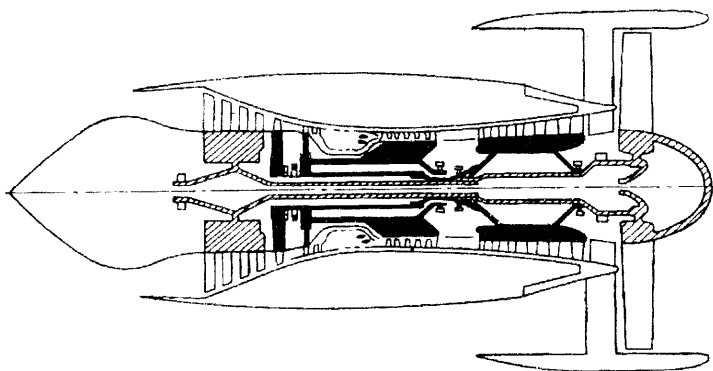


**PROCEEDINGS OF  
V INTERNATIONAL CONFERENCE ON  
THE IMPROVEMENT OF THE QUALITY,  
RELIABILITY AND LONG USAGE OF  
TECHNICAL  
SYSTEMS AND TECHNOLOGICAL  
PROCESSES**

*December 7-14, 2008  
Sharm el Sheikh, Egypt*



**СБОРНИК ТРУДОВ  
V МЕЖДУНАРОДНОЙ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ  
КОНФЕРЕНЦИИ**

**«ПОВЫШЕНИЕ КАЧЕСТВА,  
НАДЕЖНОСТИ И ДОЛГОВЕЧНОСТИ  
ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ И  
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ»**

*7 – 14 декабря 2008 г.  
г. Шарм эль Шейх, Египет*

**National Council of Ukraine for Mechanism and Machine  
Science (Member Organization of the International  
Federation for Promotion of Mechanism and Machine  
Science)**

**Национальный Совет Украины по Машиноведению  
(Украинский Национальный комитет ИFToMM)  
Khmelnitsky National University  
Хмельницкий национальный университет**

**THE IMPROVEMENT OF THE QUALITY,  
RELIABILITY AND LONG USAGE OF  
TECHNICAL  
SYSTEMS AND TECHNOLOGICAL  
PROCESSES**

**V INTERNATIONAL CONFERENCE**

*December 7-14, 2008  
Sharm el Sheikh, Egypt*

---

**«ПОВЫШЕНИЕ КАЧЕСТВА,  
НАДЕЖНОСТИ И ДОЛГОВЕЧНОСТИ  
ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ И  
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ»**

**СБОРНИК ТРУДОВ V МЕЖДУНАРОДНОЙ  
НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ КОНФЕРЕНЦИИ  
7 – 14 декабря 2008 г.  
г. Шарм эль Шейх, Египет**

## **УДК 61.2+68.1:62.755**

Повышение качества, надежности и долговечности технических систем и технологических процессов: Сборник трудов международной научно-технической конференции, 7 – 14 декабря 2008 г. – Хмельницкий: ХНУ, 2007. – 173 с.

В сборник включены материалы международной конференции «Повышение качества, надежности и долговечности технических систем и технологических процессов», проведенной в Египте в декабре 2008 г. в г. Шарм-ель-Шейх.

Рассмотрены проблемы повышения качества и производительности технических систем и технологических процессов, представлены доклады по контролю, диагностике и прогнозированию состояния этих систем, освещены некоторые проблемы вибрационной техники, динамической и статической прочности, а также правовые и экономические аспекты проблем.

Сборник рассчитан на научных и инженерных работников, аспирантов, специализирующихся в области повышения качества, надежности и долговечности технических систем и технологических процессов.

### ***Редакционная коллегия:***

Богорош А.Т., д.т.н. (Украина), Бубулис А. д.т.н. (Литва), Силин Р.И., д.т.н. (Украина), Ройзман В.П., д.т.н. (Украина), Сокол В.М., д-р (Израиль).

*Ответственный за выпуск проф. Ройзман В.П.*

Утверждено к печати совместным заседанием Исполкома Хмельницкой областной организации Союза научных и инженерных объединений Украины и Украинского Национального комитета ИТoММ. Протокол №6 от 22 ноября 2008 г.

## **УВАЖАЕМЫЕ УЧАСТНИКИ КОНФЕРЕНЦИИ!**

*Мы рады в 5-й раз приветствовать всех наших старых и новых друзей из разных стран мира, маститых и молодых ученых и инженеров, которые, несмотря на продолжающиеся в странах бывшего СССР финансовые трудности в науке и образовании и мировой финансовый кризис, все же сумели преодолеть их и приехать на нашу очередную конференцию в Египет – страну древнейшей цивилизации, к теплому Красному морю!*

*Первая египетская конференция под названием «Динамика роторных систем и вибрационных процессов» прошла 12-19 декабря 2004г. в г. Хургаде, где после долгого перерыва, заполненного неопределенностью перестроенного периода нашей жизни, как старые друзья после долгой разлуки встретились ученые из бывших стран СССР – академики и члены-корреспонденты, доктора наук и профессора, известные специалисты и молодые ученые из различных отраслей народного хозяйства, и к ним присоединились коллеги из Израиля, США, Румынии, Польши.*

*Мы продолжаем верить, что после кризисов, периодов упадка и разрухи народного хозяйства, как после войны, наступает период восстановления, который перейдет в период процветания наших стран, и тогда снова будут цениться труд и знания инженеров и ученых, прекратятся финансовые трудности и, мы как и прежде будем иметь широкие возможности для встреч, для обсуждения актуальных научно-технических проблем.*

*И, пожалуй, свидетельством начала свершения наших надежд является тот факт, что наши египетские форумы, с каждым годом становятся всё более представительными и расширяется количество стран, направляющих своих ученых на эти конференции, и, что они проходят во все более комфортных условиях, где интересная работа сочетается с не менее интересными экскурсиями и отдыхом. Сегодня мы рады впервые приветствовать здесь ученых из Белоруссии, Грузии и Молдовы.*

*Безусловно, каждый из Вас своей работой, своей преданностью науке заслужил недельную радость общения со своими коллегами в этом прекрасном месте. Мы выражаем искреннюю благодарность нашим спонсорам и прежде всего фирме «Интурист-Хмельницкий» и руководству Хмельницкого национального университета, которые с пониманием отнеслись к нашим проблемам и благодаря которым расходы участника этой конференции в несколько раз ниже расходов на подобных конференциях, проводимых зарубежными организациями.*

*Цель настоящей конференции, как и предыдущих, состоит в том, чтобы обсудить актуальные вопросы повышения качества, надежности и долговечности машин, механизмов, приборов из самых различных отраслей народного хозяйства, строительных конструкций, других технических систем и технологий их производства, возобновить и закрепить научное сотрудничество ученых из стран бывшего СССР, расширить его за рамки этих стран, объединить усилия ученых различных стран мира на решении актуальных проблем народного хозяйства.*

*В сентябре 2008 года на израильском курорте Нетания мы провели II Международную конференцию на тему “Современные достижения в науке и образовании”, в которой приняли участие более 140 ученых из разных стран и которая прошла с наименьшим успехом, чем Египетские.*

*Наши конференции задуманы как открытые для ученых и инженеров всех стран форумы, призванные скоординировать и объединить усилия специалистов на решении общих технических и экономических проблем независимо от политических процессов, происходящих в мире и отдельных странах.*

*В этом сборнике кратко представлены доклады участников конференции. Они без правок опубликованы в таком виде, в каком были представлены авторами. При желании авторов расширенные статьи по материалам докладов могут быть опубликованы в журнале «Вісник Хмельницького національного університета».*

*Оргкомитет надеется, что эта конференция пройдет не хуже предыдущих, и в ходе официального, а, главное – неофициального восьмидневного общения мы обменяемся новыми идеями, наладим сотрудничество и объединим усилия на решении сложных научно-технических проблем на благо наших стран.*

*Желаем всем радости творческого общения и плодотворной работы, интересных экскурсий и теплого моря!*

*Добро пожаловать, дорогие друзья, в солнечный Шарм эль Шейх !*

Сопредседатели:



д.т.н., проф.  
Силин Р.И.

Президент Национального  
Совета Украины  
по Машиноведению



д.т.н., проф.  
Ройзман В.П.

Председатель Хмельницкой  
областной организации Союза  
научных и инженерных  
объединений Украины

г. Шарм эль Шейх, декабрь 2008 г.

## КОНСТРУКТОРСКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПУТИ ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА И НАДЕЖНОСТИ ИЗДЕЛИЙ

### ПІДВИЩЕННЯ НАДІЙНОСТІ ТА ДОВГОВІЧНОСТІ ЕЛЕМЕНТІВ БУРИЛЬНОЇ КОЛОНИ ЗА РАХУНОК КОНСТРУКТИВНИХ ЧИННИКІВ

*Чернов Борис Олександрович, Мартинюк Тарас Августинович*  
Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу 76019, м.  
Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15, тел. (03422) 48090  
e-mail: physics@ifatung.if.ua

У процесі буріння бурильна колона працює в агресивному корозійному середовищі і на неї діють значні статичні та динамічні навантаження, які часто приводять до корозійно-втомного руйнування кінцевих різьбових з'єднань бурильних і обважнених бурильних труб (ОБТ), корпусів і валів турбобурів та гвинтових вибійних двигунів.

Практично всі існуючі конструкції замкових різьбових з'єднань неврівноважені по ніпельній та муфтовій частинах з'єднання, чим і пояснюється низька границя витривалості. Експериментальні дослідження на опір втоми натурних зразків ОБТ-178 та ОБТ-203 з різьбою 3-147 в повітряному середовищі показали, що границя витривалості становить 37-41 МПа, а в корозійному середовищі (7% водний розчин NaCl) – 31-33 МПа [1].

В зв'язку з цим великий теоретичний і практичний інтерес становлять роботи, які спрямовані на підвищення міцності та довговічності кінцевих різьбових з'єднань. Значне число робіт присвячене опору втоми ЗРЗ за рахунок зарізьбових розвантажувальних канавок (ЗРК) кінцевої форми. Експериментальні дослідження натурних зразків з пропонованими конструкціями ЗРК показали підвищення опору втоми ЗРЗ лише на 19-25% (в залежності від типорозміру).

На основі аналізу даних аналітичних і експериментальних досліджень запропоновано циліндричну форму ЗРК на ніпельній та муфтовій частинах з'єднання, визначено оптимальні параметри, які забезпечили підвищення границі витривалості замкових різьбових з'єднань до 80 % [2,3].

Результати досліджень приведено на рис. 1. На рис. 1 приведені криві втоми ЗРЗ з зарізьбовою канавкою виготовленою по

ТУ 38-076-74, яка була аналогом рекомендованої АНІ та з ЗРК нової конструкції.

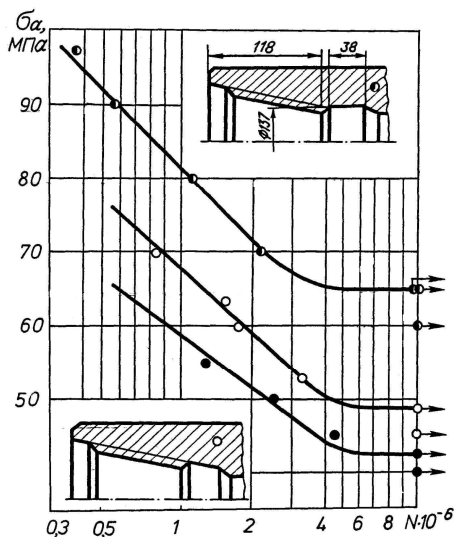


Рис. 1 - Криві втоми замкових різьбових з'єднань ОБТ-178 з різьбою 3-147

- - з'єднання зі збігом різьби
- - муфтовий кінець з ЗРК по ТУ 39-076-74
- ◐ - муфтовий кінець з ЗРК нової конструкції

При згвинчуванні замкових різьбових з'єднань на ніпельній і муфтовій частинах з'єднань виникають значні напруження. Дослідження показали, що ці напруження розподілені нерівномірно по довжині різьби і основне навантаження припадає на перших 3-4 робочих витки, що є основною причиною зменшення його опору втоми.

На основі аналізу існують конструкцій ЗРЗ та аналітичних досліджень, нами було запропоновано конструкцію кінцевого різьбового з'єднання «галтельного» типу, в якого на різьбових ділянках ніпеля та муфти з невантаженої сторони витка виконані заглиблення змінної величини, які збільшуються від торця і досягають оптимального значення в площині небезпечного перерізу ніпеля. Причому заглиблення на один виток визначаються співвідношенням:

$$\delta_1 = \frac{C_1 \cdot D^2}{d_1 \cdot n} \quad (1)$$

де  $D$  – зовнішній діаметр труби;  $d$  – внутрішній діаметр труби в площині небезпечного перерізу;  $n$  – число повних витків різьби;  $C_1$  – коефіцієнт рівний 0,011; а радіус заглиблення (галтелі)

визначається співвідношенням  $r = \frac{C_2 \cdot S^2}{h_1}$ , де  $S$  – крок різьби,  $h_1$  –

висота профіля різьби,  $C_2$  – коефіцієнт рівний 0,1.

Дослідження показали, що при згвинчуванні такого з'єднання Мкр.згв напруження розподіляються більш рівномірно між витками різьби, за рахунок різної податливості витків. Крім того таке конструктивне рішення приводить до значного зменшення коефіцієнта концентрації напруження в площині небезпечних перерізів. При дослідженні колових напружень по довжині згвинчування замкових різьбових з'єднань корпусів турбобура ЗТСП1-172 з різьбою МК 156x5,5x1:32 було встановлено, що колові напруження що виникають в повздовжній канавці ніпеля в площині першого спряженого витка з'єднання на 35% менші в різьбі «галтельного» типу в порівнянні з різьбою серійного типу.

Конічні різьби, які застосовуються в ОБТ як правило, мають конусність 1:4 або 1:6 та згвинчуються значними крутними моментами, а відповідно різьби з заглибленнями змінної величини забезпечать ще більш рівномірний розподіл напружень по всій довжині різьби.

Експериментальні дослідження на опір втоми натурних зразків ОБТ з різьбою «галтельного» типу показали підвищення границі витривалості до 52%. Конструкція різьбового з'єднання захищена авторським свідоцтвом на винахід.

Таким чином, за рахунок конструктивних чинників, можна підвищити границю витривалості замкових різьбових з'єднань до 130% та підвищити надійність і довговічність бурильної колони при бурінні глибоких нафтових і газових свердловин.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Щербюк Н.Д., Чернов Б.А., Газанчан Ю.И. Методические рекомендации по расчету и эксплуатации замковых резьбовых соединений бурильной колонны и забойных двигателей. – М.: ВНИИБТ, 1987, - 37 с.

2. А.С. 1810472 МКИ E21B17/042. Коническое резьбовое соединение бурильной колонны. Б.А. Чернов, Б.Ю. Оглабьяк, М.Е. Симкив. №4791285/03 – Опубликовано. 25.04.93. – Бюл. №15 – 4с.
3. Чернов Б.О. Методика розрахунку врівноважених різьбових з'єднань обважнених бурових труб і турбобурів// Розвідка і розробка нафтових і газових родовищ. РМНГЗ. – вип. №31. – Івано-Франківськ. – ІФДТУНГ. – 1995. – с. 103-108.

## **НАДЕЖНОСТЬ И ГИДРАВЛИЧЕСКАЯ УСТОЙЧИВОСТЬ СИСТЕМ ВОДЯНОГО ОТОПЛЕНИЯ ЗДАНИЙ**

*Афтанюк В.В., Мазуренко А.С. Одесский национальный политехнический университет,  
Украина, пр-т Шевченко 1, 8-048-743-27-58, valera2187@rambler.ru*

Широко применявшейся у нас во второй половине XX века, системы водяного отопления обладали высокой степенью надежности и гидравлической устойчивостью благодаря простоте конструкции и малым количествам движущихся частей. Понятием «гидравлическая устойчивость» применительно к водяным системам отопления характеризуют способность системы сохранять величину расхода воды в процессе эксплуатации при воздействии на систему различных внешних факторов.

Недостатком традиционных систем водяного отопления является невозможность индивидуального автоматического поддержания теплового комфорта, и как следствие не рациональное использование тепловой энергии, что привело к созданию новых систем отопления с переменными гидравлическим режимом.

Для обеспечения устойчивой работы новых систем отопления потребовалась разработка специальных устройств радиаторных термостатических клапанов (РТК), регуляторов перепада давления и расхода, балансировочных вентилей, которые работают в условиях постоянно изменяющихся характеристик системы отопления, обеспечивая ее гидравлическую устойчивость.

Оснащение систем отопления динамическими устройствами изменяет показатели надежности системы отопления в целом. Поэтому подход к системе отопления только с позиции гидравлики является неполным.

Все многообразие различных факторов, влияющих на надежность системы отопления, условно можно отнести к двум

группам: объективные и субъективные. К объективным факторам можно отнести воздействие окружающей среды: температуры, влажности, давления и др., а также старение, износ [1].

К субъективным факторам можно отнести факторы, связанные, например, с деятельностью человека: квалификация проектировщика, выбор элементов оборудования, квалификация персонала, эксплуатирующего систему отопления и др.

Снижение влияния субъективных факторов на систему отопления, а также подбор оборудования таким образом, чтобы его работа осуществлялась на облегченных режимах, позволяет значительно повысить надежность проектируемой системы отопления.

В качестве примера иллюстрирующего повышение надежности современных систем путем оптимизации рассмотрим на примере системы отопления 5-ти этажной гостиницы в г. Одесса. Система отопления двухтрубная горизонтальная с распределителями (рис.1) и скрытой прокладкой трубопроводов, нагревательные приборы – стальные радиаторы KORADO, оборудованные РТК ГЕРЦ 7728 с комплектом подключения ГЕРЦ 2000. Как правило, такие системы отопления выполняются в виде отдельных схем: схемы системы теплоснабжения распределителей и схемы системы отопления от распределителей [2].

Установленный перед распределителями динамический узел в виде автоматического регулятора перепада давления, изменяет свое сопротивление для стабилизации давления в распределителях.

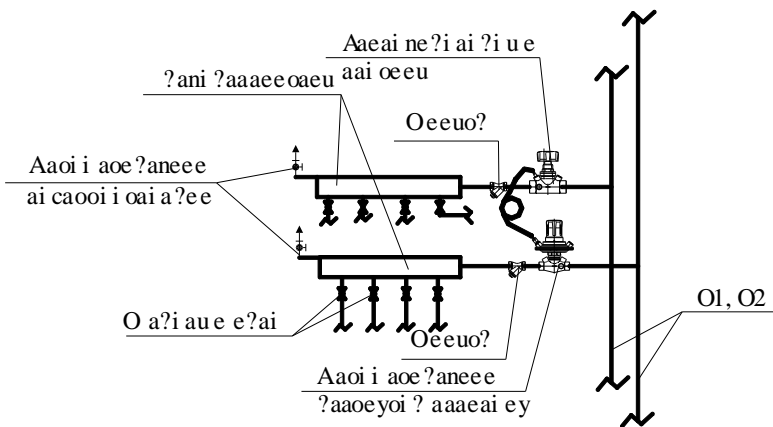


Рис.1. Схема подключения и обвязки распределителя горизонтальной системы отопления.

Еще одним элементом оказывающим существенное значение на надежность систем отопления (при скрытой прокладке трубопроводов в конструкции пола) являются тройники, крестовины, отводы. Эти элементы, находясь в конструкции пола, имеют разъемные соединения, подвергающиеся температурному воздействию и нагрузке конструкции пола.

Для оптимизации системы отопления было использовано программное обеспечение фирмы ГЕРЦ (Австрия).

Многовариантное проведение расчетов потокораспределения и подбора поэтажных тепловых нагрузок, позволило отказаться от применения автоматических регуляторов давления, а компенсацию избыточного давления в ветках горизонтальной системы отопления осуществлять с помощью РТК ГЕРЦ 7728.

За счет рационального размещения оборудования системы отопления, распределителей и отопительных приборов удалось сократить количество применяемых отводов на 5 % (с 302 шт. до 287 шт.).

Суммарная величина интенсивности отказов составляет для рассматриваемой системы отопления:

$$\text{до оптимизации (вариант 1)} \quad \sum_{i=1}^n \lambda_i = 109,92 \cdot 10^{-6} \text{ 1/ч;}$$

$$\text{после оптимизации (вариант 2)} \quad \sum_{i=1}^n \lambda_i = 83,91 \cdot 10^{-6} \text{ 1/ч;}$$

Произведем расчет вероятности безотказной работы системы отопления в течение отопительного периода (для г. Одесса – 162 дня или 3888 часов) по формуле:

$$P(t) = e^{-\left(\sum_{i=1}^n \lambda_i\right)t} \quad (1)$$

где t- время работы системы отопления, ч.

Подставив значения суммарной интенсивности отказов для 1 и 2 вариантов, и продолжительность отопительного периода получим:

$$\text{- вариант 1} - P_1 = 0,645$$

$$\text{- вариант 2} - P_2 = 0,721$$

Увеличение вероятности безотказной работы по варианту 2 составит:  $((0,721-0,645)/0,721) \cdot 100 = 10,4 \%$ .

Проведенные исследования показывают, что при проектировании современных систем отопления рационально принимать такую конструкцию системы, в которой компенсация избыточного давления производилась бы с помощью РТК, а количество отводов, тройников, крестовин сводить к минимуму. Сокращение количества арматуры и

соединительных элементов также значительно удешевляет систему отопления.

### **Литература**

1. Комаров А.А. Надежность гидравлических систем. М.: Машиностроение, 1969. -236 с.
2. Покотилов В.В. Пособие по расчету систем отопления. Минск: ГЕРЦ Арматурен Г.м.б.х., 2006. -144 с.

## **ПОВЫШЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ РАБОТЫ АППАРАТОВ С ВНУТРЕННЕЙ ЦИРКУЛЯЦИЕЙ ЖИДКОСТИ**

*Спинов В.М., Афтанюк В.В., Витюков В.В. Одесская государственная академия строительства и архитектуры, Украина, ул. Дидрихсона, 4, 8-048-743-27-58, valera2187@rambler.ru*

В настоящее время в базовых отраслях промышленности для проведения процессов пылеочистки применяются мокрые пылеуловители с внутренней циркуляцией жидкости (МП ВЦЖ). Конструктивно каждый из МП ВЦЖ состоит из частично погруженного в жидкость контактного канала и каплеуловителя, объединенных в одном корпусе. Принцип действия аппаратов основан на способе интенсивной промывки газов в контактных каналах различной конфигурации.

Из литературных данных следует [1], что известные конструкции МП ВЦЖ работают в узком диапазоне изменения скорости газа в контактных каналах и используются в промышленном производстве в основном для очистки газов от крупнодисперсной пыли в системах аспирации вспомогательного оборудования. Известные аппараты весьма чувствительны к изменению газовой нагрузки на контактный канал и уровню жидкости, незначительные отклонения этих параметров от оптимальных значений приводят к раскачке уровней жидкости у контактных каналов, неустойчивому режиму работы и снижению эффективности пылеулавливания. Из-за низких скоростей газа в контактных каналах известные МП ВЦЖ имеют большие габариты. Эти недостатки, а также слабая изученность протекающих в аппаратах процессов, отсутствие надежных методов их расчета затрудняют разработку новых рациональных конструкций мокрых пылеуловителей данного типа и их широкое внедрение в

производство. В связи с этим назрела необходимость более детального теоретического и экспериментального изучения МП ВЦЖ с целью скорейшего использования наиболее эффективных и экономичных конструкций в системах очистки промышленных газов.

С целью создания рациональной конструкции МП ВЦЖ с высокими эксплуатационными характеристиками нами предложено устройство [2].

На основании математического моделирования в аппарате получены рациональные конструктивные размеры завихрителей.

Для экспериментального исследования предложенной конструкции аппарата разработан экспериментальный стенд [3].

В результате проведения экспериментальных исследований согласно методики изложенной в [4] получены эмпирические зависимости позволяющие определить характеристики аппарата.

Величину сопротивления вихревой тарелки,  $\Delta P_{BT}$ , Па со слоем жидкости можно определить из выражения:

$$\Delta P_{BT} = A^2 \cdot \frac{\omega_g^2 \cdot \rho_g}{2f_0^2} + \Delta P_\sigma \quad (1)$$

где  $\omega_g$  – скорость газа в аппарате, м/с;  $\rho_g$  – плотность очищаемого газа кг/м<sup>3</sup>;  $f_0$  — относительная величина живого сечения вихревой тарелки м<sup>2</sup>/м<sup>2</sup>;  $\Delta P_\sigma$  — доля гидравлического сопротивления слоя, определяющаяся поверхностным натяжением жидкости ( $\sigma$ , Н/м):

$$\Delta P_\sigma = \frac{4\sigma}{1,3d_0 + 0,08d_0^2} \quad (2)$$

здесь  $d_0$  — диаметр вихревых элементов, м;  $A$  — параметр, зависящий от режима взаимодействия газе и жидкости на тарелке:

$$A = 42,1m^{0,73} (L_{жс} / L_{см})^{-0,51} (\rho_g / \rho_{жс})^{0,33} \quad (3)$$

Критическая скорость газа при которой наблюдается прорыв газовой смеси через вихревые элементы можно определить по формуле:

$$\lg \omega_{кр} = 1750 \frac{f_0^2 \cdot d_0}{A} + 0,128 \quad (4)$$

Критическая скорость равна 4,3-4,5 м/с, удельное орошение 0,4-0,6 дм<sup>3</sup>/м<sup>3</sup> газов.

Процесс дробления жидкости газовым потоком в контактном канале пылеуловителя происходит за счет высоких относительных скоростей между жидкостью и газовым потоком. Для расчета среднего диаметра капель, получающихся в контактных каналах МП ВЦЖ,

целесообразно использовать эмпирическую формулу, которая позволяет учесть наряду с физическими характеристиками фаз влияние режимных параметров:

$$D_0 = \frac{585 \cdot 10^{-3} \sqrt{\sigma_{ж}}}{W_{г}} + 53,4 \left( \frac{\mu_{ж}}{\sqrt{\rho_{ж} \cdot \sigma_{ж}}} \right)^{0,45} \cdot \frac{V_{ж}}{V_{г}} \quad (5)$$

где  $W_{г}$  — относительная скорость газов в канале, м/с;  $\sigma_{ж}$  — коэффициент поверхностного натяжения жидкости, Н/м;  $\rho_{ж}$  — плотность жидкости, кг/м<sup>3</sup>;  $\mu_{ж}$  — вязкость жидкости, Па·с;  $V_{ж}$  — объемный расход жидкости, м<sup>3</sup>/с;  $V_{г}$  — объемный расход газа, м<sup>3</sup>/с.

Полученные зависимости свидетельствуют о том, что важнейшими режимными параметрами, от которых зависит средний размер капель в контактных каналах разработанной конструкции МП ВЦЖ, являются скорость газового потока  $W_{г}$  и удельный расход жидкости на орошение газа  $m$ . Именно эти параметры определяют гидродинамическую структуру образующегося газожидкостного потока.

Увеличение удельного расхода жидкости на орошение газа приводит к росту диаметра образующихся капель. Так, при увеличении  $m$  с  $0,1 \cdot 10^{-3}$  до  $3 \cdot 10^{-3}$  м<sup>3</sup>/м<sup>3</sup> средний размер капель увеличивается примерно на 150 мкм. Для обеспечения минимального диаметра капель в контактных каналах разработанного пылеуловителя удельный расход жидкости на орошение газа должен быть оптимизирован в диапазоне  $(0,1-1,5) \cdot 10^{-3}$  м<sup>3</sup>/м<sup>3</sup>. Необходимо отметить, что в данном диапазоне удельных расходов с высокой эффективностью работает большинство скоростных мокрых пылеуловителей [1].

Практика показывает, что размер скоагулированных капель на выходе из вихревого устройства составляет, как правило, более 150 мкм. Частицы такого размера легко улавливаются в простейших устройствах (инерционных, гравитационных, центробежных и др.)

В инерционных каплеуловителях отделение осуществляется за счет изменения направления газожидкостного потока. Капли жидкости, движущиеся в газовом потоке, обладают определенной кинетической энергией, благодаря которой при изменении направления потока газа они по инерции движутся прямолинейно и выводятся из потока.

#### Литература

1. Проектирование аппаратов пылегазоочистки./ Зиганшин М.Г., Колесник В.Н., Посохин В.Н./ М.: «Экспресс-3М», 1998. – 505 с.

2. Афтанюк В.В., Спинов В.М. Вихрова тарілка для тепломасообмінних апаратів та мокрого пиловловлювання. Пат. 3615 Україна, МПК (2004) B01D3/22. Опубл. 15.12.2004, Бюл. №12.

3. Афтанюк В.В., Спинов В.М. Разработка экспериментального стенда для исследования конструктивных характеристик пылеуловителя с вихревой тарелкой. Вісник ОДАБА. - Вип. №17. – Одеса: Зовнішрекламсервіс, 2005. –С. 8-12.

4. Коузов П.А. Единая методика сравнительных испытаний пылеуловителей для очистки вентиляционного воздуха. –Л.:, 1967.-103с.

## **ПАРАМЕТРИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ОБЛАСТЕЙ УСТОЙЧИВОСТИ И НАДЕЖНОСТИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ**

*Дилigenский Николай Владимирович Ефимов Александр Порфирьевич  
Самарский государственный технический университет,  
443100, Самара, ул.Молодогвардейская,224,  
8(846) 3324237,E-mail: usat@samgtu.ru*

Реальные технические системы, технологические процессы и производства характеризуются существенной нестабильностью режимов работы ,значительным разбросом значений характеристик. В этих условиях проблему обеспечения надежного функционирования технических систем формализуем как задачу достижения максимальной устойчивости производственных процессов.

Построим модель протекания динамических процессов деятельности в предельно-агрегированном виде. В качестве макропеременных возьмем усредненные динамические ряды данных по двум видам базовых ресурсов – капитальным  $K$  и трудовым  $L$  – и по произведенной продукции  $Y$ . На их основе простейшую динамическую макропроизводственную модель относительно капитальных ресурсов запишем в форме уравнения Рамсея [1]

$$K' = (1 - \mu)f_L(K) - aK + I \quad (1)$$

где  $f_L(K)$  -производственная функция деятельности [2], идентифицируемая по статистическим показателям функционирования,  $\mu$  - предельная норма потребления произведенной продукции,  $a$  - коэффициент реновации, обновления капитальных ресурсов,  $I$  - приток внешних инвестиций в систему.

Используемые статистические данные известны по отчетным показателям для дискретных моментов времени  $t=0,1,2,\dots,n,\dots$ , поэтому уравнение (1) целесообразно записать также в дискретном времени

$$K_{n+1} = bf_L(K_n) - (a-1)K_n + I, n=0.1.2,\dots, \quad (2)$$

где  $b = 1 - \mu$ .

Уравнение динамики производства (2) имеет стационарные решения при  $n \rightarrow \infty : K_{n+1} = K_n = K^*$ , отвечающие соотношению

$$(a-1)K^* = bf_L(K^*) + I \quad (3)$$

В уравнении (3) производственная функция  $f(K)$  по своему содержанию является строго вогнутой функцией параметра  $K$  и  $\frac{\partial f}{\partial k}$  - строго убывающая функция  $K$ . В этом случае при  $a > 1$  и  $I > 0$  уравнение (3) всегда имеет стационарное решение. При  $a < 1$  и  $I < 0$  вопрос о существовании стационарных состояний производственного процесса зависит от явного вида производственной функции  $f(K)$ .

Полученные стационарные решения  $K^*$  могут быть как устойчивыми, так и неустойчивыми. Устойчивость стационарных состояний оценим первым показателем Ляпунова, характеризующим скорость экспоненциального разбегания (или стягивания) траекторий динамики производственных процессов.

Показатель Ляпунова для рекуррентного уравнения дискретной динамики (2) определяется следующим образом [3]

$$L = \ln \left| \frac{\partial \varphi(K, a, b, I)}{\partial K} \right|_{K=K^*}, \quad (4)$$

где  $\varphi(K, a, b, I) = bf_L(K) - (a-1)K + I$  - функция последования.

При  $L < 0$  стационарные состояния производственных систем являются неустойчивыми, и при  $L > 0$  - неустойчивыми.

Состояния, отвечающие  $L = 0$  соответствуют границам потери устойчивости. Конкретные численные значения показателя Ляпунова

характеризуют количественно степень устойчивости или неустойчивости стационарных состояний  $K^*$ .

При положительных значениях производной от функции последования, лежащих в диапазоне

$$0 < \frac{\partial \varphi}{\partial K} < 1, \quad (5)$$

Показатель Ляпунова отрицательный, и ему соответствует устойчивое протекание производственных процессов.

Множество стационарных решений, отвечающих в расширенном пространстве состояний  $\{K, a, b, I\}$  гиперповерхности

$$\left. \frac{\partial \varphi(K, a, b, I)}{\partial K} \right|_{K=K^*} = 1, \quad (6)$$

отвечает границе потери устойчивости. Поведение производственных систем в этом случае отвечает фазовому портрету типа устойчивый узел.

Процессы ведут себя монотонно, гладко, предсказуемо и характеризуются прогнозируемыми трендами и поведением.

При изменении стационарного состояния  $K^*$ , соответствующего перемещению траектории функции последования  $\varphi(K)$  от

$$\frac{\partial \varphi}{\partial K} = 1 \quad \text{до} \quad K \frac{\partial \varphi}{\partial K} = 0 \quad (7)$$

степень устойчивости процессов монотонно возрастает.

Гиперповерхность

$$\left. \frac{\partial \varphi(K, a, b, I)}{\partial K} \right|_{K=K^*} = 0, \quad (8)$$

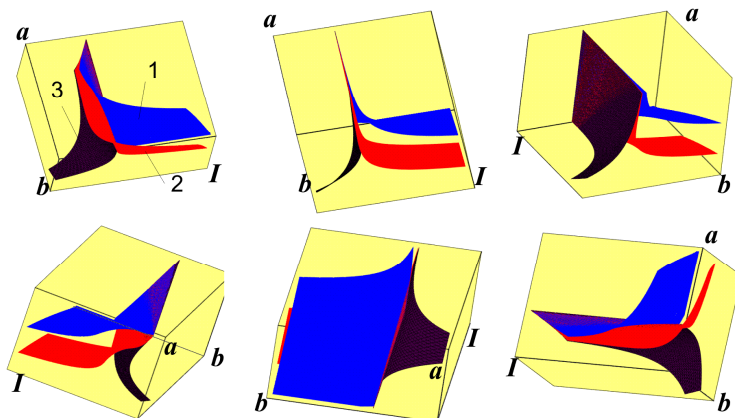
отвечает поверхности сверхустойчивости с максимальной степенью устойчивости  $L \rightarrow \infty$ .

В гиперобласти

$$-1 < -K \frac{\partial \varphi}{\partial K} < 0, \quad (9)$$

примыкающей к гиперповерхности сверхустойчивости с другой стороны по отношению к гиперобласти (5) процессы тоже устойчивы,

и степень устойчивости в ней изменяется от  $\infty$  до нуля. Протекание производственных процессов в этой гиперобласти отвечает фазовому портрету типа устойчивый фокус.



1.Поверхность бифуркаций 2.Поверхность сверхустойчивости 3.Поверхность катастроф

Поведение процессов имеет колебательный характер с последовательными отклонениями в разных направлениях своих характеристик относительно стабильных состояний.

На рисунке 1 приведены в пространстве параметров  $\{a, b, I\}$  структуры областей устойчивых стабильных процессов. Видны нетривиальная конфигурация их, узость, хрупкость таких зон стабильности. Но только внутри таких зон возможно обеспечение наиболее надежного и устойчивого функционирования производственных систем. На различных границах зон стабильного протекания производственных процессов происходят потери устойчивости, возникают бифуркации – отсутствие единственности решений, образуются катастрофы в смысле Тома-Арнольда.

### Литература

1. Ramsey F.P. A mathematical theory of saving. *Rev.Economic Studies*, 34(1967), p95-124.
2. Дилигенский Н.В. Гаврилова А.А. Цапенко М.В. Построение и идентификация математических моделей производственных систем. Самара, Офорт, 2005, 126с.

3. Дилигенский Н.В.Ефимов А.П.Системный анализ и модели информационного взаимодействия механизмов эволюционного развития //Проблемы моделирования и управления в сложных системах. Самара, СНЦ РАН 2004, с.84-95.

## **АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЧИСЛЕННЫХ МЕТОДОВ ПРИ ИССЛЕДОВАНИИ ПРОБЛЕМЫ НАДЕЖНОСТИ ЭЛЕМЕНТОВ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИХ КОНСТРУКЦИЙ**

*Стеблянко Павел Алексеевич,*

*Днепродзержинский государственный технический университет, ул. Днепростроевская,  
2, Днепродзержинск, 51918, тел. 0569 551552, E-mail [steblyanko@rambler.ru](mailto:steblyanko@rambler.ru)*

Надежность и долговечность элементов металлургических конструкций (валков станов горячей прокатки, стаканов заготовочных колесных изложниц) зависит от величины и характера их нагружения. Однако, наряду с указанными факторами, значительное влияние оказывают температурные условия, в которых они работают.

Степень нагрева валков в процессе прокатки зависит от величины обжатия, механических свойств прокатываемого металла, трения в очаге деформации, скорости и времени процесса прокатки, подачи охлаждающей эмульсии, коэффициентов теплопроводности, конвекции, излучения и т.д. Нагрев валков определяет их профиль и, следовательно, влияет на условия деформации металла, как по длине, так и по ширине полосы.

В связи с развитием непрерывных станов и тенденцией роста скоростей прокатки тепловой баланс и температурный режим работы валков приобретает большое значение. Особенностью работы валков станов горячей прокатки является периодичность их нагрева от прокатываемого металла и охлаждения водой. В процессе нагрева и охлаждения в поверхностном слое валков возникает переменное температурное поле, под действием которого появляются значительные циклические температурные напряжения. Величина этих напряжений, в зависимости от режимов работы прокатного стана, может в значительной степени превышать предел текучести материала и являться основной причиной возникновения сетки разгара и последующей термической усталости.

При горячей прокатке наибольшее напряжение на поверхность валка в зоне контакта с прокатываемым металлом. Однако в этой зоне

материал находится в условиях всестороннего сжатия, а в таких случаях допускаемые напряжения практически в 4 раза могут превышать предел текучести.

В процессе эксплуатации колесных изложниц возникают проблемы, связанные с определением долговечности заготовочных стаканов. Здесь характерны нестационарные циклические процессы нагревания стакана (в ходе заливки) и охлаждения (при застывании и охлаждении заготовки). В процессе нагрева и охлаждения в стаканах изложниц возникает переменное во времени температурное поле, под действием которого появляются значительные циклические температурные напряжения.

Таким образом, разработка более точных методов расчета термонапряженного состояния таких деталей металлургических конструкций является актуальной задачей.

В работе [1] решен ряд нестационарных задач термомеханики, где применялись физические соотношения теории термоупругопластичности, позволяющие описывать простые и близкие к простым процессы деформирования и процессы деформирования по траекториям малой кривизны [2]. Одним из наиболее эффективных приемов при численном решении пространственных нестационарных задач теории термоупругопластичности является подход, основанный на использовании для определения неизвестных величин, метода дробных шагов или метода покомпонентного расщепления [3] в сочетании с представлением искомых величин в виде сплайн-функций. Преимущество данного подхода обусловлено тремя факторами. Он не сложнее в реализации, чем конечно-разностный метод [1, 3]. Решение находится в виде сплайна во всей области определения, в то время как разностное решение ищется только на сетке. Дает более высокий порядок аппроксимации, что позволяет выбирать более крупную сетку по координатам по сравнению с конечно-разностным методом при условии достижения одинаковой точности вычисления.

Основной задачей нестационарной теории термоупругопластичности является определение перемещений (скоростей перемещений) и компонент тензоров напряжений и деформаций, возникающих в пространственном теле в процессе его нагружения, когда некоторые элементы тела работают за пределом упругости материала. Процесс нагружения будем рассматривать развивающимся во времени, что может вызвать движение отдельных частей тела.

Исходя из перечисленных данных, необходимо определить температурное поле, составляющие вектора скорости перемещений, компоненты тензора напряжений и компоненты тензора деформаций. Для этого необходимо воспользоваться уравнениями движения, геометрическими, физическими уравнениями и уравнением теплопроводности.

При решении нестационарной задачи термомеханики в тех частях тела, где возникают необратимые деформации, будем пользоваться определяющими уравнениями, описывающими процессы нагружения как по прямолинейным траекториям, так и по траекториям деформирования малой кривизны. Здесь используется форма физических уравнений, приведенная в монографии [2].

Полная система уравнений в общем случае имеет вид

$$\frac{\partial \vec{W}}{\partial t} = A_1 \frac{\partial \vec{W}}{\partial x} + A_2 \frac{\partial \vec{W}}{\partial \varphi} + A_3 \frac{\partial \vec{W}}{\partial z} + \vec{A}, \quad (1)$$

где  $\vec{W}$  - вектор, компонентами которого будут скорости перемещений  $v_i$ , составляющие тензоров напряжений и деформаций  $\sigma_{ij}, \varepsilon_{ij}$ ,  $i, j = 1, 2, 3$ . Система (1) решается при определенных начальных и граничных условиях.

Нестационарное трехмерное уравнение теплопроводности, используемое при решении задач механики деформируемого твердого тела, имеет вид

$$\frac{\partial T}{\partial t} = a \left[ \frac{\partial^2 T}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \cdot \frac{\partial T}{\partial r} + \frac{1}{r^2} \cdot \frac{\partial^2 T}{\partial \varphi^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} \right].$$

Расчеты показывают, что максимальные температурные напряжения в поверхностном слое валка, с учетом промежуточного слоя окалины, наблюдаются при наиболее длительном времени контакта с разогретым металлом. При этом температура поверхности валка в месте контакта достигает 450°C. При установившемся режиме прокатки температура поверхности валка не превышает 300°C.

Применим к векторному уравнению (1) в случае осесимметричного нагружения метод покомпонентного расщепления [1]. Идея метода покомпонентного расщепления состоит в том, что

вместо векторного уравнения  $\frac{\partial \vec{W}}{\partial t} = A_1 \frac{\partial \vec{W}}{\partial r} + A_3 \frac{\partial \vec{W}}{\partial z} + \vec{A}$  на

полном шаге интегрирования по времени  $\tau$  ( $t \in [t_p; t_{p+1}]$ )

последовательно решаются два эквивалентных ему одномерных векторных уравнения, каждое на своем дробном шаге по времени. Эти уравнения имеют вид

$$\begin{aligned}\frac{\partial \vec{W}}{\partial t} &= A_1 \frac{\partial \vec{W}}{\partial r} + \phi_1 \vec{B}, \quad t \in [t_p, t_{p+1/2}], \\ \frac{\partial \vec{W}}{\partial t} &= A_3 \frac{\partial \vec{W}}{\partial z} + \phi_2 \vec{B}, \quad t \in [t_{p+1/2}, t_{p+1}],\end{aligned}\quad (3)$$

где  $\phi_1 + \phi_2 = 1$ ,  $t_p$  – момент времени, в который решение задачи уже известно,  $t_{p+1}$  – момент времени, в который решение разыскивается.

Все неизвестные величины представим в виде сплайн-функций. Применение аппарата сплайн-функций дает возможность записать новые более точные разностные выражения для дифференциальных операторов, входящих в состав схемы расщепления. Это позволяет повысить, как минимум на порядок, точность вычислений по координатам.

Решена задачи об определении температурного поля и связанного с ним нестационарного термо-упруго-пластического напряженно-деформируемого состояния цилиндрического тела (цилиндрический валок стана горячей прокатки, полый цилиндрический стакан заготовочных изложниц). Для определения компонентов тензоров напряжения  $\sigma_r, \sigma_\varphi, \sigma_x, \sigma_{r\varphi}$ , деформации

$\varepsilon_r, \varepsilon_\varphi, \varepsilon_{r\varphi}$  и компонентов вектора скорости перемещений  $v_r, v_x$  на полном шаге по времени использовались расчетные формулы метода покомпонентного расщепления повышенной точности. Все искомые величины задавались в форме напряженного сплайна по координатам. При этом температура  $T$  в каждый момент времени определялась из решения уравнения теплопроводности.

Полученные результаты позволили сравнить вычислительную эффективность примененных методов расчета и сделать такие выводы.

Расчеты показывают, что интенсивность температурных напряжений в поверхностном слое валков значительно превышает предел текучести материала и, следовательно, является решающим в появлении сетки поверхностных трещин. Валки выдерживают большие напряжения потому, что они являются сжимающими и направлены вдоль оси валка, а также действуют в тонком поверхностном слое. Температура поверхности валка при наиболее длительном времени контакта ( $t=0,165$  с) достигает  $450^\circ\text{C}$ .

Сравнение результатов с аналогичными результатами, полученными при помощи метода покомпонентного расщепления повышенной точности и конечноразностного метода, показало хорошее совпадение результатов (расхождение по температуре до 3,5%) в окрестности середины валка, а по мере приближения к краю, где состояние является заведомо неоднородным по осевой и радиальной координатам, результаты могут существенно отличаться. В окрестности края валка, для расчетов температурного напряженно-деформированного состояния целесообразно применять метод покомпонентного расщепления повышенной точности, поскольку он дает более точные результаты в узлах пространственной сетки, чем конечно-разностный метод.

Получены рекуррентные формулы неявной схемы метода расщепления для определения температуры, скоростей перемещений, напряжений и деформаций, позволяют получить соответственно третий и четвертый порядок аппроксимации метода по координатам.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Стеблянок П.А. Методы расщепления в пространственных задачах теории пластичности. – Киев: Наукова думка, 1998. – 304 с.
2. Шевченко Ю.Н., Савченко В.Г. Механика связанных полей в элементах конструкций. Т.2. Термовязкопластичность. – Киев: Наукова думка, 1987. – 264 с.
3. Марчук Г. И. Методы расщепления. – Москва: Наука, 1988. – 263 с.

## РОЗРОБКА НАДЧУТЛИВОГО ПРИЛАДУ ДЛЯ ДІАГНОСТИКИ ТА ВИМІРЮВАННЯ ЕЛЕМЕНТІВ МІКРОЕЛЕКТРОНІКИ

*Богорош А.Т.<sup>1</sup>, Воронов С.А.<sup>1</sup>, Ларкин С.Ю.<sup>1</sup>, Бубулис А.<sup>2</sup>  
Національний технічний університет України «КПІ», Україна<sup>1</sup>,  
Каунаський технологічний університет, Литва<sup>2</sup>.  
Тел. +38(044) 241 68 65, E-mail: fondfti@ntu-kpi.kiev.ua*

Проведені дослідження сенсорів на магнітних перетворювачах. показали, що в таких сенсорах сепарація досліджуваних речовин (агентів), в тому числі з точок локальних дефектів, відбувається за допомогою сепаруючих магнітних мікро-

(нано-) частинок (СМЧ), поверхня яких покривається спеціальними рідинними сполуками [1].

Новизною нашого підходу є те, що в ньому поєднуються два механізми вимірювального перетворення – магнітна сепарація досліджуваної речовини та ємнісне вимірювання об'єму цієї речовини, що відображає об'єм дефекту. Таке поєднання, по-перше, збільшує інформативність сигналів сенсора, а по-друге, дозволяє реалізувати такий сенсор без унікальних технологій формування вимірювальних перетворювачів на основі гігантського магнітоопору (ГМО). Враховуючи, що освоєння ГМО нанотехнологій є дуже фінансово затратним.

У відповідності до технічного завдання в даній роботі були розроблені принципи побудови мікроконвертерів, які мають забезпечити процес вимірювання локальних дефектів.

Спрощена конструкція вимірювальної камери сенсора наведена на рис.1.

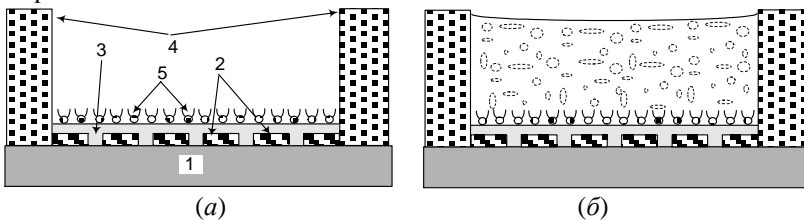


Рисунок 1 Конструкція вимірювальної камери сенсора: (а) – без досліджуваної речовини, (б) – з досліджуваною речовиною; 1 - підкладка; 2 – зустрічно-штиреві електроди відкритої ємності; 3 - діелектричне покриття; 4 – стінки камери; 5 – субстанція з частинками відповідних матеріалів з можливими дефектами.

На підкладці 1 формують два тонкоплівкові планарні зустрічно-штиреві електроди 2 відкритої ємності, яка служить вимірювальним перетворювачем об'єму досліджуваної речовини (рис.1,а). Крім того на підкладці формують тонкоплівковий терморезистивний елемент. Поверх електродів формують діелектричне покриття 3, наприклад, піролітичним осадженням  $\text{SiO}_2$  товщиною приблизно 0,05...0,1 мкм. По периферії вимірювальна камера оточена стінками 4, висота яких – 12 мм.

На діелектричне покриття наносять субстанцію 5 по методу [2]. Цю субстанцію з частинками відповідних матеріалів з можливими дефектами можна доповнити дизоксирибонуклеїнову кислоту (ДНК, DNA). В загальному випадку субстанція визначається типом

досліджуваної речовини (рис.1,б), яка розміщується у вимірювальній камері. Площа камери залежить від її функціональних характеристик, зокрема, від кількості вимірювальних перетворювачів в камері, і типово становить декілька квадратних міліметрів. В однофункціональних сенсорах для виявлення одного дефекту площа камери має бути не більше 25 мм<sup>2</sup>.

Процес вимірювання починається шляхом введення в досліджувану речовину певної кількості СМЧ (рис.2,а).

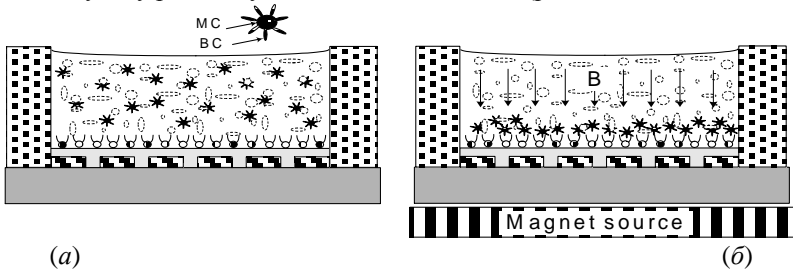


Рисунок 2 Вимірювальна камера сенсора з досліджуваною речовиною та введеними в неї феромагнітними частинками: (а) – без зовнішнього магнітного поля, (б) – джерело зовнішнього магнітного поля розташоване під камерою.

На поверхні металічного феромагнітного ядра (Magnet Core – MC) кожної СМЧ знаходиться покриття (Bio Cover – BC), яке, по-перше, запобігає взаємному злипанню СМЧ, а, по-друге, забезпечує протікання відповідних хімічних реакцій, які і забезпечують подальшу сепарацію цих СМЧ. Прикладом речовини покриття для ідентифікації дефектів може бути streptavidin [2].

Тип покриття в загальному випадку вибирають таким чином, щоб субстанція на поверхні підкладки вступала у хімічну реакцію з покриттям СМЧ, зчіплюючи їх до купи. Сила зчеплення повинна залежати від ступеня взаємодії між покриттям СМЧ або субстанції на підкладці з досліджуванним розчином.

Можливі два варіанти взаємодії. В першому варіанті селективність процесу вимірювання забезпечується взаємодією з досліджуванним розчином субстанції на поверхні підкладки, в другому – покриття на поверхні СМЧ. Така взаємодія має місце лише при наявності в досліджуваному розчині певного агента дефекту, на предмет якого і проводять це дослідження. Внаслідок взаємодії та в залежності від інтенсивності цієї взаємодії, а отже від концентрації

агента дефекту, змінюються фізико-хімічні властивості субстанції на поверхні підкладки і/або покриття СМЧ.

Задача подальших вимірювань зводиться до визначення ступеня такої взаємодії. Для цього в камері створюють магнітне поле. Поле формується постійним магнітом або електромагнітом. В залежності від методу вимірювання, типу та концентрації СМЧ, величина цього поля становить від одиниць до ста *міліТесла*. Експеримент передбачає зміну напрямку, величини та просторового розміщення джерела магнітного поля.

Враховуючи, що ферометалічні СМЧ втягуються в магнітне поле незалежно від його напрямку, вимірювальним процесом керують, змінюючи просторове положення джерела магнітного поля. Цю процедуру здійснюють шляхом просторового переміщення постійного магніту, або перемикаючи струм між двома котушками електромагніту. Перша котушка знаходиться знизу вимірювальної камери сенсора, а друга – зверху.

На першому етапі джерело магнітного поля розміщують знизу (рис.2,*б*). При цьому СМЧ притягуються до поверхні підкладки на якій знаходиться біологічна субстанція. В такому стані розчин витримують певний час, таким чином, щоб відбулася хімічна реакція субстанції на підкладці з покриттям СМЧ.

На другому етапі джерело магнітного поля розміщують зверху розчину (рис.3).

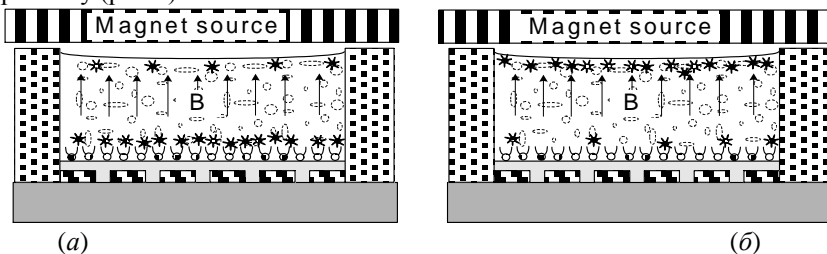


Рисунок 3 Джерело зовнішнього магнітного поля розташоване під камерою (а) і зверху розчину (б).

При цьому ті СМЧ, покриття яких не вступило у взаємодію з субстанцією на підкладці, піднімається вгору. Розподіл між зчепленими з підкладкою та піднятими на поверхню СМЧ залежить від ступеня взаємодії, а отже від концентрації в розчині певного біологічного агента. Визначення кількості зчеплених з підкладкою СМЧ проводять ємнісним способом – електричне поле конденсатора,

замикаючись на металічні ядра СМЧ, збільшує ємність цього конденсатора.

В загальному випадку на поверхні підкладки може бути сформовано матрицю конденсаторів. В кожному конденсаторі матриці на поверхні діелектричного шару формується інший тип субстанції (рис.4), що забезпечує одночасне селективне вимірювання різних агентів дефекту розчину.

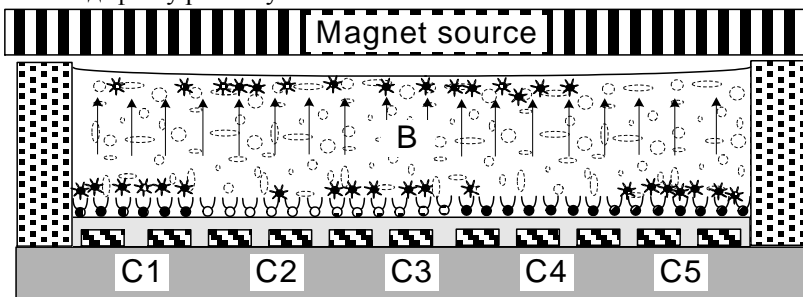


Рисунок 4 Конструкція камери сенсорів з матрицею конденсаторів.

Важливою перевагою використання ємнісного методу вимірювання по відношенню до магнітного з допомогою ГМО є можливість отримати більш інформативні сигнали, наприклад у виді залежності ємності від величини магнітного поля (польової розгортки ємності). Для цього в процесі вимірювання ємності між зустрічно штировими електродами конденсаторів сенсора збільшують індукцію магнітного поля, обумовлюючи поступове збільшення сили розриву між СМЧ та субстанцією на підкладці. Такі польові розгортки отримати суто магнітним методом вимірювання [2, 3] не представляється можливим, адже зовнішнє магнітне поле буде впливати на результат вимірювання магнітного поля СМЧ, отриманого з допомогою магнітного, наприклад ГМО, сенсора. Таким чином в поняття “магнітних сенсорів” ми вкладаємо ширший зміст – магнітне поле забезпечує сепарацію феромагнітних СМЧ, однак вимірювання їх кількості (їх об’єму) проводиться ємнісним методом.

В даній роботі теоретично вирішуються лише питання, пов’язані з проблемами вимірювального перетворення електричних сигналів. Тим не менше, проблеми вимірювального перетворення електричних сигналів далеко не є тривіальними і виходять за межі традиційних інженерно-проектних робіт.

## Література

1. I.Bolshakova, S.Krukovskii, R.Holyaka, A.Matkovskii, A.Moroz. Way of providing radiation resistance of magnetic field semiconductor sensor // Radiation Physics and Chemistry. Elsevier Science. – 2001. – №61. – PP.743-745.
2. <http://www.liquidsresearch.com>.
3. EDELSTEIN R.L., TAMANADA C.R., SHEEHAN P.E. AND OTHERS. THE BARC BIOSENSOR APPLIED TO THE DETECTION OF BIOLOGICAL WARFARE AGENTS. BIOSENSORS & BIOELECTRONICS. N14. 2000. P.805-813.

## МЕТОДИКА СКЛАДАННЯ ЧАСТОТНО-ПОЧАСОВОГО РОЗКЛАДУ РОБОТИ РАДІОЗАСОБІВ ДЕКАМЕТРОВОГО ДІАПАЗОНУ

*Міночкін А.І., Кокотов О.В., Козубцов І.М.*

*Військовий інститут телекомунікацій та інформатизації Національного технічного університету України „Київський політехнічний інститут”*

*Україна, м. Київ, вул. Московська 45/1*

*kozubtsov@mail.ru*

Методика призначена для складання частотно-почасового розкладу роботи радіозасобів декаметрового (ДКМ) діапазону, що працюють за штатним розкладом. Основною відмінністю її від відомих [1-3] є надання рекомендаційних правил щодо вибору та закріплення частот за радіозасобами.

*Початковими даними* для методики є: географічні координати між кореспондентами; сезон та час доби; потужність, підведена до передавальної антени; тип, рівень порогової чутливості і смуга пропускання сигналів приймача; рід роботи, вид сигналу та спосіб обробки сигналів; допустима імовірність помилки в прийомі елемента сигналу; допустима втрата вірогідності; необхідна надійність зв'язку; число радіоліній  $N$  в у групі з  $Q$  частот; інтервал кореляції рівнів завад у часі.

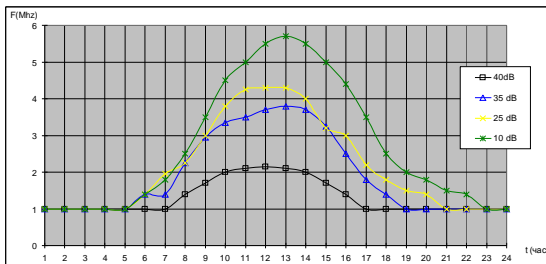
*Обмеженнями* прийнято: замовлення на вибір частот для розкладу надходять за нормальним законом а розподіл частот для радіозасобів здійснюється за централізованим принципом.

*Алгоритм реалізації методики складається з наступних етапів:*

1. Складання прогнозу смуги оптимальних робочих частот (ОРЧ).
2. Вибір смуги ОРЧ.
3. Визначення необхідної кількості  $Q$ -частот в групі, при яких забезпечується задана ймовірність прийому в одному напрямку [4].

4. Розрахунок і вимір ефективних значень напруженості поля.
5. Визначення рівнів шуму.
6. Вимірювання і розрахунок значень перевищень (запасу) сигналу на частотах ОРЧ.
7. Розрахунок ймовірності зв'язку на групі частот.
8. Вибір частот для частотно-почасового розкладу:
  - 1) вибір групи частот за максимальними показниками;
  - 2) перевірка на електромагнітну сумісність;
  - 3) аранжування частот за придатністю та порядком зміни.

*Аналіз отриманих результатів.* Аналітичне моделювання показує пряму залежність значення найменше застосовної частоти від



**Рис. 1.** Модель залежності НЗЧ від запасу рівня сигналу та шумів на вході приймача та порогової чутливості приймача

технічного фактору та порогової чутливості приймача рис. 1. Характерною відмінністю запропонованої методики від [1-3, 5, 6] є використання розрахункових формул з

врахуванням порогової

чутливості радіоприймача [7]. Врахування порогової чутливості приймача, дозволяє на етапі проектування декаметрової радіолінії спрогнозувати моменти часу втрати сеансу зв'язку. Експериментальна оцінка ефективності діючого частотно-почасового розкладу комерційних радіозасобів та запропонованого розробленою методикою здійснювалась в період з 5 по 13 березня 2007 року за наступними критеріями: електромагнітної сумісності, значенням рівнів шумів на обраних частотах тривалості радіозв'язку та надійність ДКМ радіозв'язку іоносферною хвилею. Аналіз надійності (коефіцієнт справної дії рис. 2) підтверджує відносну залежність надійності ДКМ радіозв'язку іоносферною хвилею від енергетичних показників радіолінії при роботі на одній закріпленій частоті.

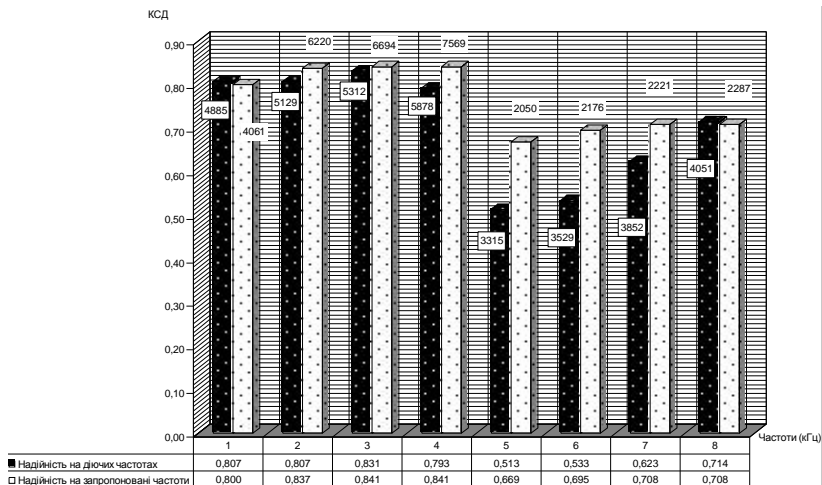


Рис. 2. Оцінка справної дії на частотах

Однак досягти високої надійності радіозв'язку за рахунок збільшення рівня сигналу в точці прийому підвищенням потужності передавача і коефіцієнтів підсилення передавальної та приймальної антен не ефективна і не приведе до суттєвого покращення радіозв'язку.

Отриманий програш на 1 та 8 частотах обумовлено врахуванням порогової чутливості приймача, що враховував короточасні втрати зв'язку внаслідок федингу. В складних сигнально-задаєвих умовах надійний цілодобовий ДКМ радіозв'язок іоносферною хвилею на одній закріпленій частоті, практично, не можна забезпечити. Необхідно своєчасно здійснювати прогнозування перевищення рівня сигналу над мінімально допустимим рівнем  $\bar{z} > z_{\text{доп}}$  та обирати для радіозв'язку РЧ ті, що задовольняють умову  $\bar{z} = \max(z)$ . Дана методика забезпечила спрогнозувати кращу частоту та обрати її без втрати сеансу зв'язку.

#### ЛІТЕРАТУРА

1. Горбушина Г.Н., Дриацкий В.М., Жулина Е.М. Инструкция по расчету коротковолновых линий радиосвязи на высоких широтах. – М.: Наука, 1969. – 108 с.
2. Дотолев В.Г. Суханов В.И. Алгоритм расчета коротковолновых радиолиний // Электромагнитная совместимость радиоэлектронная совместимость радиоэлектронных средств связи. – Техника СВЧ // Труды НИИР – № 4, 1983. – С. 12 – 17.

3. Инструкция по расчету коротковолновых линий радиосвязи / Ш.Г. Шлионский. – М.: ИЗМИРАН, 1961. – 126 с.

4. *Комарович В.Ф., Сосунов В.Н.* Случайные радиопомехи и надежность КВ связи. – М.: Связь, 1977. – 136 с.

5. *Козубцов І.М.* Методика складання частотного розкладу радіостанції короткохвильового діапазону з урахуванням міжстанційних завад // Сб. тез. III-тій НПС „Пріоритетні напрямки розвитку телекомунікаційних мереж спеціального призначення”. (8 грудня 2005). – К.: ВІТІ НТУУ „КПІ”, 2006 – С. 58-59.

6. *Козубцов І.М., Пилипенко А.А.* Методика складання оптимального частотно-годинного розкладу роботи радіостанції короткохвильового діапазону з урахуванням міжстанційних завад з прогнозованою іоносферному каналі // Труды 7-мой международной НПК „Современные информационные и электронные технологии” (СИЭТ-2006). (22-26 травня 2006). – Том 1. – Одесса, Україна, 2006. – С. 199.

7. *Козубцов І.М.* Метод підвищення надійності цифрового і аналогового декаметрового радіомовлення // Сб. тез. Харківський національний університет радіоелектроніки 11-й міжнародний молодіжний форум «Радиоэлектроника и молодежь в XXI веке» 10 – 12 квітня 2007 р. – Харків: ХНУРЕ, 2007. – С. 37.

## **МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОБЛЕМЫ ДОЛГОВЕЧНОСТИ СЛОЖНЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ**

*Крыжный Аркадий Владимирович*

*Национальная академия обороны Украины*

*03049, Киев-49, Воздухофлотский пр., 28, тел. 8-067-233-99-08*

*E-mail: [vas.geovideo@naverex.kiev.ua](mailto:vas.geovideo@naverex.kiev.ua)*

Систему эксплуатации сложных технических систем (СТС) принято рассматривать как совокупность режимов (подготовка к применению, применение по назначению, транспортирование, хранение) и мероприятий (техническое обслуживание, ремонт, управление), направленных на обеспечение заданных или требуемых характеристик СТС в каждом из режимов эксплуатации.

В процессе эксплуатации СТС постепенно теряет свои свойства в результате физического (технического) и морального старения при наложении экономических ограничений. Каждый из режимов эксплуатации в той или иной степени оказывает влияние на

интенсивность утраты свойств СТС (физическое или техническое старение); вместе с тем в ходе производства и эксплуатации происходит утрата свойств практически независимо от самих образцов СТС (моральное старение). Оба процесса старения с разной степенью обобщения объединяет один конечный результат - прекращение или нецелесообразность пребывания образцов СТС в эксплуатации. А на смену устаревшему (изношенному полностью или частично, а иногда и относительно недавно изготовленному) приходят образцы более совершенной конструкции. При этом имеет место тенденция к ускорению обновления СТС.

Экономические ограничения, наряду с физическим и моральным старением, также могут являться причиной прекращения (в отдельных случаях - продления) пребывания СТС в эксплуатации.

Следует заметить, что отдельные вопросы теории эксплуатации получили достаточное развитие в теории надежности, теории восстановления и теории массового обслуживания, в технической диагностике и теории управления запасами. В связи с этим существующие в настоящее время работы по эксплуатационной тематике направлены на решение следующих основных задач: оценки технического состояния, управления техническим состоянием (настройка, регулировка, замена, параметрическая коррекция и т. д.), оптимизации обслуживания, прогнозирования поведения систем и другие.

Вместе с тем, вопросы теории надежности СТС при эксплуатации не получили еще должного развития и, прежде всего, в плане решения проблемы долговечности СТС.

Произведя декомпозицию проблемы долговечности, выделим основные ее компоненты: техническую долговечность, обусловленную физическим износом; моральную долговечность, обусловленную моральным износом и экономически рациональную долговечность.

Между компонентами существует определенная взаимосвязь и взаимообусловленность, что требует как дифференцированного, так и комплексного рассмотрения проблемы.

Введем определение теории долговечности, как науки о закономерностях изменения процессов деградации (физического и морального старения при наложении экономических ограничений) СТС и методах оценки заданного (потребного, максимально возможного, рационального) срока пребывания в эксплуатации.

Ключевое место в этом определении занимает понятие «долговечность», определяемое нормативно как «свойство объекта сохранять работоспособное состояние до наступления предельного

состояния при установленной системе технического обслуживания и ремонта».

Вышеприведенные рассуждения позволяют увидеть, что такое определение применимо прежде всего к технической долговечности и не затрагивает процессов морального старения и влияния экономического фактора.

Эти соображения вызвали необходимость формулировки трех названных компонент, которые, на наш взгляд, являться терминологической основой исследования проблемы долговечности ТС.

Техническая долговечность свойство сохранять работоспособность до наступления предельного состояния, определяемого внутренними эксплуатационно-техническими факторами.

Моральная долговечность - свойство ТС выполнять заданные функции до наступления предельного состояния, определяемого внешними факторами.

Экономически рациональная долговечность - свойство ТС выполнять заданные функции до наступления предельного состояния, определяемого экономическими факторами.

В соответствии с предложенными декомпозицией и терминологией (как необходимой основы исследования проблемы) в дальнейшем в докладе рассматриваются, во-первых, методы исследования технической долговечности, где акцент делается на методах оценки и прогнозирования технического состояния ТС (в частности, обобщается опыт применения метода группового учета аргументов); во-вторых, методические подходы к исследованию процессов морального старения ТС (в основе исследования - процедуры оценки изменения уровня эффективности применения ТС); в-третьих, методы оценки экономически рациональной долговечности (концентрируется внимание на методике оценки остаточной стоимости систем).

В итоговой части доклада предлагается комплексный подход к исследованию проблем долговечности, заключающийся в совместном рассмотрении с помощью графоаналитических процедур технической, моральной и экономической компонент, что позволяет, в отличие от известных подходов, всесторонне исследовать рассматриваемый процесс и выработать научно-обоснованные рекомендации по оценке и прогнозированию значений показателей долговечности ТС.

# МЕТОДЫ СВЕДЕНИЯ И СШИВКИ ИЗОБРАЖЕНИЙ, ПОЛУЧАЕМЫХ ПРИ ДИСТАНЦИОННОМ ЗОНДИРОВАНИИ ЗЕМЛИ ИЗ КОСМОСА

П.К. Кузнецов, Б.В. Мартемьянов., В.И.Семавин  
Самарский государственный технический университет, 443100, г.Самара,  
Молодогвардейская, д.244,  
8-846-423882, [kurhesov@mail.ru](mailto:kurhesov@mail.ru)

В настоящее время продолжают представлять большой научный и практический интерес задачи обработки изображений и, в частности, задачи обработки изображений земной поверхности, получаемых с непилиотируемых космических аппаратов. Современные методы и информационные технологии обработки таких изображений, ориентированные на решение широкого комплекса взаимосвязанных задач, изложены, в частности, в фундаментальной работе [1]. Несмотря на большой объем публикаций по рассматриваемым проблемам, в том числе, в Internet, разрабатываются новые и улучшаются существующие алгоритмы обработки изображений. В статье излагаются некоторые результаты, полученные авторами в процессе исследования и разработки собственных методов и алгоритмов решения задач по первичной обработке изображений земной поверхности.

Задачи, на решении которых было сосредоточено внимание, порождены особенностями бортовой аппаратуры, регистрирующей изображения земной поверхности.

Изображения формируются с помощью матриц приборов с зарядовой связью (ПЗС матриц) (рис.1). Такая структура формирует изображения построчно.



Рисунок 1 – Ступенчатое расположение секций ПЗС матриц.

Отдельные секции, составляющие ПЗС матрицу, формируют полосы изображений. Секции ПЗС матрицы расположены с перекрытием в несколько пикселей (ячеек матриц) в области смежности их концов. В результате, смежные полосы изображений содержат по своим краям изображения одних и тех же участков местности. Поэтому при формировании одного большого кадра необходимо выполнить *склеивание* этих полос, удаляя повторяющиеся фрагменты изображений.

В зависимости от направления вектора движения данной матрицы относительно нормали к ее секциям ширина областей с изображениями одних и тех же участков местности может изменяться в пределах нескольких пикселей. Такие почти одинаковые фрагменты изображений могут иметь взаимный сдвиг в вертикальном направлении, измеряемый так же несколькими пикселями. Эти сдвиги неопределенной величины превращают задачу склеивания полос изображений в нетривиальную задачу.

В процессе съемки перед матрицами ПЗС может быть установлен цветной светофильтр. В результате с матриц считывается так называемое *спектрозональное* изображение. Может быть сформировано одновременно три спектрозональных изображения данной местности. Задачу сведения трех таких изображений в одно цветное назовем задачей *совмещения*.

Задачи склеивания и совмещения изображений являются первоочередными в технологической цепочке обработки изображений. Для решения этих задач были разработаны специализированные среды, с помощью которых изучались особенности изображений, ставились вычислительные эксперименты по отработке методов и алгоритмов.

Обрабатываемые изображения в исходном виде представлены tif файлами и имеют размер более 6 тысяч пикселей в строке, а количество строк может превышать 100 тысяч. Для задач разработки и исследования алгоритмов из этих изображений вырезались фрагменты, содержащие характерные изображения различных объектов местности: полей, городских кварталов, гор, облаков.

Разработанная среда содержит в своем составе следующие основные компоненты:

- два поля с полосами вертикальной прокрутки для отображения фрагментов спектрозональных изображений размером 500×3000 пикселей;
- одно поле для отображения результата совмещение спектрозональных изображений в цветное;
- числовые поля для отображения координат курсора внутри каждого из трех указанных изображений, позволяющие вычислять расстояния между объектами на изображении;
- числовые поля для отображения результатов вычислений, определяющих процесс пошагового сведения изображений;
- поля и кнопки для задания параметров и инициирования процесса ручного сведения изображений;

- множество кнопок и полей вспомогательного назначения;
- отдельные формы для отображения в виде изображений каркасных трехмерных поверхностей функций, порождаемых исследуемыми алгоритмами сведения изображений, с кнопками, позволяющими поворачивать эти поверхности в трехмерном пространстве, и с полями, отображающими трехмерные координаты точки поверхности, указанной курсором.

Исследовались методы решения задачи совмещения, основанные на вычислении корреляции и различных вариантов разностей между заданными фрагментами двух изображений. Все они показали неспособность к решению задачи, если заданные фрагменты содержат изображения с выраженной периодичностью, например, изображения пашни, и исходное рассогласование изображений составляет более половины периода такой периодической структуры на изображении. Такие методы при этих условиях не находят правильного решения из-за попадания в области локального экстремума используемой функции. Отображение этих функций в виде изображения каркасных поверхностей наглядно показало, что периодичность таких локальных экстремумов совпадает с периодичностью наблюдаемой на изображении структуры.

В результате вычислительных экспериментов были выявлены высокие показатели *метода функционализации*. Математическая основа и конкретное применение этого метода изложено, в частности, в работе [3]. Используемый в методе функционал порождает поверхности, не имеющие периодической структуры даже при обработке фрагментов изображений с явно выраженной периодичностью.

Изображения, для которых необходимо решать задачи сшивки и совмещения, задаются содержимым tif файлов, объемы которых могут превышать 1,5 Гбайт. Принимая во внимание только эту особенность исходных данных, ясно, что при вычислении параметров совмещения или сшивки необходимо работать с небольшими фрагментами исходных изображений, которые далее будем называть «окнами анализа» ОА.

На рисунке 1 представлен фрагмент изображения с выраженной периодической структурой. Белый прямоугольник задает положение на изображении ОА, которое использовалось для получения изображения, представленного на рисунке 2.

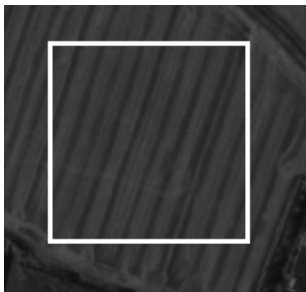


Рисунок 1

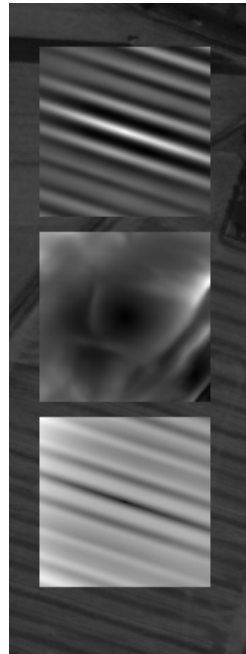


Рисунок 2

Задачи совмещения и сшивки имеют смысл только относительно двух изображений одной и той же местности. Поэтому ОА задается на каждом из этих изображений. Содержимое полутоновых изображений в трех квадратах на рисунке 2 отображает особенности трех подходов к решению рассматриваемых задач. В каждом из подходов пара рассматриваемых изображений совмещалась вручную. Затем, изображения искусственно разводились по одной и двум координатам, и при каждом из вариантов заданного рассогласования изображений вычислялась функция, используемая в качестве основы метода решения задачи. В результате каждому варианту рассогласования изображений ставится в соответствие значение этой функции. В экспериментах изображения разводились на расстояния от  $-50$  до  $+50$  пикселей по каждой из координат. Поэтому на рисунке 2 для каждого из трех подходов отображены по 10 000 значений соответствующих функций. Большая яркость пикселя соответствует большому значению функции. Пикселям в центре квадратов соответствует точное совмещение двух изображений.

В первом из подходов (левый квадрат) для заданной пары ОА вычислялось среднее значение модулей разности яркостей пикселей с одинаковыми координатами относительно ОА. В вычислительном отношении этот процесс значительно проще вычисления коэффициента корреляции (правый квадрат) между содержимым ОА. Видно, что периодическая структура изображения порождает периодический характер вычисляемых функций. Поэтому, любые методы решения задачи, основанные на градиентном спуске по соответствующим этим функциям поверхностям, на подобных изображениях будут давать неверные решения даже при сравнительно небольших исходных рассогласованиях этих изображений по причине неизбежного сползания или подъема в точки локальных экстремумов.

Средний квадрат соответствует методу функционализации, предложенному в [1]. Рисунок 3 представляет собой вторую форму отображения информации, соответствующую среднему квадрату. На нем показано поле векторов-решений, генерируемое этим методом:

- пересечению горизонтальных и вертикальных линий сетки соответствует конкретное рассогласование изображений;
- центру сетки соответствует точное сведение изображений (нулевое рассогласование);
- короткие отрезки одинаковой длины задают направление вектора сдвига подвижного изображения; модуль этого вектора на рисунке 2 отображен яркостью пикселя;
- точки на отрезках задают начала векторов сдвига;
- выделенный квадрат задает область, в которой рассогласование изображений не превышает 25 пикселей по каждой из координат;
- ломаная линия, содержащая в данном случае только два звена, задает шаги совмещения, вычисляемые по методу функционализации.

Ломаная на рисунке 3 говорит о том, что в данном случае (вектор рассогласования изображений равен  $(-20; +35)$ ) задача совмещения двух изображений будет решена всего за две итерации. Методам градиентного спуска понадобилось бы в лучшем случае 35 итераций.

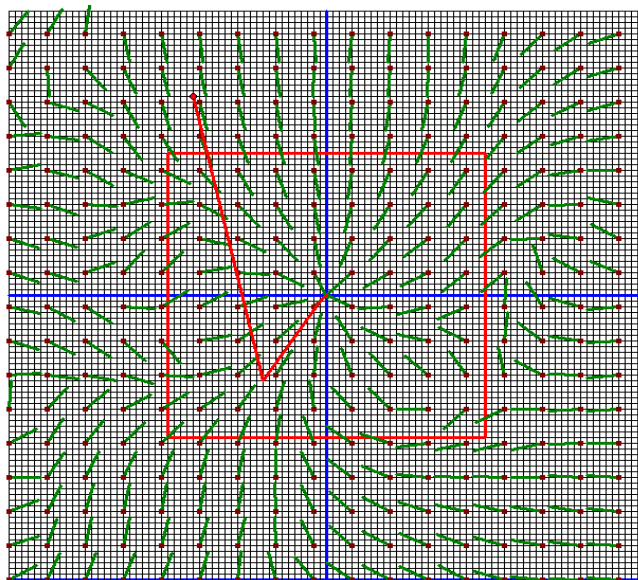


Рисунок 3

Ориентация векторов на рисунке 3 в направлении центра сетки говорит о том, что рассматриваемый метод характеризуется сравнительно большой «областью притяжения» изображений. При этом метод «не замечает» периодических структур на изображении.

#### **Библиографический список:**

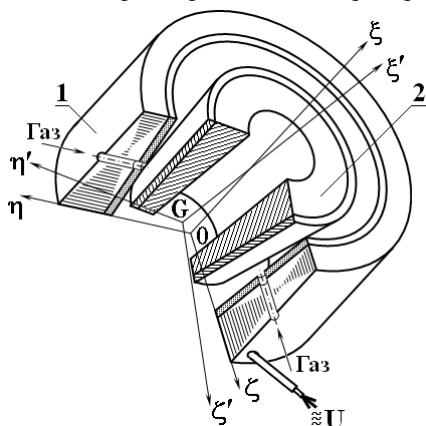
1. Кузнецов П.К. Метод функционализации в задаче обнаружения движущегося объекта. //Межвуз. сб. научн. тр. Алгоритмизац. и автоматиз. технологич. процесс. и технич. систем. - Куйбышев: Изд. КуАИ, 1
2. Злобин В.К., Еремеев В.В. Обработка аэрокосмических изображений. - М.: ФИЗМАТЛИТ, 2006. – 288 с. – ISBN 5-9221-0739-9.
3. Кузнецов П.К., Семавин В.И. Модели и методы построения нелинейных адаптивных систем идентификации движения яркостных полей. /Сборник докладов Всероссийской научной конференции "Управление и информационные технологии", С Петербург, 2003, том 2, с. 55-60.

# СИЛОВЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ДИНАМИЧЕСКИ НЕУРАВНОВЕШЕННЫХ ВРАЩАЮЩИХСЯ РОТОРОВ (МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ)

Сокол В.М., Институт прогрессивных исследований,  
п.я. 5193, Арад 89151, Израиль.

Тел.: +972 72 211 32 05; +972 776 56 58. E-mail: [ymsokol@012.net.il](mailto:ymsokol@012.net.il)

В работах [1, 2] исследована возможность бесконтактного измерения динамических параметров и, в частности, бесконтактной динамометрии вращающихся роторов. Однако в работе [2] сделано молчаливое допущение о том, что ось вращения ротора параллельна его оси симметрии, а колебания ротора относительно других осей координат не рассматриваются. Очевидно, что такое допущение может быть принято лишь в первом приближении для статически неуравновешенных роторов.



На рис. 1 в качестве примера приведено схематическое изображение синхронно-гистерезисного электродвигателя с газоманнитным подвесом массивного безобмоточного конического ротора. Пусть  $0\xi\zeta\eta$  – связанная со статором 1 неподвижная система

Рис. 1. Синхронно-гистерезисный электродвигатель с газоманнитным подвесом ротора (пропорции не соблюдены)  
1 – статор (обмотка не показана);  
2 – массивный безобмоточный ротор

координат, причем ось  $0\xi$  есть центральная ось симметрии статора. Пусть также  $G\xi'\zeta'\eta'$  – жестко связанная с ротором 2 подвижная система координат, причем ось  $G\xi'$  есть ось вращения ротора. Очевидно, что динамическая неуравновешенность ротора приводит к произвольному (в пределах допустимых отклонений) положению оси вращения  $G\xi'$  ротора относительно оси симметрии  $0\xi$  электродвигателя. Очевидно также, что пространственное движение ротора эквивалентно движению жестко связанной с ротором системы координат  $G\xi'\zeta'\eta'$  относительно связанной со статором неподвижной

системы координат  $0\xi\zeta\eta$ . Из этого следует, что при исследовании динамических характеристик ротора следует учитывать его движение относительно всех трех осей координат системы  $0\xi\zeta\eta$ .

В этом случае динамическая жесткость  $D$  [3] относительно каждой из осей координат системы  $0\xi\zeta\eta$  оказывается различной, и в общем случае может быть описана матрицей  $\|D_i\|$ :

$$D = \begin{vmatrix} D_\xi \\ D_\zeta \\ D_\eta \end{vmatrix} \quad (1)$$

Согласно [2, 3], динамическая жесткость  $D_i$  относительно каждой из осей координат системы  $0\xi\zeta\eta$  может быть представлена в виде отношения проекции амплитуды вынуждающей силы  $F_{0i}$  на соответствующую ось к амплитуде  $A_{0i}$  колебаний относительно этой оси:

$$D_i = \frac{F_{0i}}{A_{0i}} \equiv m\sqrt{(\Omega^2 - \omega^2)^2 + 4\mu_i^2\omega^2}, \quad (2)$$

где  $i = \xi, \zeta, \eta$  – оси координат,  $F_{0i}$  – проекция амплитуды вынуждающей силы на оси  $\xi, \zeta, \eta$ ;  $A_{0i}$  – амплитуда колебаний относительно осей  $\xi, \zeta, \eta$ ;  $\mu_i$  – коэффициент демпфирования относительно осей  $\xi, \zeta, \eta$ .

Из (2) следует, что проекции амплитуды вынуждающей силы на оси  $\xi, \zeta, \eta$  могут быть определены в виде:

$$F_{0i} = mA_{0i}\sqrt{(\Omega^2 - \omega^2)^2 + 4\mu_i^2\omega^2}. \quad (3)$$

При этом амплитуда  $F_0$  вынуждающей силы может быть определена в виде матрицы

$$F_0 = \begin{vmatrix} F_{0\xi} \\ F_{0\zeta} \\ F_{0\eta} \end{vmatrix}. \quad (4)$$

Как следует из (3) и (4), определение силы  $F_0$  и ее проекций  $F_{0i}$  сводится в конечном итоге к определению угловой скорости  $\omega$  и собственной циклической частоты  $\Omega$  ротора, амплитуды колебаний  $A_{0i}$  относительно осей  $\xi, \zeta, \eta$ , а также коэффициентов демпфирования  $\mu_i$  относительно каждой из этих осей.

В работах [1, 4] предложен метод определения угловой скорости  $\omega$  и собственной циклической частоты  $\Omega$  ротора, а также метод определения пространственного положения оси симметрии и оси вращения ротора. Непрерывное отслеживание пространственного положения оси симметрии и оси вращения ротора позволяет контролировать (в непрерывном режиме) амплитуду  $A_{0i}$  гармонических колебаний ротора относительно каждой из осей системы координат  $O\xi\zeta\eta$ .

Считая параметры  $\omega$ ,  $\Omega$ ,  $A_{0i}$  известными (в результате их измерения согласно [1, 4]), определим значения коэффициентов демпфирования относительно осей  $\xi, \zeta, \eta$  при исследовании затухающих свободных колебаний ротора относительно этих осей [5].

Максимальная потенциальная энергия колебаний ротора относительно каждой из осей  $i = \xi, \zeta, \eta$  может быть представлена в виде:

$$\Pi_i = \frac{D_i A_{0i}^2}{2}, \quad (5)$$

Рассеяние потенциальной энергии свободных затухающих колебаний за период  $T_1 \approx T$  (где  $T$  – период незатухающих колебаний) определим в виде:

$$\Delta\Pi_i = \int_0^T F_{ci} dA_i, \quad (6)$$

где  $F_{ci} = 2m\mu_i \frac{dA_i}{dt}$  – силы сопротивления относительно осей  $\xi, \zeta, \eta$ ,

$T = \frac{2\pi}{\omega}$  – период незатухающих колебаний с циклической частотой  $\omega$ .

С учетом значений  $F_{ci}$ ,  $T$  и вынужденных колебаний ротора  $A_i = A_{0i} \sin \omega t$  относительно каждой из осей  $\xi, \zeta, \eta$  выражение (6) преобразуется к виду:

$$\Delta\Pi_i = \int_0^T 2m\mu_i \frac{dA_i}{dt} dA_i = 2m\mu_i \int_0^T A_{0i}^2 \omega^2 \cos^2 \omega t dt = 2\pi m\mu_i A_{0i}^2 \omega. \quad (7)$$

Из соотношения величин (5) и (7) определим коэффициент рассеяния энергии при затухании колебаний (относительно каждой из осей  $\xi, \zeta, \eta$ ):

$$\psi = \frac{\Delta\Pi_i}{\Pi_i} = \frac{4\pi m\mu_i \omega}{D_i}. \quad (8)$$

Учитывая крайне малое отличие периодов двух последующих затухающих колебаний [6] (например, при уменьшении последующего

размаха колебаний вдвое период последующего колебания  $T_2=1,024T_1$ ), а также учитывая диссипативную функцию Рэлея, можно представить коэффициент рассеяния энергии затухающих колебаний в виде:

$$\psi = 2\delta_{ki}, \quad (9)$$

где логарифмический декремент затухания

$$\delta_{ki} = \ln \frac{a_{i,j}}{a_{i,j+1}}, \quad (10)$$

$a_{i,j}$  и  $a_{i,j+1}$  – полуразмахи двух последовательных колебаний, разделенных периодом  $T$ , относительно каждой из осей  $i = \xi, \zeta, \eta$ .

Сравнивая выражения (8) и (9), находим:

$$D_i = 2\pi m\omega \frac{\mu_i}{\delta_{ki}}. \quad (11)$$

Сравнивая выражения (2) и (11), находим:

$$2\pi\mu_i\omega - \delta_{ki}\sqrt{(\Omega^2 - \omega^2)^2 + 4\mu_i^2\omega^2} = 0. \quad (12)$$

Решая уравнения (12) относительно  $\mu_i$ , получим формулы, позволяющие определить (вычислить) коэффициенты демпфирования  $\mu_i$  относительно осей координат  $i = \xi, \zeta, \eta$ .

$$\mu_i = \delta_{ki} \frac{\Omega^2 - \omega^2}{2\omega} \sqrt{\frac{1}{\pi^2 - \delta_{ki}^2}}. \quad (13)$$

Подставляя выражение (13) в (3) и выполнив необходимые преобразования, получим формулы, позволяющие определить (вычислить) проекции  $F_{0i}$  амплитуды гармонической вынуждающей силы  $F_0$  на оси  $\xi, \zeta, \eta$  системы координат  $O\xi\zeta\eta$ :

$$F_{0i} = m\pi A_{0i} (\Omega^2 - \omega^2) \sqrt{\frac{1}{\pi^2 - \delta_{ki}^2}}. \quad (14)$$

С учетом (4) и (14) найдем амплитуду гармонической вынуждающей силы  $F_0$  в виде:

$$F_0 = \left\| \begin{array}{l} m\pi A_{\xi} (\Omega^2 - \omega^2) \sqrt{\frac{1}{\pi^2 - \delta_{k\xi}^2}} \\ m\pi A_{\zeta} (\Omega^2 - \omega^2) \sqrt{\frac{1}{\pi^2 - \delta_{k\zeta}^2}} \\ m\pi A_{\eta} (\Omega^2 - \omega^2) \sqrt{\frac{1}{\pi^2 - \delta_{k\eta}^2}} \end{array} \right\|. \quad (15)$$

Учитывая ортогональность осей  $\xi, \zeta, \eta$  системы координат  $O\xi\zeta\eta$ , определим амплитуду гармонической вынуждающей силы  $F_0$  в виде:

$$|F_0| = m\pi(\Omega^2 - \omega^2) \sqrt{\left( \frac{A_\xi^2}{\pi^2 - \delta_{k\xi}^2} + \frac{A_\zeta^2}{\pi^2 - \delta_{k\zeta}^2} + \frac{A_\eta^2}{\pi^2 - \delta_{k\eta}^2} \right)}. \quad (16)$$

Из выражений (13) – (16) следует, что задача определения коэффициентов демпфирования  $\mu_i$  относительно осей координат  $\xi, \zeta, \eta$ , а также задача определения проекций  $F_{0i}$  и амплитуды  $F_0$  гармонической вынуждающей силы сводятся, по сути, к определению логарифмических декрементов затухания  $\delta_{ki}$  и последующему вычислению величин  $\mu_i$ ,  $F_{0i}$  и  $F_0$  при измеряемой в непрерывном режиме величине  $\omega$  [1, 4] и определяемой согласно [1, 2] величине  $\Omega$ .

Считая (с достаточной степенью точности) колебания ротора свободными вблизи собственной циклической частоты  $\Omega$ , можно определить согласно работам [1, 4] полуразмахи  $a_{i,j}$  и  $a_{i,j+1}$  колебаний ротора относительно каждой из осей координат  $\xi, \zeta, \eta$ , определить согласно формуле (10) логарифмические декременты затуханий  $\delta_{ki}$  и, следовательно, найти коэффициенты демпфирования  $\mu_i$  согласно уравнениям (13), а также определить согласно формулам (14) – (16) проекции  $F_{0i}$  и амплитуду  $F_0$  вынуждающей силы.

### *Литература*

1. Сокол В.М. Комплексная система непрерывного измерения динамических параметров роторов // Сборник трудов Международной научной конференции «Современные достижения в науке и образовании», Нетания (Израиль), 9 – 17 сентября 2007 г. – С. 96-101.
2. Сокол В.М. Бесконтактная динамометрия вращающихся роторов (математическая модель) // Сборник трудов VI Международной научно-технической конференции «Повышение качества, надежности и долговечности технических систем и технологических процессов», Хургада (Египет), 2 – 9 декабря 2007 г. – С. 61-65.
3. Левитский Н.И. Колебания в механизмах. – Москва: Наука, 1988.
4. Сокол В.М. Математические методы идентификации динамических параметров и характеристик роторных систем // Труды Института прогрессивных исследований. – Вып. 6. – Арад: Изд-во ИПИ, 2006. – С. 19-34.
5. Шнайдер А.Г., Сокол В.М. Демпфирование колебаний мотор-подшипников // Вестник машиностроения. – 1991. – № 10. – С. 28-31.

6. Лойцянский Л.Г., Лурье А.И. Курс теоретической механики: В 2-х т. – М.: Наука, 1982. – Том 2. – 640 с.

# НОВЫЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ, ВКЛЮЧАЯ НАНОТЕХНОЛОГИИ

## ІНТЕНСИФІКАЦІЯ ВИДОБУТКУ НАФТИ І ГАЗУ ЗА РАХУНОК НОВІТНІХ ТЕХНОЛОГІЙ ТА НАДІЙНОСТІ ОБЛАДНАННЯ

*Чернов Борис Олександрович, Яворський Володимир Миколайович*

*Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу 76019, м.  
Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15, тел. (03422) 48090  
e-mail: physics@ifatung.if.ua*

Основною проблемою, яка постала перед людством це енергозабезпечення та енергозбереження. Вирішення цих питань не може бути досягнуте без збільшення об'єму бурових робіт та підвищення темпів і якості будівництва та експлуатації свердловин. Особливо важливою є проблема підвищення довговічності свердловин та їх термінів експлуатації.

Експериментальні та наукові дослідження показали, що однією із причин аварій з обсадними колонами є порушення герметичності різьбових з'єднань обсадних труб. В зв'язку з цим науковцями розроблено цілий ряд конструкцій різьбових з'єднань ОТ, які значно підвищили їх герметичність. Найбільш широкого використання набули труби з різьбою ОТТГ-1, в яких висока герметичність повинна забезпечуватись ущільнюючим герметизуючим пояском циліндричної форми.

Дуже часто експлуатаційні свердловини використовуються в якості нагнітальних і тому їх довговічність та надійність в значній мірі залежить від їх герметичності. Виходячи з цього нами розроблено високогерметичне з'єднання обсадних труб з різьбою трапецеїдальної форми (ОТТШ), в якого герметизує ущільнення конічної форми виготовлене із матеріалу з коефіцієнтом об'ємного температурного розширення більшим ніж матеріал труби. Таке конструктивне рішення забезпечило підвищення герметичності різьбових з'єднань обсадних труб в 2 рази в порівнянні з різьбою ОТТГ-1. Конструкція захищена авторським свідоцтвом на винахід.

Даний тип різьбового з'єднання був використаний при розробці термоізолювальних секцій труб для нагнітання теплоносія в свердловину (Гнідинці 201) при високих параметрах тиску та температури. Протягом року експлуатації не було виявлено порушення герметичності різьбових з'єднань.

В процесі розкриття продуктивних пластів, а також експлуатації видобувних і нагнітальних свердловин відбувається зниження проникності привибійної зони. Для успішного освоєння та підтримання на необхідному рівні продуктивності видобувних та приймальності нагнітальних свердловин широко застосовуються різноманітні види кислотних обробок (піно-, солено-, термо-, азотно-глино-, газо-, лужно-, нафтокислотні обробки).

Більшість з цих видів обробки полягають у закачуванні реагента при певному тиску на вибій та витримці певний період часу. Проте, практика показала, що більш ефективними методами є ті при яких реагенти подаються у вибійну зону з змінними параметрами тиску, температури, енергії (з використанням енергії керованого вибуху, вибухово-реагентний, вібросейсмічний і т.д.)

З метою підвищення фільтраційних характеристик порід у привибійній зоні пластів з використанням енергії гідроакустичних коливань розроблено гідроакустичний генератор для обробки привибійної зони. Акустичний генератор розміщується в стакані на торці колони НКТ та складається з двох циліндричних порожнин, які розміщені по обидві сторони прохідного каналу. За рахунок конструктивних особливостей цих порожнин виникає турбулентний рух рідини. Взаємодія цих турбулентних (вихрових) потоків створює коливний рух струмини з регульованою частотою  $\nu = 2 \div 10$  кГц.

Таким чином на вибій діє рідина з акустичними коливаннями потужністю 1-2 кВт, що забезпечує проникнення реагенту на більшу глибину. Для дії на при вибійну зону в напрямку перпендикулярному до осі колони, на виході акустичного генератора розміщується конус, який направляє енергію випромінювання в горизонтальній площині. Можливе розміщення декількох генераторів з різною орієнтацією спрямовуючих пелюсток.

Все це приводить середовище продуктивного пласта в нерівноважний стан з наведенням в ньому значної кількості додаткових флюїдних каналів. Окрім цього акустична дія на пласт впливає також на фізико-хімічні характеристики флюїдів, зокрема знижується величина міжфазного натягу на межі нафта-вода, руйнується структура в'язкопластичних рідин і т. ін. В результаті

підвищується флюїдовіддача продуктивного пласта, чим забезпечується інтенсифікація видобутку вуглеводнів.

Оскільки гідроакустичні генератори працюють у сильному корозійному середовищі, то з метою вибору матеріалу вихрових камер акустичного генератора був проведений комплекс експериментальних досліджень.

Було встановлено, що найбільшою довговічністю володіють камери із сталі 43ХН2МФА з  $\sigma_{0,2} = 950 \div 1100$  МПа та з бронзи ОСЦ – 555.

Одержано аналітичні залежності для визначення оптимальних параметрів гідроакустичних генераторів та проведенню промислові випробування, які підтвердили високу ефективність даного методу очистки привибійної зони пласта.

## **ОЧИСТКА ПИТЬЕВЫХ И СТОЧНЫХ ВОД НИЗКОТЕМПЕРАТУРНЫМ ПЛАЗМЕННЫМ ЭЛЕКТРОЛИЗОМ**

*КУБЛАНОВСКИЙ Валерий Семенович, КРАВЧЕНКО Александр Васильевич,  
ПИВОВАРОВ Александр Андреевич, БЕРСИРОВА Оксана Леонидовна  
Институт общей и неорганической химии им. В.И.Вернадского  
Национальной академии наук Украины  
просп. Академика Палладина 32-34, 03680, Киев-142, Украина,  
e-mail: kublan@ukr.net*

В настоящее время резкое повсеместное ухудшение экологической ситуации привело к существенному многокомпонентному загрязнению водоемов и поверхностного слоя земли. В воде и почве в опасных концентрациях могут содержаться нефтепродукты, поверхностно-активные вещества, ионы тяжелых металлов, пестициды, органические вещества и др.

Основным источником загрязнений водоемов и почвы являются сточные воды, содержащие загрязнения в опасных концентрациях.

Так как водоемы являются основным источником водоснабжения населения, а эффективность имеющихся водопроводных очистных сооружений в отношении многих указанных выше веществ незначительна, то очень актуально стоит вопрос высокоэффективной очистки сточных вод и обеспечения населения качественной питьевой водой.

У существующих реагентных методов очистки жидких стоков

наряду с общепринятыми достоинствами имеются не менее общеизвестные недостатки. Перечислим основные:

- при введении реагента в раствор только некоторая его часть является необходимой для проведения реакции, другая его часть является балластом, загрязняющим обрабатываемый раствор;

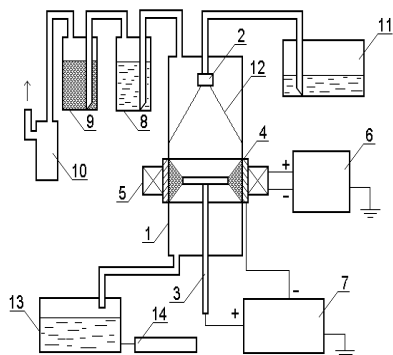
- при реакции действующего начала реагента с загрязнителем в воде накапливаются продукты реакции действующего начала реагента;

- при очистке разбавленных сточных вод технологически необходимо, для обеспечения полноты реакции, поддерживать избыточное количество реагента, что может являться вторичным загрязнителем воды.

Для решения проблемы очистки сточных вод предлагается метод и установка низкотемпературного плазменного электролиза (НТПЭ), которая обеспечивает очистку и тонкую доочистку промышленных сточных вод от органических и неорганических загрязнений до санитарных норм, позволяющих обеспечивать их сброс.

Применение метода низкотемпературного плазменного (люминесцентного) электролиза позволяет обеспечить уменьшение содержания вредных веществ в водном растворе не менее 95-99% при исходном уровне концентрации загрязнений присутствующих в реальных сточных водах на уровне от 2 до 5 предельно допустимых концентраций:

Уникальность метода НТПЭ состоит в том, что он позволяет оказывать воздействие на жидкость с помощью электрического и фотохимического эффектов, а также электрохимических реакций, протекающих на электроде погруженном в жидкость, и пролонгированного воздействием продуктов, образующих в водном растворе при воздействии всех факторов.



Блок-схема установки для обработки жидкостей в проточном режиме: 1 - реактор; 2-форсунка; 3 - анод; 4 - катод; 5-электромагнит; 6-источник питания электромагнита; 7 - источник питания разряда; 8 - поглотитель влаги первой ступени; 9 - поглотитель влаги второй ступени; 10 - вакуумный насос; 11- необработанный раствор; 12 - пленка жидкости; 13 - раствор после обработки; 14 - фильтры.

На рисунке представлена схема установки для реализации метода НТПЭ в пленочном режиме протекания жидкости. Реактор 1 представляет собой полу трубку из диэлектрического материала с катодом 4, выполненным в виде кольца и коаксиально расположенным анодом 3. Обрабатываемая жидкость, равномерно распределяемая с помощью форсунки 2 на стенки реактора, в виде пленки стекает вниз и попадает в зону обработки тлеющим разрядом, после чего собирается в приемной емкости 13, откуда при необходимости подается на фильтры 14. В дальнейшем обработанная жидкость может быть возвращена в технологический процесс, направлена в слив или на повторную обработку с целью повышения качества очистки.

Предлагаемый метод для очистки сточных вод от ионов тяжелых металлов позволяют производить очистку и от анионов слабых кислот без внесения сторонних реактивов и балластных элементов. Действующим началом процесса очистки является спектр физико-химических воздействий, оказываемых методом низкотемпературного плазменного электролиза, пролонгированным химическим действием перекисных и надперекисных соединений, короткоживущих ионов и радикалов, образующихся в воде при контакте с плазмой. Результатом этого комплексного воздействия на водный раствор являются соединения, образующиеся при окислительно-восстановительных реакциях с элементами-загрязнителями. Например: цианид-ион разрушается с образованием углекислого газа и азота; ионы меди, цинка, никеля, железа образуют соответствующие гидроксиды переходящие на стадии разделения фаз в осадок; ионы шестивалентного хрома восстанавливаются до трехвалентного и при катодном подщелачивании образуют гидроокись хрома трехвалентного

В методе низкотемпературного плазменного электролиза электрохимический фактор воздействия присутствует в универсальном аспекте. Анодные процессы протекают на границе газ-жидкость, обращенной в сторону жидкости и обрабатывают раствор ионами и радикалами деструкции воды, которые возникают под действием электроразряда на жидкость. Эти высокорекреационные соединения инициируют образование реакций лавинного характера с примесями присутствующими в воде.

Катодные процессы протекают в основном в виде образования атомарного и молекулярного водорода на поверхности, погруженного в жидкость, электрода. Атомарный водород является одним из самых сильных химических восстановителей. Такое направленное с двух сторон воздействие на обрабатываемую жидкость, приводит к протеканию окислительно-восстановительных взаимодействий с загрязнениями и, как следствие этого, высокой степени очистки воды.

При этом в исходный водный раствор не вносятся какие-либо химические вещества, которые бы в последствии, могли накапливаться в воде и вызывать ее дополнительное загрязнение, единственным расходным материалом является электрический ток, расход которого растет пропорционально количеству исходных загрязнений.

Метод НТПЭ может применяться для очистки сточных вод предприятий коммунальных хозяйств, предприятий хлебопекарной, мясомолочной, сахарной промышленности, предприятий по производству медпрепаратов и биопродуктов, станций питьевого водоснабжения, инфекционных клиник, обогатительных комбинатов, атомных электростанций, специальных лечебных заведений, станций питьевого водоснабжения. Особенно большое значения будет иметь для экологически опасных регионов и чрезвычайных ситуаций.

## **УМОВИ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЯКОСТІ БІМЕТАЛІЧНИХ І БАГАТОШАРОВИХ ВІДЛИВОК**

*Постіл Степан Дмитрович  
Національний університет ДПС України, 08200, м.Ірпінь, Київської області,  
в.Мечнікова, 37-Б, тел.8-04497-60442,  
E-mail: [sdp\\_irp@ukr.net](mailto:sdp_irp@ukr.net)*

Значним резервом підвищення ефективності використання металу в машинобудуванні є застосування в конструкціях машин литих біметалічних і багатощарових виробів, у тому числі отриманих на основі зношених деталей.

Відновлення деталей заливанням рідкого металу на тверду основу в кокілі здійснюється за наявності наступних, пов'язаних з теплообміном, процесів: попереднього підігріву зношеної деталі (металооснови) за допомогою індукційного нагрівача; затвердіння залитого рідкого металу; охолодження одержаного біметалічного відливка й кокілю.

Важливою умовою для формування якісного відливка є одержання металічного зв'язку між з'єднуючими частинами. Під час взаємодії металу, що заливається, з металоосною процесу дифузійного розплавлення завжди передує процес дифузійного насичення поверхневого шару. Після досягнення певної концентрації легуючого елемента відбувається плавлення поверхневого шару металооснови. Глибину дифузійного шару для даної температури можна приблизно визначити за часом насичення та коефіцієнтом дифузії легуючого елемента.

Під час відновлення в кокілі зношених деталей у відливках має місце істотна нерівномірність полів температури. Ступінь нерівномірності температури визначається тепловою взаємодією наплавленого шару з металоосною, умовами теплообміну відливка з навколишнім середовищем, початковим тепловим станом системи тощо. Термічні напруження, що виникають у результаті цієї нерівномірності, можуть приводити до утворення різного роду тріщин. Крім того, між наплавленим шаром і металоосною може виникати недостатнє металічне з'єднання. Отже, відновлення деталей необхідно здійснювати за таких значень технологічних параметрів, які забезпечують зварюваність біметалічної пари (наплавлений шар - металооснова) і допустимий рівень виникаючих термічних напружень у відливку. У зв'язку із цим виникла необхідність у математичному моделюванні процесів теплообміну в системі взаємодіючих тіл при формуванні біметалічного відливка.

Процес відновлення зношених деталей супроводжується переміщенням границь фазового перетворення внаслідок кристалізації металу і під час математичного опису відноситься до класу задач Стефана.

Передбачається, що з метою одержання якісного відливка процес відновлення у кокілі, внутрішня поверхня якого покрита шаром теплоізоляції, здійснюється рідким металом, який має температуру перегріву порядку 100-200К. При цьому приймається, що рідкий метал у момент завершення попереднього підігріву металооснови заливається досить швидко й твердне при постійній температурі Tt.

Розроблені математична модель задачі теплопровідності в системі тіл наплавка–теплоізоляція–кокіль–навколишнє середовище та програмний комплекс, за допомогою якого проведені обчислювальні експерименти з дослідження процесів теплообміну з відновлення деталей заливанням рідкого металу.

До визначальних параметрів технологічного процесу можуть бути віднесені температура попередньо підігрітої поверхні металооснови  $T_m$ , температура  $T_j$  рідкого металу та кількість  $G$  залитого металу, що витрачається на відновлення одиної поверхні зношеної деталі. З метою розробки оптимальних режимів відновлення зношеної поверхні катка гусеничного трактора виконано обчислювальне дослідження процесу в залежності від його визначальних параметрів.

Під час обчислювального дослідження процесу з відновлення катка гусеничного трактора визначалися: розподіл температури в системі тіл й координати границь фазового перетворення, зазор і коефіцієнт теплопередачі між відливком та кокілем, а також температура вільної поверхні теплоізоляції.

Хороший збіг розрахункових і експериментальних температур на зовнішній поверхні металооснови й у середині наплавки, де температура максимальна, свідчить про достатню точність використаної математичної моделі. Експериментальні дослідження виконані у Фізико-технологічному інституті металів і сплавів НАН України.

Для оцінки якості металічного з'єднання біметалічної пари досліджувалася кінетика затвердіння рідкого металу на металооснові в залежності від визначальних параметрів технологічного процесу.

Результати обчислювального дослідження процесу відновлення деталей показали, що залитий метал перебуває біля зовнішньої поверхні металооснови деякий час у рідкому стані. Цей час будемо називати часом зварюваності біметалічної пари. Протягом цього часу здійснюється дифузійне розплавлення металооснови.

За результатами експериментальних досліджень глибина якісного дифузійного шару становить величину порядку  $b = 0,2 - 0,4$  мм. Очевидно оптимальний рівень дифузійного розплавлення металооснови відповідає глибині поверхневих нерівностей і мікротріщин. Маючи у своєму розпорядженні значення  $b$ , можемо визначити мінімальний час (час насичення), який потрібен для утворення необхідного з'єднання.

На основі зіставлення розрахункових і експериментальних даних отримано співвідношення  $S = (P \cdot T \cdot M) / (1 - M)$ , де безрозмірні величини

$P=(T_j-T_t)/T_t$ ,  $T=T_m/T_t$  і  $M=G/G_j$ ;  $G_j$  - витрата рідкого металу при повному зношенні обода деталі. Дане співвідношення може бути використане для апіорної оцінки параметрів процесу одержання біметалічного відливка заливанням чавуну за складом (по масі): 2,8 - 3,2 C; 1,6 - 2,2Si; 0,7 - 0,9Mn; 0,2 - 0,4Cr; 0,2 - 0,4 Cu; менш 0,05 S; менш 0,1 P на тверду металооснову, що виготовлена зі Ст45.

Коли витрата рідкого металу становить  $M=0,22-0,57$ , перегрів його дорівнює  $P=0,1-0,25$  і попередній підігрів зовнішньої поверхні металооснови досягає значення  $T=0,74-0,97$ , то якісна зварюваність біметалічної пари досягається при досягненні умови:  $S \geq 0,04$ .

Досліджена проблема щодо формування в біметалічних відливках якісного дифузійного шару є актуальною і в процесах отримання багатшарових відливок шляхом заливання чергової порції рідкого металу на затверднений метал після попередньої заливки.

Розроблена методика дозволила виконати обчислювальні дослідження теплового стану багатшарового відливка, одержуваного пошаровим заливанням рідкого металу на попередньо залиту і затверднену основу та отримати практичні рекомендації щодо оптимальних режимів їх формування.

Для підвищення якості, надійності і довговічності технологічного процесу отримання багатшарових, в тому числі біметалічних, відливок доцільно здійснити перепроєктування існуючої технології за допомогою автоматизованих засобів проектування (CASE-засобів). Враховуючи складність технологічного процесу отримання відливок бажано використання CASE-засоби, що реалізують різні способи моделювання в ході перепроєктування існуючої чи проектування нової технології. В даний час спостерігається тенденція інтеграції різноманітних методів моделювання і аналізу систем, що проявляється у формі створення інтегрованих засобів моделювання.

## **СИСТЕМНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА КРИСТАЛЛИЗАЦИИ ПАРАФИНОВ**

*Кадыров Дмитрий Буттаевич, Лившиц Михаил Юрьевич  
Самарский государственный технический университет  
443100, ул. Молодогвардейская, 244, г. Самара, Россия  
Тел. (846) 332-11-06, E-mail. entcom@samgtu.ru*

Технологический процесс нефтепереработки при анализе в качестве сложной системы может быть подвергнут декомпозиции на

ряд подсистем, типичных для многих отраслей промышленности, а именно технологическую, финансовую, социальную, правовую и др. Технологическая подсистема, в свою очередь, включает в себя несколько технологических блоков, в числе которых одним из важнейших является блок производства масел (маслоблок). На маслоблок, который находится в конце производственной цепочки, сильно влияют другие технологические подсистемы нефтепереработки, а сам он оказывает влияние на смежные системы (машиностроение, автомобильная промышленность и др.). В состав маслоблока входит ряд производственных процессов, а именно селективная очистка, деасфальтизация и депарафинизация (Рис. 1). Сырьем для производства масел служат продукты первичной переработки нефти. Основным продуктом является депмасло, которое используется для производства смазочных материалов различного назначения.

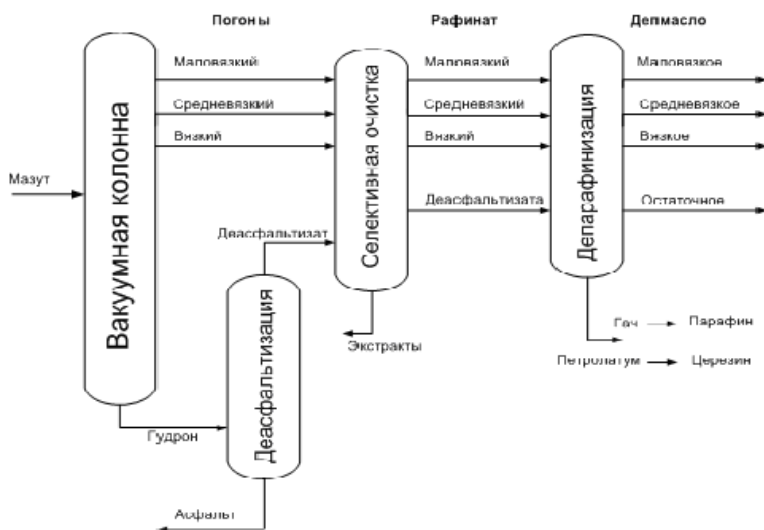


Рис. 1. Принципиальная технологическая схема производства масел

Установка депарафинизации (рис.2) предназначена для получения масляных компонентов с температурой застывания до  $-55^{\circ}\text{C}$  за счет удаления из очищенной масляной фракции (рафината) кристаллизацией и фильтрованием соединений с высокой ( $20-80^{\circ}\text{C}$ ) температурой плавления – парафина. Сырье и растворитель

смешиваются в заданном соотношении, смесь через теплообменники подается в регенеративные кристаллизаторы 2, а затем в кристаллизаторы 3, использующие хладагент (аммиак, пропан, этан). В зависимости от выбранного режима разбавления растворитель может подаваться на смешение с сырьем не только перед началом кристаллизации, но и в ходе этого процесса (порционное разбавление). Холодная суспензия высокоплавких углеводородов в растворе масла и растворителя поступает на барабанные вакуумные фильтры 5. Осадок твердых углеводородов на барабане фильтра промывается холодным растворителем и выводится в отделение регенерации 7. Холодный раствор депарафинированного масла (фильtrat) проходит через кристаллизаторы 2, где он служит для первичного охлаждения смеси сырья и растворителя, после чего поступает в отделение регенерации 6.

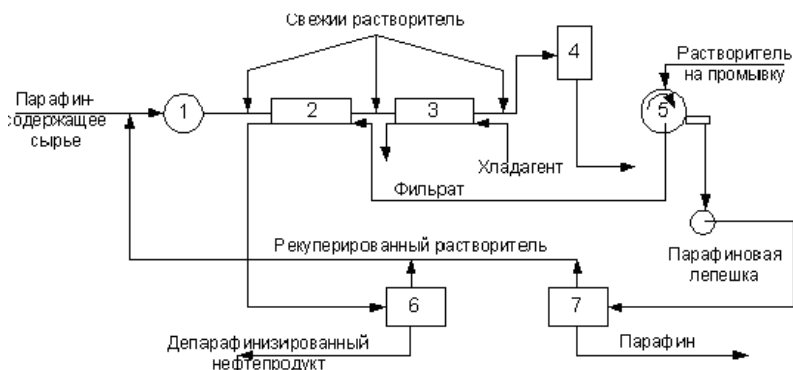
Основными факторами, определяющими протекание процесса депарафинизации, являются качество сырья; состав растворителя; кратность и режим разбавления сырья растворителем; скорость охлаждения суспензии; температура конечного охлаждения (фильтрования). Главным условием, определяющим размер и форму кристаллов, является соотношение скоростей образования зародышей и их последующего роста. Если скорость возникновения зародышей значительно превышает скорость их роста, пересыщение раствора используется преимущественно для образования новых центров кристаллизации, что приводит к получению мелкокристаллического осадка. Если же основная масса кристаллизующегося вещества отлагается на поверхности первоначально возникших зародышей, а в последующем новые центры кристаллизации не образуются или образуются в очень малом количестве, то в результате будет образовываться крупнокристаллический продукт [1].

Мелкие кристаллы парафина быстрее оседают на внутреннем оборудовании кристаллизатора и образуют на нем более плотный, трудноудаляемый слой парафина. Это приводит к уменьшению времени межрегенерационного пробега кристаллизатора. Кроме того, измельченный гранулометрический состав затрудняет работу фильтровального отделения установки депарафинизации, что приводит к уменьшению выхода депмаса (целевого продукта процесса депарафинизации).

Промышленных инструментальных средств оценки среднего размера кристаллов в потоке не существует, поэтому практически единственным способом управления установкой депарафинизации является использование математической модели процесса

кристаллизации. Математическая модель должна обеспечивать следующие технологические возможности:

1. расчет концентрации твердой фазы и гранулометрического состава в любом сечении по длине кристаллизатора;
2. учет влияния технологических параметров и свойств сырья на кинетику кристаллизации;
3. прогноз показателей качества и выхода получаемых продуктов.



**Рис. 2. Принципиальная схема депарафинизации**

нефтепродуктов с применением растворителей: 1 - нагреватель сырья; 2 - регенеративный кристаллизатор; 3 – аммиачный кристаллизатор; 4 - промежуточный сборник; 5 - барабанный вакуум-фильтр; 6, 7 - аппараты для отгонки растворителя соответственно из фильтрата и парафинового осадка

В основу системной проблемно-ориентированной модели кристаллизации в регенеративном кристаллизаторе могут быть положены следующие существующие математические описания процесса кристаллизации.

1. Классическая математическая модель гетерогенной среды, которая включает в себя основные уравнения механики гетерогенных сред: уравнения неразрывности, уравнения баланса числа частиц, уравнения сохранения импульса и энергии [2]. Эта модель носит наиболее общий и универсальный характер, но является и наиболее сложной. Параметрическая идентификация ряда коэффициентов этой модели затруднена.

2. Математическая модель процесса кристаллизации на основе кинетического уравнения переноса, позволяющая выразить кинетические характеристики процесса через пересыщение раствора [3]. В основу описания этой математической модели положено гиперболическое уравнение в частных производных 1-ого порядка с соответствующими граничными и начальными условиями. Модель основана на обобщающих коэффициентах, что делает ее малочувствительной к случайным возмущениям процесса.

3. Математическая модель зародышеобразования и роста кристаллов, в основе которой лежит теория диффузии, позволяет определить течение и результаты процесса кристаллизации в зависимости от условий его проведения [4]. Эта модель отличается от модели кристаллизации на основе кинетического уравнения учетом большего числа качественных факторов, влияющих на процесс кристаллизации. Однако, как и в случае с классической математической моделью гетерогенной среды, в нее входит ряд коэффициентов, параметрическая идентификация которых затруднена.

4. Эмпирическая модель кристаллизации парафинов, основанная на анализе фазового равновесия системы "сырье-растворитель" по кривой их взаимной растворимости [2]. Эта модель является наиболее технологичной из всех рассматриваемых математических моделей, так как позволяет учесть влияние основных показателей процесса на качество конечных продуктов, но она не учитывает динамику процесса кристаллизации.

5. Стохастическая модель кристаллизации, основанная на представлении процесса в виде неоднородной цепи Маркова [5] позволяет рассчитать динамику процесса кристаллизации с учетом изменений во времени температуры и равновесной концентрации. Основной сложностью при использовании стохастической модели является численная оценка используемых вероятностей.

Основу описания процесса образования и роста кристаллов парафина в рамках проблемно-ориентированной модели составляет кинетическое уравнение кристаллизации для определения численного распределения кристаллов по их размерам  $f(r)$  при отсутствии измельчения и агломерации кристаллов, независимости линейной скорости роста кристаллов  $\eta$  от размеров и незначительности ее флуктуации во времени:

$$\frac{\partial f(r,t)}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial r} [\eta f(r,t)] = 0, \quad r \in [r_3; R], \quad 1)$$

где  $t$  – время;  $r$  – линейный размер кристалла;  $r_3$  – линейный размер зародыша;  $R$  – максимальный линейный размер кристалла;  $\eta$  – линейная скорость роста кристалла.

Граничные и начальные условия для функции  $f(r, t)$  имеют вид:

$$\begin{aligned} \eta \cdot f(r, t) \Big|_{r=r_3} &= I_3; \\ f(r, t) \Big|_{t=0} &= f_0(r), \end{aligned} \quad 2)$$

где  $I_3$  – скорость образования зародышей кристаллов.

Зависимости для определения скорости роста  $\eta$  и скорости зародышеобразования  $I_3$ :

$$\eta = K_r (c - c^*)^a = K_r \Pi^a; \quad 3)$$

$$I_3 = K_I (c - c^*)^b = K_I \Pi^b, \quad 4)$$

где  $K_r$  – константа скорости роста кристаллов;  $K_I$  – константа скорости зародышеобразования;  $a, b$  – константы;  $c, c^*$  – текущая и равновесная концентрация соответственно;  $\Pi$  – пересыщение.

Уравнение скорости изменения концентрации парафина в растворе:

$$c(t) = c_0 + \frac{4\pi\Psi\rho}{3V} \int_{r_3}^R (f_0(r) - f(r, t)) r^3 dr, \quad 5)$$

где  $c_0$  – начальная концентрация;  $\rho$  – плотность кристаллической фазы;  $V$  – объем кристаллизатора;  $\Psi$  – фактор формы кристалла.

Формула для определения среднего размера кристаллов  $\bar{R}$ :

$$\bar{R} = \frac{\int_{r_3}^R f(r) r dr}{\int_{r_3}^R f(r) dr}. \quad 6)$$

Уравнение (1) для одной секции с учетом принятых допущений может быть записано в виде:

$$\frac{d(\eta \cdot f(r))}{dr} + \frac{f(r)}{\tau} = 0, \quad 7)$$

где  $\tau$  – среднее время пребывания частицы в аппарате.

С помощью критерия Фишера проведена оценка достоверности результатов моделирования процесса кристаллизации парафина в горизонтальном скребковом кристаллизаторе, которая показывает, что точность количественной оценка выхода депмасла приемлема для практического использования.

#### **Список использованной литературы:**

1. Матусевич, Л.Н. Кристаллизация из растворов в химической промышленности / Л.Н. Матусевич. - М. : Химия, 1968. - 304 с.
2. Тюмкин, С.В. Растворимость парафинов в метилэтилкетоне и его смесях с толуолом/ С.В. Тюмкин // Нефтепереработка и нефтехимия. – М.: ЦНИИТЭнефтехим. - 1975. - № 3. – С. 19-21.
3. Кафаров, В. В. Системный анализ процессов химической технологии. Процессы массовой кристаллизации из растворов и газовой фазы / В.В. Кафаров, И.Н. Дорохов, Э.М. Кольцова. - М. : Наука, 1983.
4. Богданов, Н.Ф. Депарафинизация нефтяных продуктов / Н.Ф. Богданов, А.Н. Переверзев. - М.: Гостоптехиздат, 1961. - 248 с.
5. Веригин, А.Н. Кристаллизация в дисперсных системах: Инженерные методы расчета / А.Н. Веригин, И.А. Щупляк, М.Ф. Михалев. - Л. : Химия, 1986. - 248 с.

## **ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИЙ МЕТОД ФОРМИРОВАНИЯ НАНОСТРУКТУР СЕРЕБРА И ЗОЛОТА**

***БЕРСИРОВА Оксана Леонидовна, КУБЛАНОВСКИЙ Валерий Семенович**  
Институт общей и неорганической химии им. В.И.Вернадского, НАН Украины  
просп. Палладина 32/34, 03680, Киев-142, УКРАИНА  
e-mail: bersibol@ukr.net, kublanovsky@ionc.kar.net*

Прогресс общества во многом зависит от уровня технологий и широты применения изделий микроэлектроники. Рост этой отрасли науки и техники идет бурными темпами. Таких темпов не знает ни одна другая отрасль промышленности. Эволюция технологий в электронной отрасли набирает обороты, заставляя прогрессивные компании искать все новые решения, чтобы соответствовать жестким требованиям конкуренции современного рынка. Однако два принципа при этом остаются неизменными: нет такого покрытия, которое одинаково хорошо выполняло все возможные функции, и нет материалов с полностью совпадающими свойствами. Потому,

переходя на новые усовершенствованные технологии, необходимо всегда оценивать их соответствие требованиям конечной задачи обработки поверхности, поставленной заказчиком перед производством. Ввиду огромного разнообразия изделий электроники возникает необходимость в получении покрытий со своим, строго определенным комплексом свойств, отличающимся для каждого отдельно взятого вида изделий [1-2].

В ходе разработки изделий электроники требуется решать сложные научно-технические задачи, среди которых разработка технологии создания многофункциональных металлических покрытий.

Благодаря высокой электропроводности, стабильной во времени в широком интервале температур, золотые и серебряные покрытия широко используются как функциональные в микроэлектронной промышленности. На сегодняшний день золото остается технически лучшим материалом для микроэлектроники. Для изделий, которые работают в герметичных условиях, успешно применяется серебро. Таким образом, покрытия серебра и золота могут обеспечивать высокую надежность и стабильность технологий и на этапе производства микроэлектронных изделий и на этапе их эксплуатации. Важно также то, что покрытия драгметаллами обеспечивают неизменность свойств при длительном хранении электронных изделий.

Функциональные свойства гальванопокрытий золота и серебра определяются составом электролитов и условиями осаждения.

Рассмотрены закономерности процессов электроосаждения серебра и золота и на основе этого разработана теория формирования функциональных покрытий. Прямая связь между кинетикой восстановления комплекса и структурой поверхности осадка подтверждена на примере разряда координационных соединений серебра и золота [3-7]. Комплекс таких факторов, как ток поляризации, который обеспечивает скорость роста осадка, и потенциал осаждения, который отвечает соответствующей энергетике поверхности, позволяет получать наноструктуру, обеспечивающую функциональные свойства покрытия.

Показано, что правильным выбором состава раствора, т.е., электрохимически активного комплекса, а затем подбором режима электролиза, можно получать четко определенную структуру осадков (в том числе наноструктуру), управлять текстурированием, и, таким образом, создавать условия электрокристаллизации и заранее прогнозировать структуру покрытия, и его свойства (рис. 1).

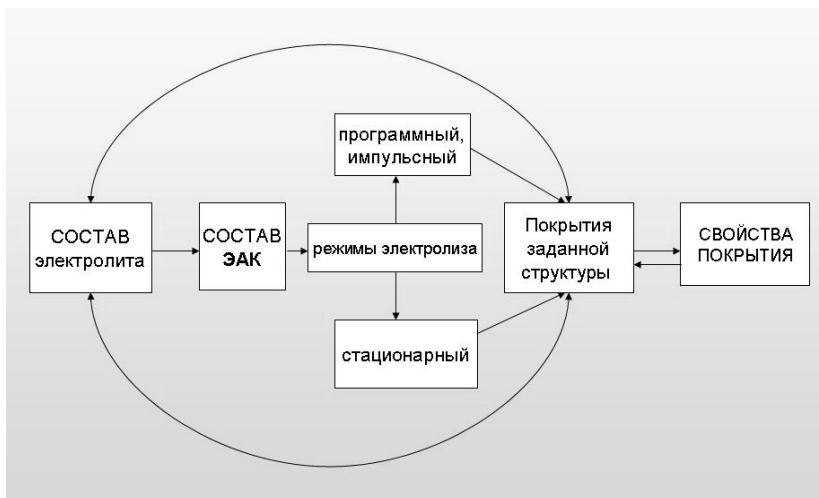


Рис.1. Пути управления свойствами электролитических покрытий.

Полученные закономерности позволили в фундаментальном аспекте систематизировать структурные зависимости функциональных свойств осадков от потенциала осаждения, а в прикладном - получать наноструктуры функционального серебра и золота.

Нами разработаны современные электролиты для осаждения золота и серебра, выявлены особенности получения (стационарный и импульсный электролиз) [8-9] и свойства полученных покрытий драгоценных металлов [10] относительно корпусов интегральных микросхем (ИМС) и микросборок. Рассмотрены структуры электроосажденных покрытий в связи с их функциональными свойствами, способы управления структурой, исходя из состава электролитов и условий электролиза.

Установленные закономерности изменения кинетики процессов, механизма кристаллизации и структуры тонких пленок серебра и золота, а также построенная новая модель управления ими существенно расширяет такие области знаний, как теоретическая и прикладная электрохимия, физика твердого тела, материаловедение, технология электронных устройств, и определяет новые направления в повышении эффективности электрохимических производств. Использование созданной теоретической базы позволило оптимизировать и прогнозировать как свойства тонкопленочных систем металлизации, так и технико-экономические показатели процессов.

## Литература

- [1] О.Берсирова, В.Кублановский, Вестник Харьковского Политехнического Института **15**, 35 (2005).
- [2] С.Бык, О.Берсирова, В.Кублановский, Наносистемы, наноматериалы, нанотехнологии, **4**, 811 (2006)
- [3] O.Bersirova, V.Kublanovsky, Materials Science (Medziagotyra), **4**, 308 (2004).
- [4] В.Герасименко, О.Берсирова, В.Кублановский, Наносистемы, наноматериалы, нанотехнологии **4**, 821 (2006).
- [5] О.Берсирова, В.Кублановский, Электрохимия **1**, 52 (2007).
- [6] O.Bersirova, V.Kublanovsky, Materials Science (Medziagotyra), **10**: № 4, 308 (2004).
- [7] H. Cesiulis, O. Bersirova, I. Prosyčėvas, Surface Engineering, Sess.**12**, 139 (2005).
- [8] В.Кублановский, К.Литовченко, В.Емельянов, Л.Ануфриев, Гальванотехника и обработка поверхности **3**, 33 (1993).
- [9] Н.Костин, В.Кублановский, В.Заблудовский, *Импульсный электролиз. Киев.:Наук.думка*, 1989.– 168с.
- [10] В.Кублановский, О.Берсирова, В.Емельянов, Л.Ануфриев, И.Рубцевич, Физико-химическая механика материалов **4**, 613 (2004).

## ЗАЩИТНЫЕ ПОКРЫТИЯ НАНООБЪЕКТОВ И ИХ СВОЙСТВА

*Богорош А.Т., Воронов С.А., Ларкин С.Ю.*

*Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт»*

*Тел. +38(044) 241 68 65, E-mail: fondfti@ntu-kpi.kiev.ua*

Важной проблемой современной электроники вообще и нанoeлектроники, в частности, является совершенствование защитных покрытий с заданными механическими, физико-химическими, электрическими и термическими свойствами. [1]. Такие свойства имеют композиционные материалы из органических полимеров, что частично обеспечивается путем модификации полимерной органической матрицы химически активными или инертными неорганическими наполнителями. Более эффективным способом является путь совместной полимеризации органических олигомеров с неорганическими, такими как силикаты, алюмофосфаты, силикополифосфаты, силикоалюмофосфаты и другие [2]. При этом в

процессе формирования органонеорганических композиций (ОНК) происходит взаимодействие между функциональными группами органической и неорганической составляющих с образованием полимеров [3-9] по структуре - к нанокомпозитам [10], где фазы разного химического состава меняют механические свойства (от эластичных до жестких химически стойких материалов [11]). Такой новый класс полимеров с заданными регулируемыми свойствами может быть использован для создания материалов покрытий плат или микромодулей наноэлектроники с повышенными физико-механическими, электрическими и технологическими свойствами для использования в различных условиях [4, 5, 12].

Все вышеуказанное и определяет перспективность использования разработанных ОНК нанокомпозитов, которые могут быть использованы как тонкие покрытия с повышенными эксплуатационными свойствами.

Целью работы была разработка ОНК нанокомпозитов на основе полиуретана, изучение режимов их синтеза и разработка методики, исследование их электрических и механических свойств.

ОНК нанопокртытия наносятся электронно-лучевым методом, что требует подбора составляющих для обеспечения необходимых физико-химических свойств, исходя из особенностей формирования ОНК, с использованием органического полиуретанового полимера - макродиизоцианату (МДИ) и неорганической составляющей на основе силикатов, или гетероструктур. Опытным путем доказана возможность регуляции свойствами таких композиций в широком диапазоне путем использования разных по строению жидких силикатов, алюмофосфатов (АФ), модификаторов, поверхностно-активных веществ (ПАР), пластификаторов, наполнителей, подбором разных соотношений органической и неорганической составляющих композиции, в том числе: полиизоцианат (ПИЦ), силикат натрия (СН), алюмохромфосфат (АХФ), гексаметафосфат натрия (ГМФН), силикополифосфат натрия (СФ), полифосфат (ПФ) и т.д.

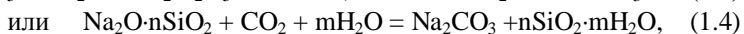
Структуры ОНК получали в реакциях синтеза из жидких органических и неорганических олигомеров, представляющих собой трехфазную систему, что включает фазы органического полимера, неорганического и фазу, которая является продуктом взаимодействия между органическим и неорганическим компонентами. В зависимости от химического состава органической и неорганической фаз можно получать ОНК с широким диапазоном свойств. Известно изучение процесса формирования и свойств ОНС на основе ПИЦ и СН [13-20]. Полученные композиции были жесткими материалами, которые имели

высокую стойкость к агрессивным средам и  $\gamma$ -радиации [21]. Замена низкомолекулярного изоцианата на изоцианат содержащий олигомер может дать возможность получить эластичные композиции с другим комплексом свойств. Такие эластичные ОНК с полиуретановой органической составляющей были сформированы в процессе полимеризации смеси уретанового форполимера - МДИ и жидкого СН.

Формирование органической фазы ОНК происходит в ходе реакции свободных изоцианатных NCO-групп с водой, выделение диоксида углерода и амина, а с NCO образование мочевины  $\text{NH}_2 + \text{NCO} \rightarrow [\text{NH}-\text{C}-\text{NH}]$ , а мочевины в свою очередь, может реагировать с другими NCO-группами форполимера с образованием сшитых биуретов [22]. Далее уретановые группы -O-CO-NH- реагируют с NCO-группами с образованием сшитого полимера, показывая путь синтеза органической части ОНК, что базируется на основе полиуретана.

Неорганическими компонентами ОНК, что существуют в форме олигомеров и способные реагировать с органическим уретановым компонентом могут быть: СН, АФ, АХФ, ПФН.

Синтез неорганического соединения - силиката натрия (СН), что является минеральной фазой в ОНК, может проходить в результате реакций поликонденсации [23]. Возможные реакции гидролиза силиката натрия, что приводят к его отверждению и выделение в виде дисперсной фазы [24]:



при котором силикат натрия имеет общую формулу в виде  $a \cdot \text{Na}_2\text{O} \cdot b\text{SiO}_2 \cdot c \cdot \text{H}_2\text{O}$ , где  $b/a$  – силикатный модуль,  $c/a$  – водное соотношение. Для синтеза ОНК необходимо использовать силикат натрия с модулем 2,8.

В ходе исследования был организован синтез водных растворов алюмофосфатов (АФ) проводили путем растворения гидроксида алюминия в 85% ортофосфорной кислоте при температуре (60–90)°С. Был получен АФ разного кислотного модуля  $m$  ( $m$  – это молярное отношение  $\text{P}_2\text{O}_5/\text{Al}_2\text{O}_3$ ), а именно 1,8; 2,5; 3,0; 4,0. Синтезированный АФ с модулем  $m = 1,8$  является менее всего кислым в синтезированном ряду алюмофосфатов.

Установлено, что все растворы АФ кислы, во времени не стойкие, тогда как растворы с  $m < 2,5$  являются метастабильными. Со временем из растворов АФ выделяется кристаллическая фаза, которая состоит из смеси веществ –  $\text{Al}(\text{H}_2\text{PO}_4)_3$ ,  $\text{Al}_2(\text{HPO}_4)_3$  и  $\text{Al}(\text{H}_3\text{PO}_4) \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ . Выявлено, что растворы алюмофосфатов имеют высокую вязкость,

которая падает от АФ с  $m=1,8$  к  $m=4$ . Высокая вязкость растворов АФ обусловлена образованием олигомерной структуры со сложной системой водородных связей [25-27].

Алюмохромфосфат (АХФ) синтезировали в две стадии: сначала получали АФ, потом к алюмофосфату добавляли окись хрома (VI), дальше возобновляли Cr (VI) 30% раствором перекиси водорода к Cr (III).

Для получения модифицированного неорганического олигомера сложного строения использовали гексаметафосфат натрия (ГМФН) и СН. Синтез силикополифосфата натрия (СФ) проводили следующим образом: к 50%-ному водному раствору ГМФН при постоянном перемешивании приливали порциями силикат натрия к получению однородной массы. Реакцию проводили на водяной бане при температуре 50°C, для предотвращения кристаллизации СН. Конечный продукт за расчетами складывался:  $\text{Na}_2\text{O} - 12,48\%$ ;  $\text{SiO}_2 - 24,27\%$ ;  $\text{P}_2\text{O}_5 - 8,22\%$ ;  $\text{H}_2\text{O} - 50-55\%$ .

Исследование влияния ГМФН на вязкие свойства СН показало, что с повышением концентрации модификатора вязкость растворов закономерно растет. Так силикат натрия с модулем  $m = 2,82$  ( $m$  – молярная часть  $\text{SiO}_2$  отнесена к молярной части щелочного окисла в силикате натрия) имеет  $\eta = 55,4$  Па·с, а силикополифосфат –  $\eta = 77,9$  Па·с. Увеличение вязкости можно объяснить тем, что силикат натрия структурируется фосфатным олигомером и при этом растет размер его структурных составляющих.

Экспериментально силикоалюмофосфат натрия получали следующим образом: к насыщенному водному раствору соды добавляли, при постоянном перемешивании, 50–55%-ный водный раствор АФ, до прекращения выделения углекислого газа. Потом раствор фильтровали на водоструйном насосе. Полученный осадок Na-алюмофосфата, который имел нейтральную реакцию, смешивали при температуре 50–60°C с силикатом натрия в соотношении 1:1. Образование силикоалюмофосфатов сопровождалось повышением вязкости реакционной смеси, а также незначительным помутнением [28-29].

Изучение реологии неорганических синтезированных соединений дало возможность проанализировать, структуру и принадлежность систем к олигомерным или высокомолекулярным. Наиболее важным в практическом значении для nano покрытий элементов микроэлектроники является изучение вязкости, которая измеряется при течении системы под действием сдвига. Вязкость представляет собой меру интенсивности диссипации работы, которая

расходуется для поддержки течения жидкости. В обычных жидкостях она уменьшается с увеличением температуры и увеличивается при высоких гидростатических давлениях. Такая зависимость характерна для ньютоновских жидкостей, которые отвечают законам Ньютона, Эйнштейна, Пуазейля. Для таких жидкостей характерна пропорциональность между напряжением и деформацией [30].

В результате исследований были изучены режимы синтеза ОНК на основе уретановых форполимеров разной молекулярной массы (органический компонент), силиката натрия и силикофосфата (неорганические компоненты). Разработана методика двухстадийного синтеза ОНК. На первой стадии был синтезирован:

а) органический компонент: уретановый форполимер (макродиизоцианат – МДИ) разной молекулярной массы и линейной или сшитой структуры, а также

б) неорганические компоненты: силикат натрия и силикополифосфаты. На второй стадии синтезированные ОНК в реакциях органического и неорганического компонентов.

Методом ИК-спектроскопии исследованы химический состав продуктов, что образуются при полимеризации ОНК. Изучена кинетика процесса полимеризации в зависимости от соотношения органическая/неорганическая фазы. Установлено, что химический процесс взаимодействия NCO-групп и OH-групп подчиняется реакции первого порядка, причем константы скорости реакции растут с увеличением содержания неорганической фазы в ОНК.

Изготовленные экспериментальные образцы ОНК на основе уретановых форполимеров с разной молекулярной массой и их исследование электрических свойств показало, что с увеличением молекулярной массы, то есть длины полимерной цепи, проводимость ОНК растет в результате улучшения условий электропереноса вдоль цепи. Наличие поперечных швов снижает проводимость, хотя величина молекулярной массы является преобладающей. С другой стороны, величина электропроводности связана с содержанием неорганической фазы, которая способствует переносу заряда.

Механические показатели ОНК на основе ПУ- полимеров являются типичными для эластомеров и зависят от ММ органической части. Наибольшее удлинение, характерное для ОНК с линейным строением органической матрицы, наличие поперечных швов и снижение молекулярной массы приводит к резкому уменьшению эластичных характеристик. По механическим и физико-химическим свойствам синтезированные нано композиты, созданные плазменным напылением на объекты нанoeлектроного производства является

усовершенствованным защитным полимерным покрытием микромодулей, плат и тому подобное. В условиях производства такие защитные покрытия могут иметь заданные механические, физико-химические, электрические и термические свойства. Покрытия виброустойчивые в широком диапазоне от 1,2 Гц до 880 кГц, экологически чистые и характеризуются технологическими параметрами, которые отвечают их эффективному использованию по разным назначениям.

### Литература

1. Богорш О.Т., Стебляно П.О. Моделювання магнітного контролю гетероструктур // В сб. Математичні проблеми технічної механіки – 2006. Матеріали міжнародної наукової конференції, Дніпропетровськ, Дніпродзержинськ, 17-20 квітня 2006. С.81-
2. I.Bolshakova, S.Krukovskii, R.Holyaka, A.Matkovskii, A.Moroz. Way of providing radiation resistance of magnetic field semiconductor sensor // Radiation Physics and Chemistry. Elsevier Science. – 2001. – №61. – PP.743-745.
3. L.M.Bronstein, C.Joo, R.Karlinsey, A.Ryder, J.W.Zwanziger. Nanostructured inorganic-organic composites as a basis for solid polymer electrolytes with enhanced properties / Chem. Mater.- 2001.- V.13.- P.3678-3684.
4. R.Mulhaupt. Tecton chemistry and assembly of nanostructured hybrid materials. Proceedings of "World Polymer Congress Macro-2004. 40-th Internat. Symp. on Macromolecules"- July 4-9, 2004, Paris, France.
5. C.Sanchez, C.Boissiere, D.Grosso, L.Rozes. Designed construction of functional nano-structured hybrid organic-inorganic materials. Proceedings of "World Polymer Congress Macro-2004. 40-th Internat. Symp. on Macromolecules"- July 4-9, 2004, Paris, France.
6. Organic/Inorganic hybrid materials – 2002. Eds.: C.Sanchez, R.Laine, S.Yang, C.Brinker, Symp. Proceedings, V.726: Materials Research Society, Warrendale, Pennsylvania, USA, 2002.
7. E.F.deSouza, C.C.Bezerra, F.Galembeck. Bicontinuous network made of polyphosphates and of thermoplastic polymers / Polymer.-1997.-V.38, No 26.- P.6285-6293.
7. R.L.Karlinsey, L.M.Bronstein, J.W.Zwanziger. Dependence of conductivity on the interplay of structure and polymer dynamics in a composite polymer electrolyte / J. Phys. Chem.- ser. B.- 2004.- V.108.- P.918-928.
8. L.M.Bronstein, R.L.Karlinsey, K.Ritter, C.G.Joo, B.Stein, J.W.Zwanziger. Design of organic-inorganic solid polymer electrolytes: synthesis, structure and properties / J. Mater. Chem.- 2004.-

V.14.- P.1812-1820.

9. L.M.Bronstein, E.Ashcraft, P.DeSanto, R.L.Karlinsey, J.W.Zwanziger. Structural study of inorganic oxides in a hybrid organic-inorganic solid polymer electrolyte / J.Phys. Chem.- ser.B.- 2004.- V.108.- P.5851-5858.

10. Ye.P.Mamunya, V.I.Stoppel, E.V.Lebedev, P.Pissis, A.Kanapitsas, G.Boiteux. Structure and water sorption of polyurethane nanocomposites based on organic and inorganic components / Europ. Polym. J.-2004.-V.40.- P.2323-2331.

11. Є.П.Мамуня, В.Д.Мишак, Є.В.Лебедев. Синтез та електричні властивості полімерних композицій на основі уретанових олігомерів та неорганічного гідроксилвмісного компоненту / Полім.журн.-2004.- Т.26, №1.- С.40-45.

12. Ищенко С.С., Придатко А.Б. Композиционные материалы и покрытия на основе растворов полисиликатов // Композ. полим. матер.-1993- №55- С.53-57.

13. Веселовский Р.А., Ищенко С.С., Новикова Т.И. Формирование органоминеральной композиции на основе полиизоцианата и жидкого стекла // Укр. хім. ж., 1988.- Т.54, №3.- С.315-319.

14. Ищенко С.С., Придатко А.Б., Новикова Т.И., Лебедев Е.В. Растворимые силикаты в реакциях с изоцианатами // Высокомол. соед., сер.А, 1995.-Т.37, №7.- С.1125-1129.

15. Лебедев Є.В., Ищенко С.С., Придатко А.Б. Полимерные органосиликатные системы // Композ. полим. матер.-1999.-Т.21, №1.- С.3-12.

16. Ищенко С.С., Придатко А.Б., Новикова Т.И., Лебедев Е.В. Взаимодействие изоцианатов с водными растворами силикатов щелочных металлов // Высокомол. соед.- сер.А, 1996- Т.38, №5- С.786-791.

17. Ищенко С.С., Росовицкий В.Ф., Придатко А.Б., Бабкина Н.В., Лебедев Е.В. Влияние органических модификаторов на формирование органосиликатных полимерных композиций // Журн. прикл. химии – 1998- №11- С.1929-1933.

18. Придатко А.Б., Ищенко С.С., Лебедев Є.В. Фізико-хімічні особливості формування органосилікатних полімерних систем // Фізика конденсованих високомолекулярних систем – 1998- №4- С.31-33.

19. Бакало Л.А., Веселовский Р.А., Збанацкая Л.Н. Отверждение полимерных композиций на основе полиизоцианата // Пласт. массы – 1986.- №3.- С.34-35.

20. Ищенко С.С., Филиппович А.Ю., Веселовский Р.А. Состояние воды в системах на основе жидкого стекла и изоцианатов // Укр. хим. журнал – 1991.- Т.57, №9.- С.1002-1006.
21. Ищенко С.С., Лебедев Є.В. Хімічна, атмосферна та радіаційна стійкість органічно-решітчатих полімерних композитів // Укр.хім. ж., 2001.- Т.67, №8.- С.116-119.
22. Саундерс Д.Х., Фриш К.К. Химия полиуретанов. М.: Химия, 1968, 470 с.
23. Айлер Р. Химия кремнезема. М.: Мир, 1982, С.1127.
24. Сычев М.М. Неорганические клеи. Л-д: Химия, 1986, С.56.
25. Ван Вазер. Фосфор и его соединения. – М.: ИЛ, 1962. – 687с.
26. Гольинко–Вольфсон С.Л., Сычев М.М. Химические основы технологии и применения фосфатных связок и покрытий. – М.: Химия, 1968. – 192с.
27. Тикавый В.Ф., Лапко К.Н., Захаров И.А. К вопросу о природе алюмофос-фатных растворов // Неорганические материалы. – 1971. – Т.7, №9. – С.1629–1630.
28. Шевчук В.В., Кукуй Д.М., Мыльникова Н.Д., Есенкин В.А. Модифицирование жидкого стекла неорганическими полимерами // Журнал прикладной химии. – 1988. – №7. – С.1493–1497.
29. Негиевич Л.А., Виноградова А.С., Качан А.А. Взаимодействие треххлористого фосфора с аеросилом // Украинский химический журнал. – 1976. – Т.42. – №10. – С.1109–1111.
30. Фридрихсберг Д.А. Курс коллоидной химии. – Л.: Химия, 1974. – 352с.

## **ВЛИЯНИЕ ПРОГРАММНОЙ ДЕФОРМАЦИОННО-ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ НА ФОРМИРОВАНИЕ СТРУКТУРЫ И СВОЙСТВ ДЕТАЛЕЙ**

*Радкевич (д.т.н., проф. СПбГПУ)*

Одним из факторов, определяющим степень упрочнения при деформационно-термической обработке в условиях горячей объемной штамповке, является неоднородность пластической деформации по объему поковки, т.е. наличие и величина зон затрудненной деформации.

В этой связи, большой интерес представляют вопросы, связанные с изучением закономерности течения металла и

особенностью формирования очага пластической деформации при штамповке поковок в открытых штампах с применением программной деформационно-термической обработки.

Значительное количество работ [1, 2, 3 и др.], посвящено изучению формирования очага пластической деформации при штамповке различных поковок в условиях, когда температура деформации соответствует температуре нагрева заготовок и принимается равной верхнему ковочному интервалу. В этом случае предполагается, что материал заготовки имеет максимальное значение пластичности и минимальное значение предела сопротивления (текучести) деформации. Кроме того, в расчетах, связанных с процессами горячей обработки металлов давлением температура заготовки принимается одинаковой по всему объему.

Однако, известно, что в центральной зоне заготовки температура несколько поднимается за счет теплового эффекта деформации, а в поверхностных слоях снижается вследствие большой теплоотдачи в направлении от заготовки к относительно холодному инструменту.

В случае горячей объемной штамповки с применением деформационно-термической обработки (ПДТО), условия формообразования поковки отличаются тем, что данная технология изготовления поковок предполагает начало деформации исходных заготовок при температурах несколько ниже общепринятых, соответствующих заводской (стандартной) технологии.

Так, например, при изготовлении поковок из машиностроительных сталей по технологии ПДТО температура начала штамповки находится в пределах 900 - 1000<sup>0</sup>С в зависимости от марки стали. Указанный температурный интервал, наряду с другими деформационно-термическими параметрами обеспечивает наибольший эффект упрочнения изделий, т.е. повышения всего комплекса механических свойств [ 4 ].

Для изучения особенностей формирования очага интенсивной пластической деформации и определения его размеров использовали метод координатной сетки, а также микро- и макроскопический анализ.

Сравнение очага интенсивной пластической деформации проводили по изменению координатной сетки на поковках, изготовленных штамповкой по стандартной технологии и технологии ДТО.

В ранних работах было показано, что пластическая деформация при доштамповке охватывает ограниченную зону,

примыкающую к плоскости разъема штампа, в то время как остальная масса металла остается “ жесткой “, т.е. пластически не деформируется.

В отличие от этого, при горячей объемной штамповке поковок по технологии деформационно-термической обработки зона пластической деформации значительно увеличивается.

Изучение макрошлифов поперечных сечений поковок из стали 45X, изготовленных по разным технологиям показало, что в поковках, полученных по режимам технологии ПДТО очаг интенсивной пластической деформации охватывает значительно больший объем металла, находящегося в ручье штампа, чем при штамповке по стандартной технологии.

Исследуя влияние неравномерности распределения деформации на однородность получаемой структуры и механических свойств в сечениях поковок, изготовленных по технологии ПДТО было установлено, что одним из важных факторов, сказывающимся на эффекте упрочнения, и в частности, на однородности структуры и механических свойств является величина зон затрудненной деформации. Наличие зон затрудненной деформации в значительной степени определяется неоднородностью температурного поля материала заготовки. Условиями горячей пластической деформации, ее величиной и степенью равномерности, однородностью температурного поля, равномерностью протекания процессов динамического разупрочнения предопределяется формирование конечной структуры (величина, уровень и однородность механических свойств).

Деформирование с высоких температур, что соответствует заводской технологии, контакт горячей заготовки с холодным штампом вызывает резкий градиент температурного поля между поверхностью и центром поковки. Вследствие этого, очаг интенсивной пластической деформации почти полностью локализуется в средней (центральной), прилегающей к облойной канавке части поковки, что приводит к образованию в приконтактных областях поковки значительных по объему зон затрудненной деформации (рис. 1а).

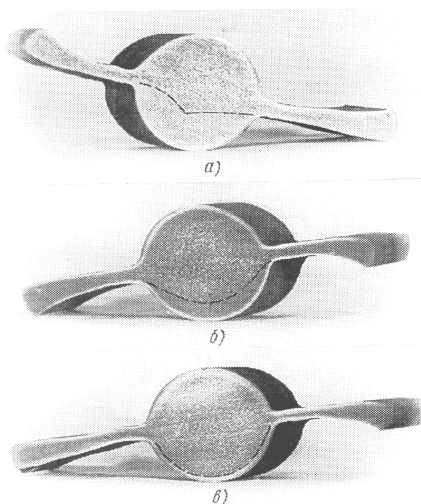
При деформировании с более низких температур, характерных для технологии ПДТО, картина течения металла несколько иная. Вследствие того, что начальная температура деформации заготовки относительно низкая, металл находящийся в облойной канавке имеет большее сопротивление текучести и вызывает рост гидростатического давления в ручье штампа, приводящего к увеличению очага

интенсивной деформации поковки благодаря вовлечению (охвату) большего объема металла в процессе деформирования (рис.1б,рис.1в).

Изучение распределения механических свойств в поперечных и продольных сечениях поковок, подтвердили наличие в них более однородной структуры и механических свойств, изготовленных по технологии деформационно-термической обработки.

Установлено, что в поковках, изготовленных по технологии ПДТО наблюдается меньшая неравномерность распределения твердости в сечениях поковки, что согласуется с результатами изучения распределения интенсивности деформации.

Таким образом, результаты проведенных исследований позволяют утверждать, что в результате ПДТО, благодаря увеличению очага интенсивной деформации, происходит более полная проработка металла поковки и, как следствие снижается локализация деформации. Это в свою очередь является определяющим фактором, обеспе



**Рис.1. Очаги интенсивной пластической деформации при штамповке по различным режимам: а) заводской -  $T_d = 1200\text{ }^{\circ}\text{C}$  ; б) ДТО -  $T_d = 900\text{ }^{\circ}\text{C}$  ; в) ДТО -  $T_d = 850\text{ }^{\circ}\text{C}$ .**

чивающим достижение более однородного структурного состояния и изотропных свойств изделий, получаемых горячей штамповкой с применением ПДТО.

**СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:**

1. Гарновский И.Я. Формоизменение при пластической обработке металлов. М.: Металлургия.1954.534 с.
2. Гарновский И.Я., Поздеев А.А., Ганаго О.А. и др. Теория обработки металлов давлением. М.: Металлургиздат.1963.
3. Сторожев М.В., Попов Е.А. Теория обработки металлов давлением. М.: Машиностроение.1971. 424 с.
4. Радкевич М.М. Упрочнение углеродистых и легированных сталей при штамповке в открытых штампах с применением ВТМО. Вестник машиностроения. 1985. № 6. с.18-21.

## **ГРАДАЦИЯ СТЕПЕНЕЙ КАЧЕСТВА СВИНИНЫ**

*Ткаченко В.Г., Руденко А.Ф., Алексеева Н.В., Заболотная В.П.  
Луганский национальный аграрный университет, г. Луганск, 91008,  
тел. 80954290054*

Развитие рыночных отношений, повышение темпов производства и объемов выпуска продукции мясной промышленности неразрывно связано с совершенствованием и созданием принципиально новых ресурсосберегающих технологий и комплексным использованием животноводческого сырья, разработкой новых видов продукции с высокими потребительскими свойствами. Дефицит животноводческого сырья, который в последние годы испытывает мясная промышленность, требует решения задачи создания технологий и средств выработки продукции, отвечающих медико-биологическим требованиям из сырья с различными отклонениями качественных и функциональных показателей. Выполнению этой задачи должно способствовать развитие теоретических исследований процессов структурообразования, протекающих в мясе при хранении и технологической обработке, в том числе с использованием биотехнологических приемов, позволяющих интенсифицировать процесс производства мясных продуктов и рационально использовать сырье с низкими функционально-технологическими свойствами.

Решение этих вопросов неразрывно связано с разработкой комплекса показателей объективной и надежной оценки качества сырья и готовой продукции за счет использования традиционных методов (биохимические, физико-химические и др.), которые должны соответствовать передовому уровню науки и технологии.

Целью наших исследований явилось проведение градации мяса свиней поступающих для убоя на ЗАО «Луганский мясокомбинат» на степени качества PSE, DFD, NOR по результатам определяющих показателей. Исследование проводили с использованием органолептического (внешний вид, цвет, запах, консистенция мышечной ткани на разрезе, состояние жира, костного мозга, сухожилий, суставных поверхностей) и лабораторных методов (микроскопического, физико-химического, биохимического, микробиологического). Объектами сортировки по группам свойств служили полутуши, отруба и отдельные мышцы свинины в парном и охлажденном состоянии.

Градации качества мяса контролировали органолептическим методом, который подтверждался параллельным определением микроскопических, биохимических и бактериологических исследований (табл.1).

Таблица 1.

**Определение качества мяса по результатам органолептических, микроскопических, биохимических исследований**

Методика исследования	Оцен ка	Количество голов скота
Органолептическое	к нк	2347 -
Микроскопическое	к нк	2347 -
Реакция amino-амиачного азота	к нк	2347 -
Реакция с серноокислой медью	к нк	2347 -
Реакция мяса на пероксидазу	к нк	2347 -

Примечание: к – качественное; нк – пониженного качества

Градации качества свинины на степени NOR, PSE, DFD проводили с применением следующих показателей: уровня цветности, уровня консистенции, уровня водянистости и измерением величины рН.

Для того, чтобы отличить мясо с признаками PSE от нормального мяса необходимо было измерить величину рН<sub>1</sub>

(измеренную через час после убоя), а чтобы отличить от мяса с признаками DFD — рН<sub>24</sub>.

Полученные данные значений уровня цветности, водянистости, консистенции и величины рН, подставляли в формулу (1) и рассчитывали количественное значение свойств по уравнениям:

$$УК = -5,4 + рН + 0,60*Ц + 0,25*К + 0,15*В,$$

где: УК — количественное значение уровней качества; рН — измеренное значение рН; Ц — уровень цветности по 9-уровневой шкале; К — уровень консистенции по 5-уровневой шкале; В — уровень водянистости по 5-уровневой шкале (табл.2).

Полученные данные по проведению градации качества свинины поступающей на ЗАО «Луганский мясокомбинат», позволили выделить следующие уровни качества: NOR — 818 туш; PSE слабовыраженные свойства — 191 туш; PSE умеренно выраженные свойства — 542 туш; PSE ярко выраженные свойства — 177 туш; PSE экстремально выраженные свойства — 107 туш; DFD умеренно выраженные свойства — 228 туш; DFD ярко выраженные свойства — 284 туш.

Таблица 2

#### **.Критерии определения уровней качества**

<b>Уровень качества</b>	<b>Количественные значения*</b>
1. Экстремальное PSE	< 1,50
2. Ярко выраженное PSE	1,51-2,50
3. Умеренное PSE	2,52-3,50
4. Слабовыраженное PSE	3,51-4,50
5. Нормальное	4,51-5,50
6. Слабо выраженное DFD	5,51-6,50
7. Умеренное DFD	6,51-7,50
8. Ярко выраженное DFD	7,51-8,50
9. Экстремальное DFD	> 8,51

**Заключение.** Проведено определение показателей качества мяса поступающего на ЗАО «Луганский мясокомбинат» города Луганска, при этом данные органолептических исследований были экспериментально подтверждены лабораторными методами исследований. Данные микроскопии, реакции с медью сернокислой, реакции на пероксидазу, аминок-амиачного азота позволили установить качественность мяса, а определение уровней цветности, водности, консистенции, величины рН — разграничить на степени качества: так

свинину с признаками качества NOR регистрировали в 34,9%, PSE 43,3% и DFD 21,8% случаев.

## **ВПРОВАДЖЕННЯ КОМБІНОВАНОЇ ХІМІКО-ТЕРМІЧНОЇ ОБРОБКИ ДЕТАЛЕЙ СПЕЦ. ТЕХНІКИ**

Писаренко Віктор Григорович, кандидат технічних наук  
Казенне науково-виробниче об'єднання «Форт» МВС України  
тел./факс: (8-0432) 46-80-16, e-mail: [siafort@ukr.net](mailto:siafort@ukr.net)

Важливим завданням в період освоєння виробництва спеціальної техніки став пошук екологічно чистої технології одержання поверхневих шарів з високими властивостями зносостійкості та корозійної стійкості, яка не потребує використання дефіцитних технологічних матеріалів і є малоенергоємною в порівнянні з методами гальванічного покриття.

До деталей спеціальної техніки по умовам експлуатації ставляться вимоги одержання не тільки відповідних механічних властивостей та необхідного опору корозії та зносу, але й незначної шорсткості поверхні вузлів тертя та низького постійного коефіцієнту тертя.

Аналіз зарубіжних джерел показує, що, в зв'язку з тим, що вимоги до фізико-механічних та хімічних властивостей конструкційних матеріалів стають все більш жорсткими і точними, все більше уваги приділяється удосконаленню відомих способів ХТО (азотуванню, карбонітруванню).

Наступне за азотуванням окислення поверхневого шару також сприяє підвищенню зносостійкості і корозійної стійкості. Азотування в соляній ванні (теніфер-процес) з окисленням дифузійного поверхневого шару в процесі його формування почало застосовуватись промисловістю Німеччини з 1981 року. Фірма "Дегусса" зареєструвала товарний знак та цю технологію під назвою "Taffride". Також дещо подібні технологічні процеси запропонували Великобританія (фірма "Lucas Electrical Ltd") – "Nitrotec", США (фірма "Kolene") – "QPQ".

При розробці технології одержання зносо- та корозійностійких шарів методом КХТО вибраний варіант обробки в газовому середовищі, складається з аміаку і добавок вуглецево містких газів (пропан-бутан, природний газ). Варіант КХТО в газовому середовищі - найбільш придатний для застосування його для широкої номенклатури деталей різноманітних форм, які мають також отвори.

Для хіміко-термічної обробки зразків та дослідних партій деталей, а також для відпрацювання технологічних параметрів в умовах близьких до реального виробництва, спроектований і виготовлений комплекс дослідно-промислового обладнання на базі електропечі Ц-35, що також дозволило перевірити можливість використання існуючих шахтних електропечей типу "Ц", "СШЦМ", "США".

При розробці комплексу також була поставлена задача по створенню обладнання для утилізації аміаку, який викидається в навколишнє середовище, а також повне використання його в технологічному процесі.

Одержання зносостійких та корозійностійких шарів досягається шляхом формування на поверхні карбонітридного шару і наступного насичення його киснем.

Формування карбонітридного шару проводиться в газовому середовищі, яке складається з аміаку і добавок вуглецевмістких сумішей, в інтервалі температур 560 – 620°C. Насичення киснем (окислення) карбонітридного шару проводиться при температурі 540 – 550°C шляхом подачі в робочій простір печі водяного пару протягом 30 – 40 хвилин.

З метою вивчення швидкості проходження дифузійних процесів, тривалість хіміко-термічної обробки встановлювалась в межах від 2 до 8 годин через кожну одну годину.

Перед хіміко-термічної обробкою температура в печі піднімалась 300 – 350°C і негайно проводилась загрузка зразків і виконувалась продувка печі перегрітою водяною парою. При наявності в печі надмірного тиску більше 200 Па (20 мм вод. ст.) подавався газообразний аміак (NH<sub>3</sub>), а подача водяної пари припинялась. Потім температура в печі піднімалась до робочої (560 – 620°C) і подавалась вуглецевмістка суміш (пропан-бутан, природний газ). Кількість газів, що подавалась в піч, регулювались і контролювались за допомогою ротаметрів. Степінь дисоціації аміаку вимірювалась за допомогою дисоціометра через кожні 30 хвилин. Відбір проби для аналізу газової атмосфери печі проводився не менше як через одну годину від початку процесу хіміко-термічної обробки.

Тривалість процесу хіміко-термічної обробки відраховувалась від початку подачі в піч аміаку.

Міняючи кількість пропан-бутану в газовій суміші від 3% до 10% через кожні 2% досліджували його вплив на насичення сталі азотом.

Добавка пропан-бутану більше 10% приводила до зменшення товщини дифузійного шару. При збільшенні місткості пропан-бутану понад 15% в печі утворювалась сажа. В цьому випадку зміцненого дифузійного шару не виявлялась, що засвідчує про припинення процесу дифузії азоту в сталі.

Для виключення випадкових результатів кожний процес хіміко-термічної обробки з рівнозначними умовами повторювався по три рази при наявності не менше трьох зразків з кожної марки сталі.

Товщина та властивості шарів, які формуються при застосуванні технологічного процесу КХТО визначаються складом газової суміші маркою сталі, температурою та тривалістю обробки.

В кінці процесу проводиться окислення поверхневого карбонітридного шару водяною парою, що значно підвищує корозійну стійкість поверхні та забезпечує чорний колір.

Перевірка роботоздатності розробленої схеми регазофікатора та утилізатора в складі комплексу обладнання для хіміко-термічної обробки дозволяє використовувати як газоподібний так і водний аміак без викидів його в навколишнє середовище, що забезпечує екологічну чистоту розробляємої технології КХТО.

Незначна тривалість обробки методом КХТО в порівнянні з відомими способами ХТО (азотування, нітроцементування, цементування) та майже повна відсутність деформування, роблять цю технологію надзвичайно універсальною.

Технологія КХТО відповідає вимогам сьогодення по екології, є більш технологічною та гнучкою в порівнянні з технологією нанесення гальванічного покриття і може бути реалізована в більшості випадків з використанням існуючого термічного обладнання.

## **РАЗРАБОТКА ОСНОВНЫХ ПРИНЦИПОВ ПОСТРОЕНИЯ СИСТЕМЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ МОМЕНТА И КООРДИНАТ КАСАНИЯ ИНСТРУМЕНТА И ДЕТАЛИ**

*Проф., Остафьев В.А., Диордица И.Н.  
Национальный технический университет Украины "Киевский  
политехнический институт"*

В следствие роста необходимости обеспечения высокой точности, одновременно связанной со снижением себестоимости, возникает необходимость в промышленном оборудовании с

возможностью компенсации геометрических погрешностей, которая регистрируется измерительной техникой в режиме реального времени. Поэтому есть необходимость создания системы автоматического определения координат касания инструмента и детали.

Система основывается на фиксировании момента касания (с малой постоянной времени -  $\tau_k$ ) и показаний датчиков. Быстродействие и надежность системы определения момента касания (датчика касания) определяется обеспечиванием ряда компромиссных требований, предъявляемых к нему исходя из особенностей спектра отклика на виброакустический сигнал.

Основными параметрами определяющими надежность скорость обработки является: чувствительность пьезоакселерометра, их особенные частоты, ширина полос  $\Delta f$ , фильтров и положение их центральных частот  $\omega_0$ , значения порогов  $u_n$ . Выбор значений  $\omega_0$  и ширины полос  $\Delta f$  осуществляется исходя из спектральной картины отклика, определяемой входным спектром виброакустического сигнала и динамическими свойствами упругой системы инструмента и зоны резания.

При проектировании системы касания для каждого конкретного станка необходимо исследование спектральной картины отклика и шумовых свойств станка.

Значения  $\omega_0$  и  $\Delta f$  выбирают таким образом, чтобы они не охватывали шумы. Обычно это не трудно осуществить поскольку для большинства станков верхняя граница шума определяется частотой 2-3 кгц. Выше данных частот шумы как правило отсутствуют. Выбор ширины полос фильтров  $\Delta f$  осуществляется таким образом чтобы она была шире частотных зон, определяющих упругой системой ТОС то есть, чтобы полоса частот фильтра захватывала как минимум одну зону пропускания и одну зону непропускания. Очевидно наиболее оптимальным количеством зон - является 2 - 3 зоны которые должны располагаться в диапазоне частот наибольшей интенсивности сигнала 0 - 20 кгц увеличение ширины полос к уменьшению времени переходного процесса. В то же время строго необходимо, чтобы зоны не пересекались. Скорость срабатывания устройства зависит от величины сигнала в частотной зоне фильтра и от чувствительности пьезоакселерометров.

Для того чтобы избавиться от изменчивости динамических свойств упругой системы зоны резания предлагается: устанавливать

два пьезоакселерометра с собственными частотами, совпадающими с центральными частотами  $\omega_0$ . В этом случае пьезоакселерометры работают как приборы резонансного и полурезонансного типа, то есть чувствительность преобразования усиливается в несколько раз.

Коэффициент усиления  $\rho_2$  -определяется частотной характеристикой пьезоакселерометра

$$\rho_2 = \frac{\rho_1}{\sqrt{(1-\xi)^2 - \varepsilon\xi^2}} \quad (1)$$

где  $\varepsilon$  - коэффициент демпфирования,

$\xi = \Omega / \omega_0$  -безразмерный параметр,

$\rho_1$  - чувствительность пьезоакселерометра в зоне частот  $0 \div \omega_b$ , где

$\omega_b$  - верхняя частотная граница пьезоакселерометра,

$\Omega$  - текущая частота

$\omega_b \approx 0,3\omega_0'$ .

Срабатывание датчика касания определяется вероятностью одновременного превышения пороговых значений -  $u(t)$

$$P\{u_1(t) \geq u_{n1} \dots u_i(t) \geq u_{ni}\} \quad (2)$$

где

$u_1(t), u_i(t)$  - пиковые значения напряжений на входах пороговых устройств

$u_{n1}, u_{n2}$  - значения при которых происходит срабатывание пороговых устройств.

Значения

$u_i(t)$  - определяются выражением:

$$\begin{aligned} u_i(t) &= \ln[G_i(t)\rho_1 k_1] \sin[\omega_0 t - \varphi_i(t)] \\ u_i(t) &= \ln[G_i(t)\rho_1 k_1] \sin\left[\int_0^{\tau} \rho'(\tau) d\tau\right] \end{aligned} \quad (3)$$

где

$G_i(t)$  - модулирующая функция - значение виброускорений в полосе частот (полосе фильтра),

$\rho_1$  - чувствительность пьезоакселерометра,

$k_1$  - коэффициент усиления предварительного усилителя,

$\rho'(t)$  - мгновенная частота,

$\omega_0 i$  - центральная частота полосы частот,

$\varphi_i(t)$  - случайный угол сдвига фаз в полосе частот.

В случае когда устанавливается два пьезоакселерометра с собственными частотами, равными центральному частотам полос, 1- повышается надежность системы, 2- в несколько раз повышается чувствительность устройства и модулирующая функция в выражении умножается на  $\rho_1$  а на  $\rho_2$  согласно формулы (1).

В результате того, что полосы частот являются почти смежными значения центральных частот полос отличаются друг от друга незначительно:

$$\omega_0 i = c_{\omega i-1}$$

где  $c$  - коэффициент может иметь значения от 0 до  $2 \div 3$  и вероятность совмещения значения двух импульсов чтобы сработали одновременно два пороговых устройства определяется разностями сдвига фаз в одной и другой полосе частот с учетом коэффициента -  $c$

$$\rho \{ \varphi_1(t) - c \varphi_2(t) = 0 \} \quad (4)$$

Для засечки координат касания с большей точностью необходимо как можно меньше время срабатывания датчика касания. Для этого необходимо определенной долей установившегося сигнала  $G_0 i$  которая определяется коэффициентом с наиболее целесообразными значениями  $c_2 = 0,1 \div 0,15$

В этом случае  $G_i(t)$  - в выражении заменяется на  $c_2 G_0 i$  а время срабатывания определяется временем достижения значения  $c_2 G_0 i$ , которое составляет доли от времени переходного процесса определяемого врезанием и характеризуется крутизной изменения сигнала при врезании:

$$S = c_2 G_0 i / \Delta \tau \quad (5)$$

где  $\Delta \tau$  - время, выбора значения  $c_2 G_0 i$  обычно оно составляет от единицы миллисекунды до долей миллисекунды.

Но такая мера снижает надежность работы системы поскольку малый сигнал такого значения может быть вызван какими либо побочными эффектами.

Поэтому для обеспечения надежности необходима проверка выхода значения, виброакустического сигнала на режим, который определяется с помощью подтверждающего сигнала посредством коэффициента  $c_3 \approx 0,7 \div 0,8$  и только после получения подтверждения первого результата можно считать его действительным и вести с его помощью отсчет момента касания.

Время срабатывания определяется выражением

$$t_{cp} = \frac{c_2 G_0 i}{S} + \sum_{j=1}^i t_j \quad (6)$$

где

$t_{cp}$  - время срабатывания

$t_i$  - время срабатывания элементов электронной схемы (не велико по сравнению с временем  $\tau_{cp}$ )

$\tau_{cp} = \frac{c_2 G_0 i}{S}$  - время срабатывания.

Определение времени запаздывания макета датчика касания производилось с помощью лучевого запоминающего осциллографа. Импульс с генератора импульсов подавался одновременно на вход датчика касания и на вход второго канала осциллографа. На первый канал осциллографа подавался сигнал с выхода датчика касания. По рассогласованию сигналов и времени развертки определялись значения  $\tau_{cp}$

Система позволяет осуществлять постоянный текущий контроль "есть резание", выявить аварийное состояние процесса резания, (поломка инструмента врезание инструмента в заготовку с большой подачей и т.д.), прервать процесс резания и запретить дальнейшую отработку программы по сигналу "авария". Это позволит улучшить обеспечение высокой точности, одновременно связанной со снижением себестоимости система универсальна для обработки любых деталей из любых материалов и любым видом инструментов.

Литература

1. Пат. № 19180 ,Україна, МПК В23Q 17/22 В23В 39/0. Віброакустична система для обробки на верстатах високоточних деталей. Діордіца І. М., В. А. Остафьев, Кокаровцев В.В. № u200604231 від. 17.04.2006 р. Опубл. 15.12.2006, Бюл. № 12.

2. Грабек И., Лесковар П. Акустическая характеристика процесса резания. Экспресс-информация режущего инструмента, № 39, 1977г. стр. 1-6.

3. Физические основы процесса резания. Под ред, профессора В.А.Остафьева. Изд. Киевского гос.университета, Киев, 1976г.

4. В.А. Остафьев, В.В. Какаровцев и др. Автоматизированная аналого цифровая система обработки виброакустического сигнала при резании металлов. Научно технический процесс в машиностроении. Исследование механизмов и систем автоматизированной обработки. Вып. 12. М. 1989.- с. 93-99.

# КОНТРОЛЬ И ДИАГНОСТИКА СОСТОЯНИЯ ИЗДЕЛИЙ И ПРОЦЕССОВ

## AQUUSTIC DIAGNOSTIC METHODS OF POLYMER MATRIX COMPOSITES DEGRADATION

*Gabriel WROBEL<sup>\*</sup>, Jozef STABIK<sup>\*</sup>, Maciej ROJEK<sup>\*</sup>*

*<sup>\*)</sup> Division of Metal and Polymer Materials Processing, Institute of Engineering Materials and Biomaterials,*

*Silesian University of Technology, ul. Konarskiego 18 A, 44-100 Gliwice, Poland*

*<sup>\*</sup>Corresponding author. E-mail address: gabriel.wrobel@polsl.pl*

### 1. Introduction

In the case of polymers and polymeric composites subjected to degrading ageing processes, changes of surface appearance can not considered as a measure of the degree of material degradation. Usually surface brightness and colour changes occur within very thin outer layer and considerably precede any inner degradation processes. When degradation occurs in a dispersive way within the whole element volume, without any visible substantial external changes of physical and geometrical properties or when surface changes do not correspond to the degree of internal degradation processes, a classical inspection of a structure condition may not reveal any dangerous conditions. Therefore, in these cases there is a strong need of searching non-destructive methods of investigation of the degradation degree, which will be able to reveal these dispersive changes. Authors made such an attempt using non-destructive ultrasonic method with reference to thermally aged polymer composites. A hypothesis was made that acoustic properties and strength properties are unambiguously related. Changes of strength properties due to thermal degradation evoke changes of acoustic properties evaluated in ultrasonic testing.

Application of ultrasonic methods for testing of polymers and polymeric composites has a long-lasting tradition [2]. Taking into account effects of wave reflection, refraction, absorption, dispersion or defraction, diagnostic methods allow measurements of thickness, hydrolocation or local heterogeneities and discontinuities – flaw detection [3, 4]. Less information is available on application of ultrasonic testing of degradation processes resulting in dispersed micro-defects such as micro-cracks, polymer chain scission, oxidation and many other. In the paper an attempt of this kind of ultrasounds application is described

## 2. Ultrasonic investigation of polymer composites degradation

In the experiment program the following methodology was applied:

- a) Samples of epoxy-glass composite were subjected to thermal ageing;
- b) Degraded composites were tested using ultrasonic methodology;
- c) Experimental results of ultrasounds propagation characteristics were compared with flexural strength deterioration due to ageing.

### 2.1. Experimental investigation system

Epoxy-glass laminate (TSE-5, IZO-Erg, Poland) was subjected to thermal ageing. Samples with dimensions 250x20x10mm were aged at three temperatures: 200, 220 and 240°C. Samples were degraded up to 2600 hours. At defined intervals, the group of heated samples was subjected to non-destructive tests on the ultrasonic test station, thus identifying the values of diagnostic characteristics of ultrasounds wave propagation and to destructive tests in static bending in order to evaluate the strength properties deterioration. Ultrasonic tests were carried out with an ultrasonic defectoscope UMT-16 (ULTRAMET S.c., Poland) help. Single 2,25 MHz measuring head was used. The scheme of testing stand is shown in Fig.1. A time of a sound wave transition through tested samples was measured. The average sound wave propagation velocity through a sample was next calculated taking into account measured time and specimens thickness.

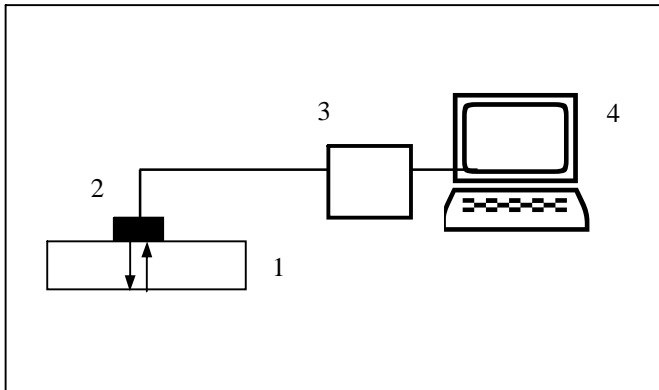


Fig. 1. Ultrasonic testing stand: 1) specimen, 2) ultrasonic head, 3) defectoscope, 4) computer system with software to results registering and analysis

### 2.2. Results and discussion

Results of ultrasonic tests for all aged samples are presented in Fig.2. For all ageing temperatures increase of ultrasound velocity with ageing time was observed. During aging composites became more stiff and it resulted in higher ultrasound wave propagation velocity. For highest ageing temperature and for longest ageing times brittleness of composite was observed. Composites aged in these conditions exhibited the highest velocities of ultrasounds propagation. It is in accordance with generally observed relation between material stiffness and ultrasounds velocity in all materials.

Fig. 3 presents results of flexural strength tests performed on aged samples. As can be seen the higher was ageing temperature the lower was flexural strength. It is generally observed tendency in thermal ageing investigations. In thermal ageing process two main factors, heat and oxygen, influence composites properties. Degrading processes results in many defects not visible in macro-scale such as micro-cracks, polymer chain scission, oxidation, free radicals formation and many other that substantially decrease mechanical strength. Relationships between flexural strength and ultrasounds propagation velocity are shown in Fig.4. Finally the most interesting relation between flexural strength and ultrasounds velocity for all samples together is given in Fig.5. Presented results proved the possibility of applying non-destructive ultrasonic method to diagnosis of the state of thermal degradation of polymeric composites. Strong correlation between mechanical strength and ultrasonic wave propagation velocity was observed. Together with strength lowering ultrasounds propagation velocity decreased.

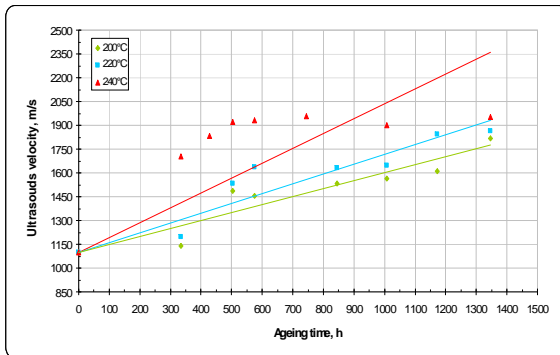


Fig.2. Dependence of ultrasound wave propagation velocity on ageing time

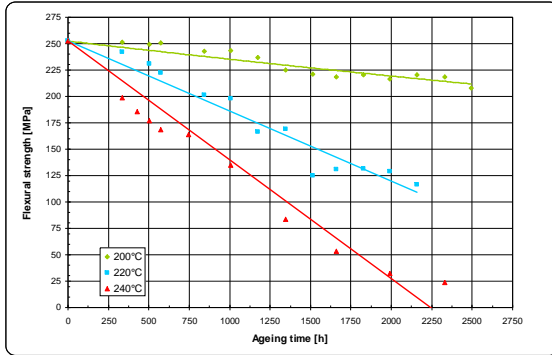


Fig.3. Dependence of flexural strength on ageing time

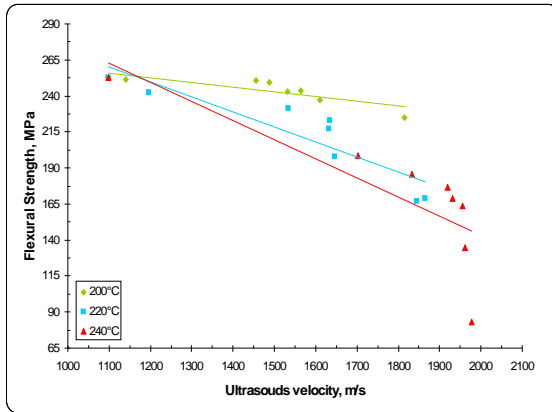


Fig.4. Relationships between flexural strength and ultrasounds propagation velocity

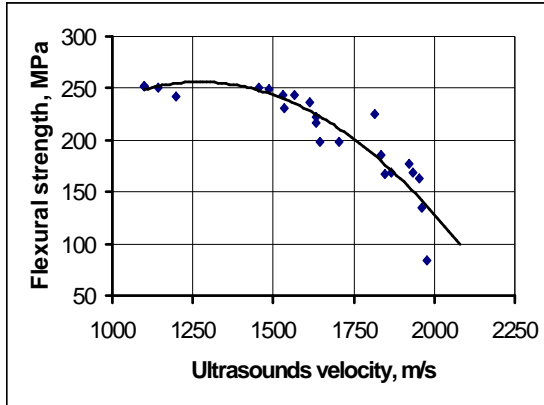


Fig.5. Experimental relation between flexural strength and ultrasonics velocity

Elaborated method may be directly employed in the testing of degree of strength degradation of construction elements made of fibre reinforced polymeric composites. However, for quantitative interpretation of ultrasonic testing results, it is necessary to know diagnostic dependences individually identified for each tested material. To trace degradation processes ultrasonic tests have to be performed in defined time intervals from the beginning of working period of a given construction.

#### 4. Conclusions

- Ultrasonic tests results together with experimentally determined unequivocal relation between wave propagation velocity and flexural strength of the tested material form the basis of the non-destructive diagnostics method of plastic materials load capacity.
- The method may be directly employed in the testing of construction elements made of polymeric composites. However, for quantitative interpretation of results, it is necessary to know diagnostic dependences individually identified for each tested material.
- Results presented in the paper and presented scope of the research are of exemplary character. Real, individual problem defined for specific material characteristics needs basic research in order to determine diagnostic relation appropriate for searched material, searched material and for given working and experimental conditions.
- Results achieved in described research allow to expect that non-destructive acoustic method may be effective relative to wide class of polymeric performance materials.

## References:

- [1] Mallick P.K.: Nondestructive tests. Composites Engineering Handbook, New York, Basel, Hong Kong, 1997.
- [2] A. Śliwiński, Ultradźwięki i ich zastosowania (Ultrasounds and their application), WNT, Warszawa, 1993.
- [3] R. Selzer, K. Friedrich, Composites 28A (1997) 595.
- [4] A. P. Mouritz, C. Townsend, M. Z. Shah Khan, Comp. Sci. Tech., 60 (2000) 23-32.
- [5] Grassie N., Scott G.: Polymer degradation and stabilisation, Cambridge University Press, 1985.

# INFLUENCE OF TEMPERATURE ON THE EXPANSIVE DEPOSITION OF INNER PE LINING IN PIPELINES

*Gabriel Wrobel, Małgorzata Szymiczek*  
*Institute of Engineering Materials and Biomaterials*  
*Silesian University of Technology, ul. Konarskiego 18A, 44-100 Gliwice, Poland*  
*Corresponding author. E-mail address: malgorzata.szymiczek@polsl.pl*

## 1. INTRODUCTION

The subject of this paper is the process of free PE pipe drawing. It is used in renovation of pipelines with a tight-fitting method, as well as in the production of two-layer pipes. Such pipes are used mainly in the mining industry for transportation of hydraulic filling, process water with high concentration of volatile elements, etc. The supporting structure of such pipe is made of steel, with PE lining as the anticorrosive layer [1,2].

The process of deposition of the PE lining is almost the same as in digless renovation of pipelines. The main difference is in devices used for the process. The drawing machine used in production of two-layer pipes is similar in its construction to a carriage drawing machine.

The process of tight-fitting deposition of the PE lining is a combination of free PE pipe drawing with later deposition of the lining in the steel coating shell of the external pipe [3,4]. The second phase utilizes the viscoelastic return effect caused by elastic and rheological properties of the plastic material in the drawn pipe and technological conditions of the process.

## 2. RESEARCH

The aim of the present study was to determine values and runs substantial for the efficiency of the examined deposition method, after-deformation circumferential and longitudinal returns in connection with the initial temperature of the drawn PE pipe. Included in the research were high-density PE pipes (PE 80) with diameter of 63 mm and thickness of 5,6 mm. The temperature of the test section was assessed after pre-heating with a cylindrical electric heater in a thermostable heating zone.

The research was conducted using a Fritz Heckert PFZ100 testing machine. Pre-heating was performed with a circumferential heater situated under the drawing zone– the initial temperatures of the pipe were:  $25\pm 2$ ,  $30\pm 2$ ,  $40\pm 2$  i  $50\pm 2^\circ$  C. The tools used were drawing dies with various reduction degrees and approach angles.

Measurement of changes in the diameter in predetermined time intervals was done using a digital slide calliper. Fig. 1 shows examples of obtained runs in relationship with to the internal diameter reduction degree of a pipe ( $R=10\%$ ) and a set angle value for the drawing die ( $12.5^\circ$ ). The charts show changes in the diameter – runs with values of  $<1$  and changes in the length – runs with values of  $>1$ . Dimensions of the test section of pipes are given in relative values – the initial diameter of the external pipe ( $D = 63 \pm 1,5$  mm) and the length of the test section ( $L = 50 \pm 1$ mm). The first time interval (0 – 3 min), during which the pipe lengthens and its diameter reduces, corresponds to the pipe drawing phase, that is load applied with an axial force. In the remaining measurement period the pipe was not under any load.

### 3. RESULTS ANALYSIS

Analysis of the return runs indicates their similarity as far as temperature range  $20-40^\circ$  C is concerned. Uniform decrease of the modulus of elasticity and the yield point in the said temperature range [5,6], and in the conditions in which the drawing speed and reduction level are constant, may explain the deformation state after drawing. Moreover, the after-deformation return has a similar course in balanced temperature conditions, which indicates lack of significant and permanent changes in the viscoelastic properties of the material. However, a process running in conditions with the initial temperature of  $50^\circ$  C shows a significantly different course. Local loss of pipe stability effect was observed during the drawing in the section with increased temperature. Local reduction of diameter occurred that can be called “formation” and which does not reflex the assumed description method of the diameter change diagram (Fig.1). Moreover, the lengthening value increased significantly, which means that softening started and the sample plasticity increased considerably. On the

basis of the determined properties of after-deformation returns, both circumferential and longitudinal, it was found that the temperature should not exceed 40° C, as far as efficiency of the process is concerned. Estimation of the best temperature value requires assessment of other properties of the process, such as the drawing force and changes of the strength properties of the material. In order to examine even closer the deformation mechanism which occurs in the drawing die zone and which is essential for the latter pipe diameter and length reversion, it is necessary to determine the thermal conditions in that zone. They depend on the initial temperature of the material but also on the drawing conditions – type of the material, tools, drawing speed, etc. Further research of that issue is anticipated, taking into consideration analysis of the actual temperature profile in the drawing die zone measured with use of the infrared mapping technique.

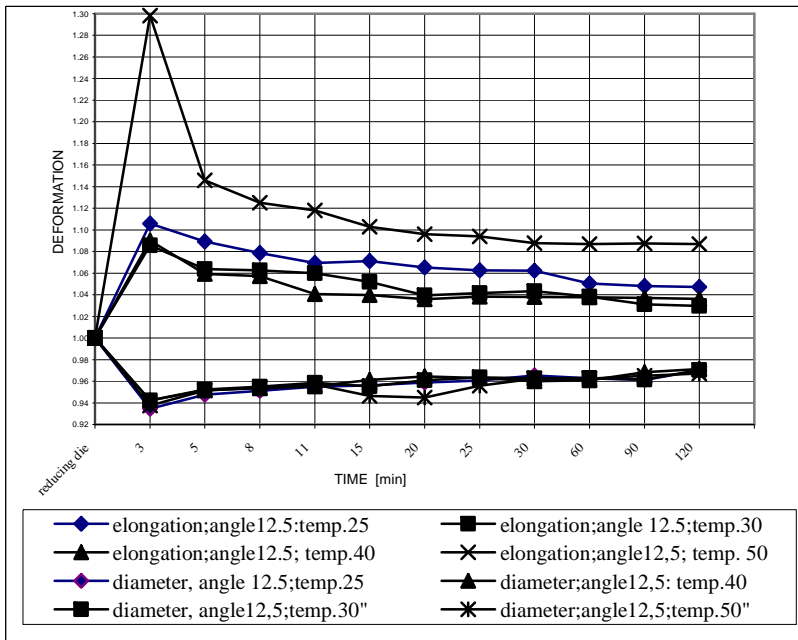


Fig.1. Course of changes of pipe length and diameter during drawing and free viscoelastic return for drawing dies with 12.5° angle and 10% reduction

### 3. CONCLUSIONS

The functional effect of the conducted research is a possibility of rational choice of conditions during a reverse drawing operation, as far as the deposition effect of the drawn pipe in lining canals with considerable rigidity is concerned. It is realised with tight fitting of a drawn pipe after the load of drawing ends and when the pipe temperature levels with the ambient temperature.

The research proved necessity of individual design of operations for particular geometrical and material conditions. In such cases, the temperature of the material is an essential value, yet – in some circumstances - it may be altered as fit.

#### **4. BIBLIOGRAPHY**

- [1] Szymiczek M.: Swagelining drawing polyethylene pipes in reconstruction of flowing network. Doctor's thesis. Gliwice 2005
- [2] Wróbel G., Szymiczek M., Wierzbicki Ł.: "Swagelining as method of pipelines rehabilitation. Journal of Materials Processing Technology 157-158/2004. S. 637
- [3] Hinton T., Rider J.G., Simpson L.A.: Chain and fibrillar slip in oriented polyethylene. Journal of Materials Science. Vol.22.Nr7/July 1987. P. 2319-2326.
- [4] Wróbel G., Szymiczek M.: Evaluation of effects of geometric parameters of reducing die on after-deformation return of polyethylene pipes. AMME 2003. P. 1049 – 1052. In Polisch.
- [5] Wróbel G., Szymiczek M., Wierzbicki Ł.: "Swagelining as method of pipelines rehabilitation. Journal of Materials Processing Technology 157-158/2004. S. 637.
- [6] Boot J.C., Guan Z. W., Toporova I: The structural performance of thin – walled polyethylene pipe linings for the renovation of water mains. *Trenchless Technology Res.* Vol. 14. Nr 2/1999.S. 37.

### **THE APPLICATION OF INFRARED THERMOGRAPHY FOR QUALITY EVALUATION OF CFRP COMPOSITES**

*Gabriel Wróbel<sup>a</sup>, Zbigniew Rdzawski<sup>b</sup>, Grzegorz Muzia<sup>b</sup>, Sebastian Pawlak<sup>a,\*</sup>  
a Department for Processing of Metals and Polymers,  
Institute of Engineering Materials and Biomaterials,*

## **1. INTRODUCTION**

Carbon fibre reinforced composites are one of the most attractive materials for high performance applications in the modern aerospace and aircraft industry due to their widely described advantages [1, 2]. The mechanical properties of fiber reinforced composites are very sensitive to the local fiber content variations. This parameter is also considered as quality criteria of composite products. Local reinforcement variations arising during production process decide about out-of-control variations of strength and stiffness in a given component, which is of a great importance for the products with a high failure-free requirements. To improve manufacturing quality it is necessary to develop a new reliable non-destructive testing (NDT) methods which are suitable for the purpose of reinforcement content evaluation.

In a wide range of different NDT techniques, thermography was until recently considered as an emerging technology [3] and nowadays is widely used in characterization of composite materials [4]. It is also known that infrared (IR) thermography is able to detect defects and anomalies in many engineering materials [5,6]. In the case of polymer composite materials, it is applicable to the detection of cracks, impact damages and fatigue degradation [7]. Thermography also seems to be the promising method for the purpose of fiber content evaluation because the total thermal conductivity of composite material highly depends on the thermal conductivity of constituent materials and their relative volume fraction. In the present paper, the authors made an attempt to apply transient thermography for the fiber content evaluation in carbon/epoxy composite materials.

## **2. EXPERIMENTAL**

### **2.1. Materials**

The composite specimens were made of cross - ply plain weave [0/90] carbon fabric (“Sigratex”, Germany), epoxy resin („Epidian 53”, Poland) and hardener (“Z-1”, Poland). The properties of constituent materials are shown in Table 1.

Table 1. Properties of constituent materials [8]

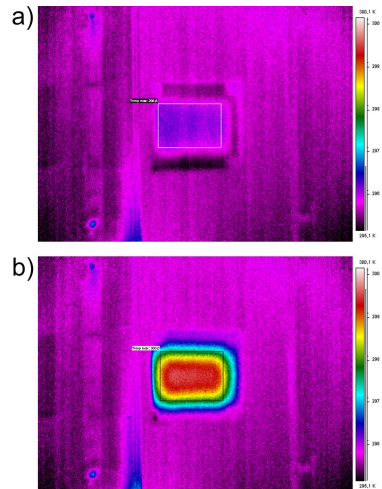
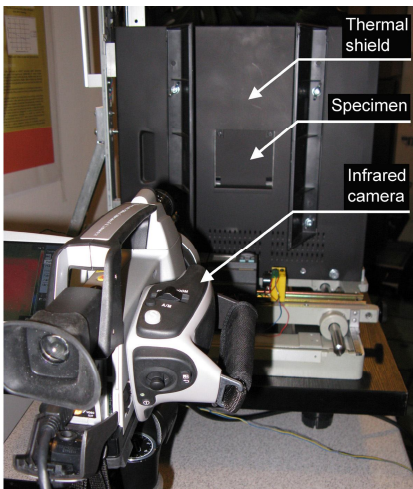
Parameter	Carbon fibre (* fabric)	Epoxy resin
Areal weight / Density	240 [g/cm <sup>2</sup> ]*	1.15 [g/cm <sup>3</sup> ]
Thermal conductivity coef.	~15.0 [W/mK]	~0.22 [W/mK]

Carbon fiber reinforced epoxy composites were fabricated by hand lay-up with a variation of carbon content. The variation of fibre content was achieved using different number of carbon layers with the same total thickness of the specimens. The composites prepared in such a way had 23, 30 and 37wt.% carbon content and 6 mm average thickness and 10 mm by 10 mm square shape [8].

## 2.2. IR-thermography measurements

The most important issue, when using transient thermography in the case of present purpose, was to obtain the repeatability of the measurements. This reason caused the application of a prototype testing station (Fig. 1) which was designed and built specially to provide a uniform heating conditions such as stable specimen mounting, constant distance between heating source and specimen and also precise heating time for all measurements [8].

The heating time of 2.0 seconds and distance between thermal wave source and specimen (30 mm) was determined experimentally using a neat resin specimen when the temperature difference between heated specimen surface and neighbourhood (~21 °C) was satisfactory for the investigations.



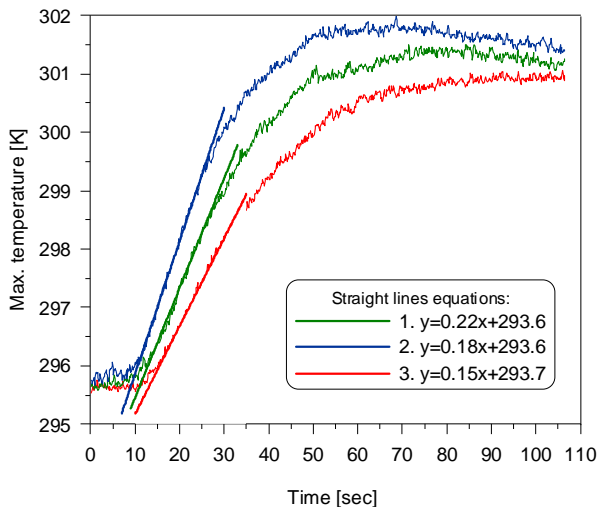
**Fig. 1. View of the thermography testing station with IR camera (left) and thermal images of the specimen (right) captured after 27 sec (a) and 67 sec (b)**

The temperature variations on the opposite side of the heated specimen surface was measured and recorded using IR camera (“ThermaCAM™SC640”, made by “Flir Systems”, Sweden) with focal plane array (FPA) detector. Infrared camera as well as testing station were connected with PC system.

Each specimen was mounted vertically (parallel to the wave source) in a hole of the thermal shield. As a thermal wave source a 1200 W ceramic infrared radiator (“SHTS”, “Elstein”, Germany) with wavelength range of  $2\div 10\ \mu\text{m}$  was used.

### 3. RESULTS

Figure 3 shows the line profile plot of the temperature variation with time for all considered carbon/epoxy specimens. For all specimens the slope of straight line (Fig. 2) as well as the highest obtained temperature on the opposite side to the heated surface had different values. The slope of straight line on the plot represents the temperature growth rate and it can be correlated with carbon fiber content of the composite. Due to value differences in second considered parameter, namely upper limit temperature, it can be also correlated with fiber content.



**Fig. 2. Temperature variations versus time for all three carbon/epoxy specimens**

#### **4. CONCLUSIONS**

In the present study, transient thermography was applied to evaluate the carbon fiber content in CFRP composite materials. The investigation has assessed the ability of thermography to carry out such a testing. The experimental results have shown relationship between fiber content and upper limit temperature and also between fiber content and temperature growth rate.

#### **REFERENCES**

- [1] L. A. Dobrzański, Engineering materials and material design. Principles of materials science and physical metallurgy, WNT, Warsaw, 2006 (in Polish)
- [2] W. Hufenbach, L. A. Dobrzański, M. Gude, J. Konieczny, A. Czulak, Optimization of the rivet joints of the CFRP composite material and aluminium alloy, Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering, Vol. 20, 2007, 119-122
- [3] Bates D., Smith G., Lu D., Hewitt J., Rapid thermal non-destructive testing of aircraft components, Composites: Part B 31, 2000, 175-185
- [4] M. Krishnapillai, R. Jones, I.H. Marshall, M. Bannister, N. Rajic, Thermography as a tool for damage assessment, Composite Structures 67, 2005, 149-155
- [5] N. P. Avdelidis, B. C. Hawtin, D. P. Almond, Transient thermography in the assessment of defects of aircraft composites, NDT&E International 36, 2003, 433-439
- [6] C. Meola, G. M. Carlomagno, A. Squillance, A. Vitiello, Non-destructive evaluation of aerospace materials with lock-in thermography, Engineering Failure Analysis 13, 2006, 380-388
- [7] G. Muzia, Z.M. Rdzawski, M. Rojek, J. Stabik, G. Wrobel, Thermographic diagnosis of fatigue degradation of epoxy-glass composites, Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering, Vol. 24, 2007, 123-126
- [8] G. Wrobel, G. Muzia, S. Pawlak, Active IR-thermography as a method of fiber content evaluation in carbon/epoxy composites, Archives of Materials Science and Engineering, Volume 30, Issue 2, April 2008, Pages 101-104

### **MECHANICAL PROPERTIES OF POLYAMIDE FILLED WITH HARD COAL**

*L. Suchoń\*, J. Stabik, M. Rojek, M. Szczepanik  
University of Technology, Konarskiego St. 18a, 44-100 Gliwice, Poland  
Department for Processing of Metals and Polymers,  
Institute of Engineering Materials and Biomaterials,  
\*Corresponding author. E-mail address: melk@onet.eu*

## **Abstract**

This paper presents analysis of mechanical properties of polyamide 6 filled with hard coal. For making composite used two kind coals used as powder filler. A content of filler in probes was 7%, 14%, 21% in weight ratio. Mechanical test showed that, properties of this composite compared with polyamide 6 without the coal filler were worse. The most influence for deterioration analyzed properties had content of filler, while kind of used filler wasn't so important.

## **Introduction**

Many of used polymer materials need to be modified because they have insufficient mechanical, tribological, electrical and other properties which are needed to specific applications. Preparation of a composite constituting of polymer matrix and a filler is the most popular method of different properties changing. A content of filler usually used in composite is in the range of 10-60% by volume [1, 2].

It is not possible that any filler has only advantageous influence on all properties. One of basic disadvantage of this material is that the filler cause increase of viscosity of composite. Many powder filler results in composites stiffening and strength and impact strength deterioration. This is especially common effect for polymeric composite with large addition of powder fillers [3, 4].

One of new fillers used to modify polymers is a hard, mined coal. The review

of literature positions show that there is a little information about that kind of filler [5,6].

In this article a trial is described to evaluate the influence of hard coal fine particles on some polyamide mechanical properties.

## **2. Experimental**

### **2.1. Materials**

Polyamide 6 with trade name Nevimid 6 MLD produced by Nevicolor was used as a matrix. As a filler two types of hard coal were used: coal

33-34 from Boleslaw mine (Poland) designated as 1B, and a coal type 35 from Zofiwka mine marked as 2Z. Basic properties of fillers used are presented in Table 1.

Table 1. Physical properties of coal 1B and 2Z [6].

Properties	Filler	Coal 1B	Coal 2Z
Density [g/cm <sup>3</sup> ]		1,3	1,33
Content of C [%]		84,22-86,10	88,46
Cinder [%]		28,67	8,13

## 2.2 Composites and samples preparation

Fillers were incorporated into polymer matrix using extruding press. Samples were injection molded on Krauss Maffei KM65 160C1 injection molding machine. Afterwards samples were subjected to 8 hours conditioning in water with temperature 70°C.

## 2.3 Results and their analysis.

### Static tensile test

Tensile strength was taken as a measure of strength properties. For every filler type and content five tests were performed and mean values calculated. Figure 1 shows the influence of content and kind of filler on tensile strength.

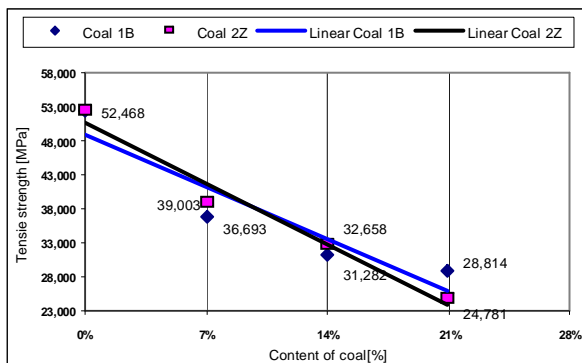


Fig. 1 Influence of content and kind of filler on tensile strength.

As it is shown in Fig. 1 the most pronounced influence on composites tensile strength of composites exhibited volume content of filler. The highest decrease of tensile strength was observed for the highest content of 2Z coal. Kind of used filler has very small influence on this property. Observed changes are typical for all thermoplastic composites filled with fine solid particles.

Hard coal particles strongly influenced also elongational properties of polyamide (Fig. 2).

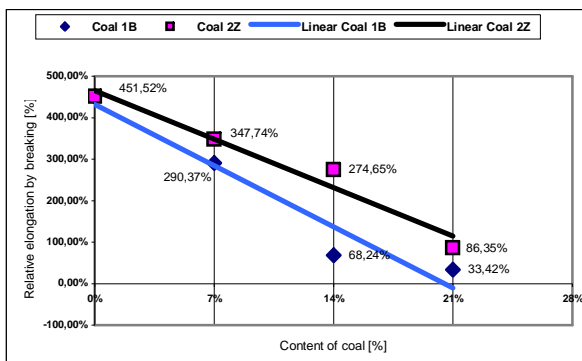


Fig. 2 Influence of content and kind of filler on relative elongation at break.

Analysis of relative elongation results, shown in Fig. 2, leads to conclusion that the most important influence on this property has, similar to tensile strength, hard coal content. The decrease of relative elongation is more pronounced than the decrease of tensile strength. Influence of kind of filler on tested parameter is also noticeable. As it shown in Fig. 2, properties of composites with 2Z-coal content are better than of composites with 1B-coal content. Sharp elongation decrease observed for composite with 14% coal 1B content have to be noticed. Additional experiments are planned with coal coated with coupling agents to avoid such an effect.

### Notched impact strength tests

Impact strength measurements were conducted using Charpy impact tester. Hammer with 7,5 [J] energy was applied. Five tests for every compound were performed and mean values calculated. Relationships between impact strength and filler content are presented in Figure 3.

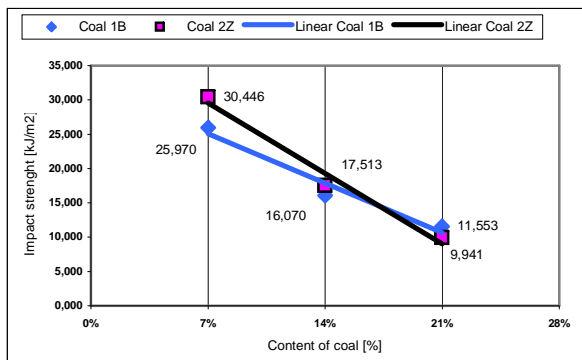


Fig.3. Relationship between impact strength and content of coal in composites.

Achieved for PA6 - coal composites results demonstrate that increased content of filler caused decrease in impact strength values are shown in Fig.3. The range of this change is only slightly dependent on the coal type. For both composite with 1B and 2Z coal filler decrease of impact strength value is the most pronounced between 7% and 14% by weight content of filler. The change of impact strength between 14% and 21% by weight content of filler is not so significant and amounts about 6 [J/m<sup>2</sup>]. It is expected that coupling agents will also improve impact strength of hard coal polymeric composites.

### 3. Summary

- Results of relative elongation and tensile strength showed unfavorable influence of hard coal.
- Analysis of impact strength results show that this value decreased with increase of coal content in polyamide.
- Type of coal has not significant influence on tested mechanical properties.

### References

1. Nicholson J. W., Chemia polimerow, WNT, Warszawa 1996.
2. Łużny W., Wstęp do nauki o polimerach, Uczelniane Wydawnictwo Naukowo-Dydaktyczne, Krakow 1999.
3. Stabik J., Wybrane problemy reologii uplastycznionych polimerow napełnionych, Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice 2004.

4. Kelar K., Cisielska D., Fizykochemia polimerow-wybrane zagadnienia, Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej, 1997.
5. Pilato L.A., Michno M. J.: Advanced composite materials, Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, 1994.
6. Shalin R. E.: Polymer Matrix Composites. Chapman & Hall(ed), London, Weinheim, NY, Tokyo, Melbourne, Madras, 1995.
7. Kurzeja L., Hennek K., Rojek M., Stabik J.: Badanie ciepłoodporności kompozycji epoksydowo-węglowych, Mat. I Kon. NT „Polimery i kompozyty konstrukcyjne”, Kozubnik, 1995.
8. Sichel E. K. (Ed): Carbon Black – polymer Composites, M. Dekker, New York, 1989.

## **EPOXY COMPOSITES WITH GRADIENT OF ELECTRICAL PROPERTIES**

Monika Szczepanik\*, Jozef Stabik, Gabriel Wrobel, Agnieszka Dybowska  
Silesian University of Technology, Institute of Engineering Materials and Biomaterials,  
Division of Metal and Polymer Materials Processing, Gliwice, Poland;

\*Corresponding author: e-mail: monika.szczepanik@polsl.pl

### **I. Introduction**

Materials science development cause continuous searching for new solutions in technology and high performance materials. In this materials usually occurs cooperation between two significantly different materials that causes many problems with interfaces and adhesion. Gradient structure provide possibility to connect two or more materials with different characteristics without such problems or at least with significantly diminished interface problems. Gradient polymeric materials are two or more components polymeric systems in which the concentration of one component varies in a continuous way from point to the other. Such systems can be obtained for example from an amorphous polymeric matrix into which another monomer is diffusing creating a gradient of concentration. Such system may be cured, for example, by photopolymerization. Properties of such systems with plane-parallel geometry are discussed in [1-5].

Gradient of definite properties (mechanical, electrical, optical, etc.) during the fabrication process of FGPM (Functionally Gradient Polymeric Materials) can be controlled by suitable selection of preparation method, matrix and reinforcement, but also by changes of process parameters, properties, size, shape and quantity of filler. At the turn of XX and XXI

century scientists elaborated many preparation methods and conceptions of FGPM, for instance: diffusion solutions, corona discharge curing, compression molding, selective laser sintering, in situ polymerization, gravitational or rotational casting, powder metallurgy techniques, reaction bonding and other technologies. Gravity casting method of polymer gradient materials preparation is one of the most effective methods. This method of production allow to form concentration gradient of composite components and continuous transition between different materials [5-9].

## **II. Experimental**

### **Materials**

Gradient epoxy-graphite composites were searched. Epoxy resin RE28A cured with RE28/B and produced by GPS CO. GENERAL CHEM (Italy) were used as polymeric matrix. Graphite powder PV60/65 produced by DIMEX (Poland) was used as a filler. Four test specimens were prepared with gravity casting method. Addition of respectively, 3, 6, 9 and 12% vol of graphite was applied. The fifth specimen was prepared with 3% vol. of graphite and 1,5% vol. of silica Aerosil 200, applied as viscosity modifier. In this research gravity casting as one of the most effective methods for polymeric gradient materials creation was chosen. Figure 1 presents shape and diameter of specimens.

### **Methods**

Surface resistivity was applied as a measure of electrical properties. Measurements were performed according to Polish standard PN-88/E-04405. The idea of the test was to define electrical resistivity in sequential layers with different content of conductive component (graphite). First, specimen's thickness was measured and surface resistivity tested.

Next outer layer was removed by grinding. Next, following thickness and resistivity measurements and grinding procedures were repeated. Five layers in each specimen were researched. Scheme of measuring layers is presented in Figure 2.

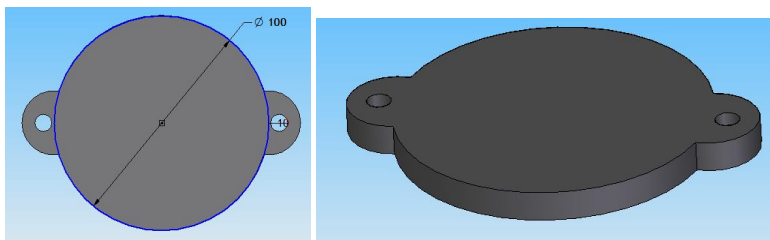


Fig.1. Shape and the diameter of specimen

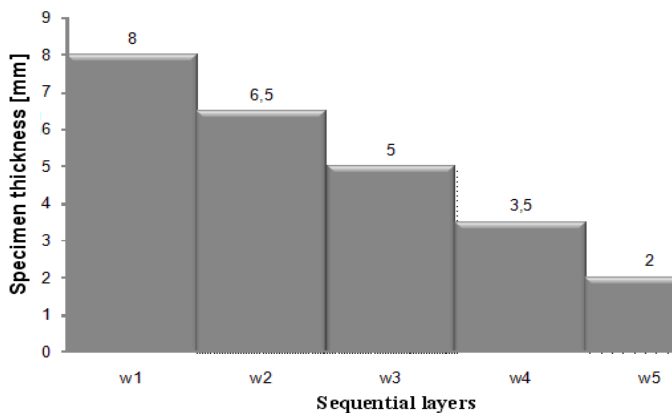
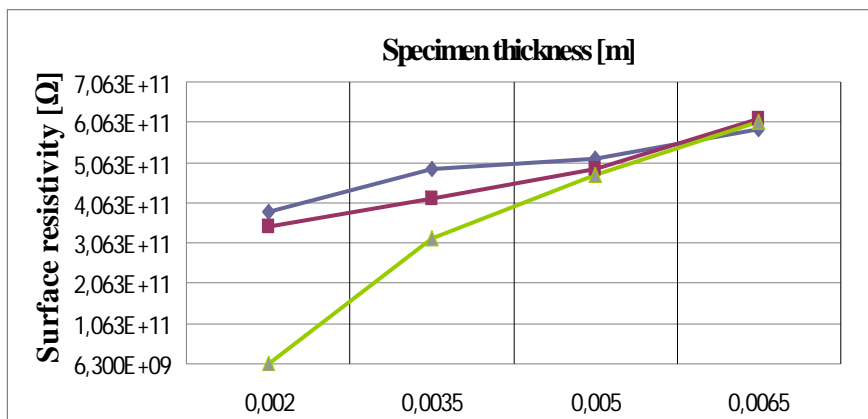


Fig.2. Scheme of measuring layers

### III. Results and discussion

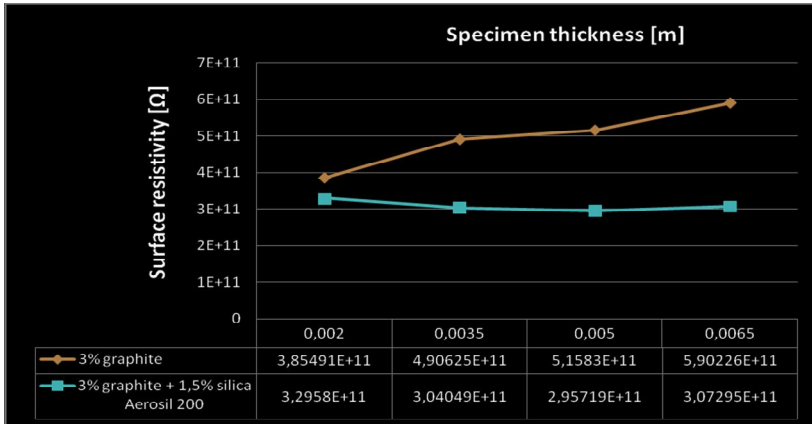
Sedimentation of graphite during casting produced composites with different filler content throughout the thickness of specimens. On the basis of electrical properties research results the dependence of surface resistivity on specimen thickness was determined (Fig.3).



◆ 3% graphite	3,8549E+11	4,9063E+11	5,1583E+11	5,9023E+11
■ 6% graphite	3,46509E+11	4,15144E+11	4,90068E+11	6,13717E+11
▲ 9% graphite	6,3029E+09	3,1770E+11	4,7497E+11	6,0724E+11

**Fig.3. Relationship between surface resistivity and specimen thickness for 3-9% vol of graphite**

As can be seen in Fig.3, the lower was placed the layer the lower was surface resistivity. It is the result of higher graphite content at the bottom of sample due to sedimentation. The most pronounced resistivity decrease with layer depth was observed for composite with 9%vol of graphite. For layer placed 2mm above the bottom surface resistivity was  $6,30 \cdot 10^9 \Omega$ . At this surface resistivity level static electricity cummulation is not expected, what is very important in many polimeric composites applications. Additionally the influence of higher matrix viscosity on sedimentation process and thus on graphite distribution was searched. The effect of changed graphite distribution on surface resistivity is shown in Fig.4. As can be seen viscosity increase caused sedimentation retarded sedimentation of graphite. Obtained differences in surface resistivity are very minute and not greater than experimental error. Viscosity modifiers may be applied to control sedimentation process but applied amount was too high.



**Fig.4. Relationship between surface resistivity and specimen thickness for 3%vol of graphite and 3%vol of graphite plus 1,5%vol of silica**

#### IV. Conclusions

- Addition of 3-6% vol. of graphite to epoxy resin caused limited, almost linear, decrease of surface resistivity in depth direction of specimens
- Higher content of filler (9-12% vol) in polymeric graded composite caused rapid, non-linear with layer depth, decrease of surface resistivity.
- Electric properties modification in polymeric graded composite with graphite filler is possible through resin viscosity modification, for example by silica powder addition.

#### References

- [1] Wena B., Wub G., Yu J.: A flat polymeric gradient material: preparation, structure and property, *Polymer* 45 (2004), 3359–3365.
- [2] Saburo A., Yoshihisa K.: Gradient Structures Formed in Polymer Materials, *High Polymers I* (2000), 32-37.
- [3] Koizumi M., Nino M: Overview of FGM Research in Japan, *MRS Bull.* 20 (1995), 19- 21.
- [4] Tilbrook T. Matthew, Moon J. Robert , Hoffman M: Crack propagation in graded composites, *Comp. Sci. Technol.* 65 (2005), 201-220.
- [5] Boczkowska A., Kapuściński J., Lindemann Z.: *Kompozyty*, Warszawa, OWPW, 2003.

- [6] Chung H., Das S.: Processing and properties of glass bead particulate-filled functionally graded Nylon-11 composites produced by selective laser sintering, *J. Mat. Sci. Eng.* 2 (2006), 226-234.
- [7] Hashmi S., Dwivedi U.: Estimation of Concentration of Particles in Polymerizing Fluid during Centrifugal Casting of Functionally Graded Polymer Composites, *J. Polym. Res.* 1 (2007), 75-81.
- [8] Stellbrink K. K. U., Hausser G., Steegmuller R.: One-Component Composites as Functionally Gradient Materials, *J. Thermoplastic Comp. Mat.* 3 (1999), 188-200.
- [9] Kryszewski M.: Gradient polymers and copolymers, *Polymers for Advanced Technologies* 9 (1997), 244 – 259.

## **TRANSFORMATION PLASTICITY OF STEEL DURING QUENCHING**

*Regita Bendikiene, Rasa Vitkeviciene*

*International Studies Centre, Kaunas University of Technology, Mickevičiaus 37, LT-44244  
Kaunas, Lithuania*

The paper presents the results of longitudinal investigations of transformation plasticity of hot-die (high temperature-resistant used in high-temperature deforming), stainless, high speed and ledeburitic steel during hardening. A special device was used to evaluate transformation plasticity and determine the maximum normal bending stress, modulus of transformation plasticity for medium alloyed and medium carbon steel.

The tests of the transformation plasticity were accomplished by bending the steel test pieces. The deflection of the test pieces, the content of retained austenite, and the self-deformations after tempering were measured as a function of load.

Bending test pieces (6x8x100 mm) prepared from the hot-die steel 4X5MΦC, stainless steel 40X13, 95X18, high speed steel P6M5 and ledeburitic steel X12Φ1 (steel grades according to Russian standard GOST) were used for transformation plasticity analysis.

Bending test pieces, made of investigated steels, were heated in the electric furnace in the protective atmosphere for the hardening up to the temperature of 950 °C, 975 °C, 1000 °C, 1025 °C, and 1050 °C.

Heated up to the defined temperature and held in the furnace for 15 min test pieces were placed into the special device, and at the temperature of 560 °C – 580 °C were loaded by bending load (95 N/mm<sup>2</sup>, 130 N/mm<sup>2</sup>, and 165 N/mm<sup>2</sup> of normal bending stresses, not exceeding yield point of the austenite at this temperature). Elastic and plastic deflections were measured

at the accuracy of 10  $\mu$ m during defined time steps until complete cooling of the test piece. Cooling curve of the test piece was registered by the strip-chart recorder, using welded up thermocouple made of chromel – alumel.

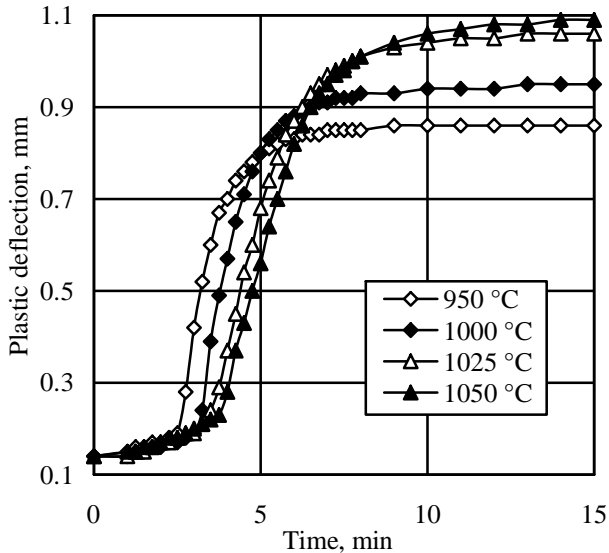


Fig. 1. Influence of hardening temperature on the kinetics of plastic deformation of stainless steel

When test pieces cooled until the 600 °C – 550 °C they were loaded by selected force (normal bending stresses: 10 N/mm<sup>2</sup>, 80 N/mm<sup>2</sup>, 120 N/mm<sup>2</sup>, 150 N/mm<sup>2</sup>) and were cooled at the room temperature (cooling rate for investigated steel was sufficient to ensure martensitic transformation. In the austenitic state test pieces were bended elastically and during martensitic transformation started deform plastically. Variation of test piece deflection was measured at the accuracy of 0.01 mm every 15 s. Kinetics curves of test pieces deflection are given in the Fig. 1.

**Conclusions:**

From the results of the present study, it can be concluded:

1. The hot-die steel during martensitic transformation in the temperature range from 300 °C until 100 °C is in the state of transformation plasticity. Heat resistance stainless steel during martensitic transformation is in a state of transformation plasticity. Supposed yield point  $\delta_{TV}$  is lower than 10 N/mm<sup>2</sup>.

2. Size of kinetic plasticity depends on chemical composition of steel and hardening temperature.
3. Relative rate of kinetic plasticity of chromium steels (Cr content from 0.99 % until 18.20 %) reaches maximum (~ 11) when steel is hardened at the optimal hardening temperature.

References:

1. Turteltaub S., Suiker A.S.J. Transformation-induced plasticity in ferrous alloys. *Journal of the Mechanics and Physics of Solids*, 2005, Vol. 53, Iss. 8, p. 1747-1788.
2. Wasilkowska, A., Tsipouridis, P., Werner, E.A., Pichler, A., Traint, S. Microstructure and tensile behaviour of cold-rolled TRIP-aided steels *Journal of Materials Processing Technology* 157-158, 2004, 633-636.
3. Turteltaub, S., Suiker, A.S.J. Transformation-induced plasticity in ferrous alloys *Journal of the Mechanics and Physics of Solids* 53/8 2005: pp. 1747 – 1788.

## **STRESS-STRAIN STATE CAUSED BY SIMULTANEOUS ACTION OF CONTACT AND NON-CONTACT FORCES**

*S.S. Sherbakov*

*Department of Mechanics and Mathematics, Belarusian State University, Minsk, Belarus,  
sersher@tut.by*

In mechanics of a deformable rigid body a wide class of problems is devoted to the research of contact interaction of rigid bodies (see for example [1,2]). The most usual approach to the solution of contact problems is the transition from the interaction of two bodies of the certain form to distribution of surface tractions on some area of half-space. The solution of such boundary problem consists of determination of distributions of stresses and strains in the contact zone. One of the most essential conditions accepted for the solution of contact problems is fast attenuation of stresses and strains if the distance between the considered point and contact area increases.

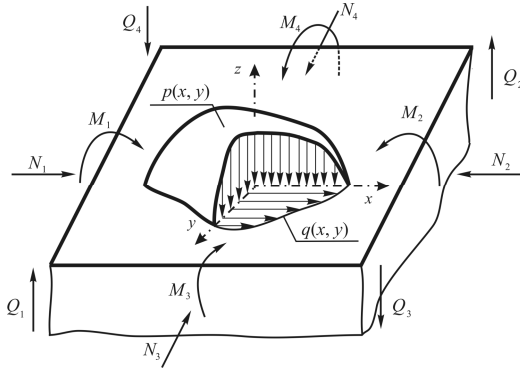


Figure 1. General loading scheme of an active system

In addition to the solutions for contact problems mechanics of a deformable rigid body have well developed methods of studying of stress-strain state without considering local effects in the areas of load application (see for example [3]).

Active systems studied in tribo-fatigue [4] are characterized by the presence of both contact interaction between the elements of these systems and volume deformation caused by action of non-contact loads. Thus the action of distributed normal  $p(x, y)$ , tangential  $q(x, y)$  contact tractions and non-contact  $M_i, N_i, Q_i$  loads (figure 1) [4] should be taken into account while constructing mechanical and mathematical model of the stress state of active systems. .

According to figure 1 stress state in any point  $M(x, y, z)$  of an active system is defined from the following general expression [4,5]

$$\sigma_{ij} = \sigma_{ij}^{(n)} + \sigma_{ij}^{(\tau)} + \sigma_{ij}^{(b)}, \quad i, j = x, y, z, \quad (1)$$

where  $\sigma_{ij}^{(n)}$  – stresses caused by normal contact traction,  $\sigma_{ij}^{(\tau)}$  – stresses caused by tangential contact traction,  $\sigma_{ij}^{(b)}$  – stresses caused by non-contact loads.

Calculation of stresses  $\sigma_{ij}^{(hs)}$  in any point of the half-space under the surface when  $z < 0$  caused by the action of normal contact tractions  $p(x, y)$  is carried out numerically using Boussinesq problem solution  $\sigma_{ij}^{(B)}$  [1] (determination of stress components in the half-space caused by unit normal force) [5,6]:

$$\sigma_{ij}^{(hs)}(x, y, z) = \iint_{S(\xi, \eta)} p(\xi, \eta) \sigma_{ij}^{(B)}(\xi - x, \eta - y, z) d\xi d\eta. \quad (3)$$

It is necessary to consider that in a point of unit force application stresses  $\sigma_{ij}^{(B)}$  are not defined. Therefore calculation according to (3) does not converge for points  $z = 0$  of half-space surface.

Calculation of stresses in any point  $M(x, y, 0)$  on the half-space surface under the action of normally distributed tractions  $p(x, y)$  is carried out according to the following general formula:

$$\sigma_{ij}^{(surf)}(x, y, 0) = \sigma_{ij}^{(S)}(x, y). \quad (4)$$

where  $\sigma_{ij}^{(S)}(x, y)$  – surface stresses on the half-space surface caused by pressure distributed over the contact area  $S(x, y)$

Thus stress  $\sigma_{ij}^{(n)}$  in (1) with the account of (3) and (4) is

$$\sigma_{ij}^{(n)} = \begin{cases} \sigma_{ij}^{(hs)}, \\ \sigma_{ij}^{(surf)}, \end{cases}. \quad (5)$$

Calculation of stress state  $\sigma_{ij}^{(\tau)}$  under the action of friction force modeled by the distribution of tangential tractions  $q(x, y)$  is also carried out numerically using Cerruti problem solution  $\sigma_{ij}^{(C)}$  [1] (determination of stress components in the half-space caused by unit tangential force) [5,6]:

$$\sigma_{ij}^{(\tau)}(x, y, z) = \iint_{S(\xi, \eta)} q(\xi, \eta) \sigma_{ij}^{(C)}(\xi - x, \eta - y, z) d\xi d\eta. \quad (6)$$

Stresses caused by non-contact loads are defined applying particular approaches (for example bending theory):

$$\sigma_{ij}^{(b)} = \sigma_{ij}^{(M)} + \sigma_{ij}^{(N)} + \sigma_{ij}^{(Q)}, \quad (7)$$

where indexes  $M$ ,  $N$  and  $Q$  correspond to internal moment, normal and shear forces.

General stress state defined by expression (1) is described by the following model:

$$\sigma_{ij} = \left[ \iint_{S(\xi, \eta)} p(\xi, \eta) \sigma_{ij}^{(B)}(\xi - x, \eta - y, z) d\xi d\eta \vee \sigma_{ij}^{(S)}(x, y) \right] + \iint_{S(\xi, \eta)} q(\xi, \eta) \sigma_{ij}^{(C)}(\xi - x, \eta - y, z) d\xi d\eta + \sigma_{ij}^{(M)}(x, y, z) + \sigma_{ij}^{(N)}(x, y, z) + \sigma_{ij}^{(Q)}(x, y, z). \quad (8)$$

Since model (8) is constructed as the superposition of components  $(\sigma_{ij}^{(n)}, \sigma_{ij}^{(\tau)}, \sigma_{ij}^{(b)})$  of stress there is a possibility of analysis of both general solution and any of special cases.

Figure 3 shows the example of stress fields calculation for the roller-shaft active system. A roller and a shaft are in conditions of contact interaction ( $a$  and  $b$  are the greater and smaller semi-axes of contact ellipse) and the shaft is also bent by shear force  $Q$ . It is easy to see from the distributions presented in figure 3 that the stress state in the active system (figures 3.c and 2.d) strongly differs (qualitatively and quantitatively) from traditionally studied stress states under contact or bending (figures 3.a and 3.b respectively).

## Conclusion

Using (8) it is possible on the one hand to investigate how the field of the stresses (strains) caused by volume deformation is disturbed in some local area where the field of contact stresses (strains) simultaneously occurs. It essentially leads to the setting and solution of a special class of problems in the theory of elasticity. On the other hand it is possible to investigate how the field of local stresses (strains) changes when the field of the stresses (strains) caused by volume deformation is imposed on it. It is essentially a new class of problems in contact mechanics [4-6].

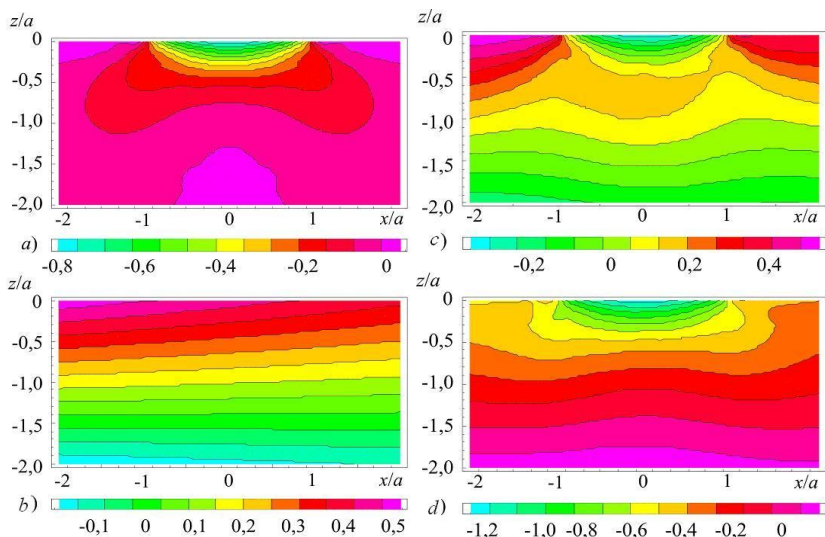


Figure 2. Distributions of stresses  $\sigma_{xx}^{(n)}$  (a),  $\sigma_{xx}^{(b)}$  (b),  $\sigma_{xx}^{(n)} + \sigma_{xx}^{(b)}$  ( $Q > 0$ ) (c),  $\sigma_{xx}^{(n)} - \sigma_{xx}^{(b)}$  ( $Q < 0$ ) (d), normalized by maximum Hertz stress  $p_0$  in the neighborhood of contact area ( $y = 0$ ,  $a/b = 0.5$ ) ( $a$  and  $b$  are the greater and smaller semi-axes of contact ellipse)

## References

- [1]. Johnson. K. L.: Contact Mechanics, Cambridge University Press, Cambridge, 1985.
- [2]. Goryacheva I. G.: Mechanics of Frictional Interaction, Nauka, Moskow, 2001.
- [3]. Timoshenko S. P., Goodier J. N.: Theory of Elasticity. McGraw-Hill, NY, 1970.
- [4]. Sosnovskiy L. A. Tribo-Fatigue. Wear-fatigue damage and its prediction (Foundations of engineering mechanics). Springer, 2004.
- [5]. Sosnovskiy L. A., Shcharbakou S. S. New Class of Contact Problems. *Proceedings of the International Mechanical Engineering Congress and Exposition*, Orlando, 6 pp, 2005.
- [6]. Sosnovskiy L. A., Sherbakov S.S. Special Class of Contact Problems and the Calculation of the Sstate of Stress of Wheel/Rail System Elements. *Proceedings of the 7<sup>th</sup> International Conference on Contact Mechanics and Wear of Rail/Wheel Systems*, Brisbane, 93–104, 2006.

# DANGEROUS VOLUME AS THE MEASURE OF DAMAGE

*L.A. Sosnovskiy<sup>1</sup>, M.A. Zhuravkov<sup>2</sup>, S.S. Sherbakov<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>*S&P Group TRIBOFATIGUE Ltd., Gomel, Belarus,*

*tribo-fatigue@mail.ru*

<sup>2</sup>*Department of Mechanics and Mathematics, Belarusian State University, Minsk, Belarus,*

*zhuravkov@bsu.by, sersher@tut.by*

Variety of practically important systems such as toothings, wheel/rail etc. work in conditions of complex stress-strain state conditioned by local contact and general non-contact volume deformation. Such mechanical systems are called active systems [1] and for them special analysis of surface and subsurface deformation and damage is needed.

Generally the analysis of interaction and damage of elements of active systems is based on statistical model of deformable rigid body with dangerous volume that contains the criteria for limitation of dangerous volumes and the general procedure of their calculation [1].

Definition of forms and sizes of dangerous volumes requires the knowledge of function of distribution of fatigue limits for corresponding element of a system and the stress state in considered areas of interacting bodies. Dangerous volumes are finite three-dimensional areas where the stresses exceeding the minimum values of fatigue limit ( $\sigma_{-1min}$ ) distribution are present (figure 1).

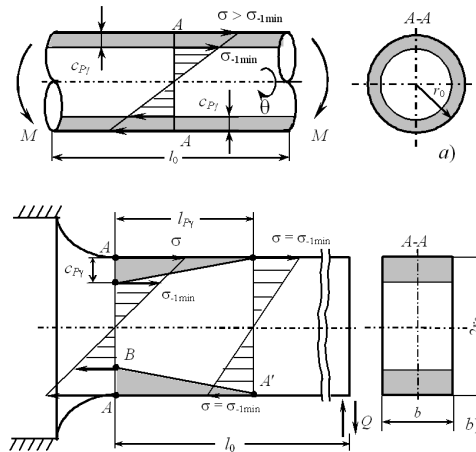


Figure 1. Scheme of formation of dangerous volume for pure bending of a shaft (a) and console bending of a thick plate (b).

Active system differs from a bent shaft because all six independent components stress tensor are usually nonzero. Generally the limiting state according to the criterion of contact fatigue (formation of microcracks) in some point of an active system may be reached by several various tensor components. Thus fatigue limit for an active system is defined for every independent tensor component as an extreme value of its distribution under the action of limiting load  $F_{*lim}$ . For a homogeneous isotropic deformable rigid body limiting normal and tangential stresses  $\sigma_n^{(*lim)}$  and  $\sigma_\tau^{(*lim)}$  and also limiting main stress  $\sigma_1^{(*lim)}$  and limiting intensity of stresses  $\sigma_{int}^{(*lim)}$  are defined in the following way [2]:

$$\sigma_n^{(*lim)} = \max_{dV,i} \left( \left| \sigma_{ii}(F_{*lim}, dV) \right| \right)_{i=x,y,z}, \quad \sigma_\tau^{(*lim)} = \max_{dV,i,j} \left( \left| \sigma_{ij}(F_{*lim}, dV) \right| \right)_{i,j=x,y,z, i \neq j}, \quad (1)$$

$$\sigma_1^{(*lim)} = \max_{dV} \left( \left| \sigma_1(F_{*lim}, dV) \right| \right), \quad \sigma_{int}^{(*lim)} = \max_{dV} \left( \sigma_{int}(F_{*lim}, dV) \right),$$

where  $dV$  - elementary volume of the loaded body.

Limiting stresses  $\sigma_{ij}^{(\pm*lim)}$ ,  $i, j = x, y, z$ ,  $\sigma_i^{(\pm*lim)}$ ,  $i = 1, 2, 3$ ,  $\sigma_{int}^{(*lim)}$  are defined similarly for the general case of rigid body.

Then the conditions for limitation of dangerous volumes are

$$V_{(ij)} = \left\{ dV / \sigma_{ij} \geq \sigma_k^{(*lim)}, dV \subset V_k \right\}, \quad i,j=x,y,z, \quad k = \begin{cases} n, & \text{при } i = j, \\ \tau, & \text{при } i \neq j, \end{cases} \quad (2)$$

$$V_{(i)} = \left\{ dV / \sigma_i \geq \sigma_1^{(*lim)}, dV \subset V_k \right\}, \quad i = 1, 2, 3, \quad (3)$$

$$V_{int} = \left\{ dV / \sigma_{int} \geq \sigma_{int}^{(*lim)}, dV \subset V_k \right\}, \quad V_T = \bigcup_{i,j} V_{ij}$$

where  $V_k$  - working volume of a deformable rigid body.

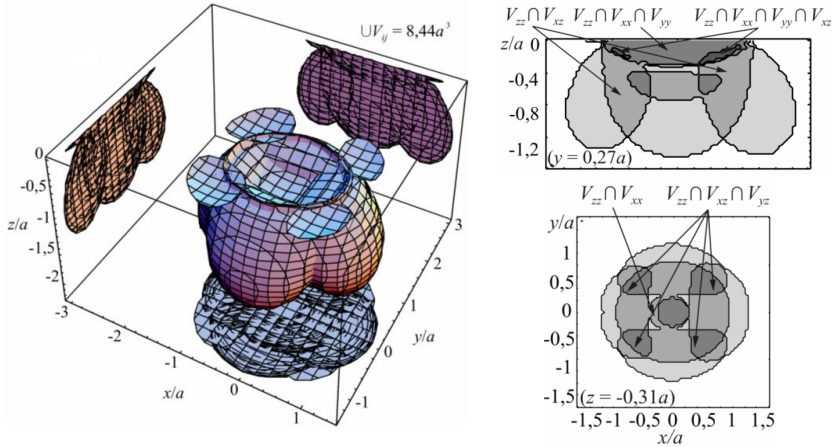
Corresponding measures of damage are

$$\omega_{ij} = V_{ij} / V_k, \quad \omega_T = V_T / V_k. \quad (4)$$

Since dangerous volumes may have arbitrary and complex form and their analytical definition is difficult then they are calculated using Monte-Carlo method.

Figure 5 shows the example of calculation of dangerous volumes for the case of non-conforming elliptical Hertzian contact for the following initial data:  $\sigma_n^{(*lim)} = 0.3p_0$ ,  $\sigma_\tau^{(*lim)} = 0.09p_0$  ( $p_0$  is the maximum contact pressure in the center of contact), friction coefficient

$f = 0,05$ , ratio between smaller  $b$  and bigger  $a$  semi-axes of contact ellipse  $b/a = 0.813$  [2]. It is visible from the given figures that the greatest by size are  $V_{(zz)}$ ,  $V_{(xz)}$  and  $V_{(yz)}$  dangerous volumes correspond to the greatest stresses  $\sigma_{zz}^{(n)}$ ,  $\sigma_{xz}^{(n)}$  and  $\sigma_{yz}^{(n)}$ .



**Figure 2. Union of dangerous volumes and its sections**

Since dangerous volumes are the measures of damage of deformable bodies then while analyzing figure 2 it is possible to specify concrete areas where the origin and development of both surface and internal cracks is possible. It is obvious, that occurrence of irreversible damages (primary cracks) have higher probability where corresponding dangerous volumes intersect.

**References**

- [7]. L.A. Sosnovskiy (2004). *Tribo-Fatigue. Wear-fatigue damage and its prediction* (Foundations of engineering mechanics), Springer.
- [8]. L. A. Sosnovskiy, S.S. Sherbakov (2007). *Vibro-impact in rolling contact*, J. of Sound and Vibration, 308, 489–503.

**THE COMPARISON OF TRD 301 REGULATIONS AND PN-EN 12952-3:204/AP1:2005 STANDARD WITH THE EXAMPLE OF SKS1 MAIN STEAM VALVE**

*Renata DWORNICKA  
Cracow University of Technology, Institute of Computing Science, dwornick@mech.pk.edu.pl*

## 1. Introduction

The paper presents a case study for the comparison between TRD 301 regulations and PN-EN 12952-3:204/API:2005 standard. The main steam valve SKS1 is selected as a base for an example calculations. The cooling and heating rates calculation are presented for both methods: recommended by TRD regulations and recommended by PN-EN standard. The gathered results are visibly different. The additional parameters involved by PN-EN standard are the reasons for these differences. Author provides step-by-step analytical comparison for both methods and emphasises differences and their reasons. The whole calculations, results and comprehensive discussion are included in full text. The paper is primarily addressed to the designers, developers and users interested in identification of cooling and heating rates for elements of power plant.

## 2. TRD 301 based calculations

Allowable heating rate in the beginning of the starting phase is calculated from the formula:

$$v_{g1} = V \cdot \Delta_{g1} \left[ \frac{\text{K}}{\text{min}} \right] \qquad v_{g1} = 3,361 \left[ \frac{\text{K}}{\text{min}} \right] \quad (1)$$

Allowable heating rate in the end of the starting phase is calculated from the formula:

$$v_{g1'} = V \cdot \Delta_{g1'} \left[ \frac{\text{K}}{\text{min}} \right] \qquad v_{g1'} = 5,239 \left[ \frac{\text{K}}{\text{min}} \right] \quad (2)$$

Allowable cooling rate in the beginning of the stopping phase is calculated from the formula:

$$v_{g2} = V \cdot \Delta_{g2} \left[ \frac{\text{K}}{\text{min}} \right] \qquad v_{g2} = -3,361 \left[ \frac{\text{K}}{\text{min}} \right] \quad (3)$$

Allowable cooling rate in the end of the stopping phase is calculated from the formula:

$$v_{g2'} = V \cdot \Delta_{g2'} \left[ \frac{\text{K}}{\text{min}} \right] \qquad v_{g2'} = -5,239 \left[ \frac{\text{K}}{\text{min}} \right] \quad (4)$$

## 3. PN-EN 12952-3 standard based calculations

Allowable heating rate in the beginning of the starting phase is calculated from the formula:

$$v_{i_1} = \Delta t_1 \cdot \frac{D_{th i^*}}{\gamma_{cyl} \cdot e_{ms}^2} \left[ \frac{\text{K}}{\text{min}} \right] \quad v_{i_1} = 6,659 \left[ \frac{\text{K}}{\text{min}} \right] \quad (5)$$

Allowable heating rate in the end of the starting phase is calculated from the formula:

$$v_{i_1} = \Delta t_1' \cdot \frac{D_{th i^*}}{\gamma_{cyl} \cdot e_{ms}^2} \left[ \frac{\text{K}}{\text{min}} \right] \quad v_{i_1} = 9,973 \left[ \frac{\text{K}}{\text{min}} \right] \quad (6)$$

Allowable cooling rate in the beginning of the stopping phase is calculated from the formula:

$$v_{i_2} = \Delta t_2 \cdot \frac{D_{th i^*}}{\gamma_{cyl} \cdot e_{ms}^2} \left[ \frac{\text{K}}{\text{min}} \right] \quad v_{i_2} = -6,659 \left[ \frac{\text{K}}{\text{min}} \right] \quad (7)$$

Allowable cooling rate in the end of the stopping phase is calculated from the formula:

$$v_{i_2} = \Delta t_2' \cdot \frac{D_{th i^*}}{\gamma_{cyl} \cdot e_{ms}^2} \left[ \frac{\text{K}}{\text{min}} \right] \quad v_{i_2} = -9,973 \left[ \frac{\text{K}}{\text{min}} \right] \quad (8)$$

### 3. Analysis of differences

TRD 301 regulations utilise a substituted wall thickness  $s_b$  calculated from the formula:

$$s_b = 1,15 \cdot s_e, \quad s_b = 94,875 [mm], \quad (9)$$

where  $s_e$  is a real wall thickness read from an engineering drawing. In the mentioned case  $s_e = 82,5$  mm. In a contrast, PN-EN 12952-3 standard utilises directly a real wall thickness  $e_{ms}$  read from an engineering drawing or, if possible, measured. In the mentioned case  $e_{ms} = 82,5$  mm.

In the next step, the obtained wall thickness is utilised for calculation of an internal diameter  $d_i$ . In the case of TRD 301 regulations the diameter  $d_i$  is calculated from the formula  $d_i = d_a - 2s_b$  [mm]. The value of  $d_i$  is equal to 345,25 [mm]. In the case of PN-EN 12952-3 standard the diameter  $d_i$  is directly read from an engineering drawing or measured. In that case the diameter  $d_i$  was directly read from the drawing and its value is equal to 370 [mm]. It leads subsequently to the differences between values of

calculated average body diameter  $d_m/d_{ms}$  although these values are calculated from the same formula:

a) TRD 301

$$d_m = \frac{d_a + d_i}{2}, \quad d_m = 440,125 [mm], \quad (10)$$

b) PN-EN 12952-3

$$d_{ms} = \frac{d_a + d_i}{2}, \quad d_{ms} = 425,5 [mm]. \quad (11)$$

Stresses originated from pressure should be calculated from an expression containing two variables: a wall thickness and stress concentration factor. TRD 301 regulations involve the substituted wall thickness  $s_b$  and stress concentration factor of value  $\alpha_m = 3,2$ . PN-EN 12952-3 standard involves the real wall thickness  $e_{ms}$  and stress concentration factor of value  $\alpha_m = 2,499$ . Thus, the maximum stresses originated from pressure are calculated as following:

a) TRD 301

$$\sigma_{\max ip} = \alpha_m (p_{\max}) \cdot p_{\max} \cdot \frac{d_m}{2 \cdot s_b}, \quad \sigma_{\max ip} = 111,336 \text{ MPa}, \quad (12)$$

b) PN-EN 12952-3

$$f_{p \max} = \alpha_m \cdot p_{\max} \cdot \frac{d_{ms}}{2 \cdot e_{ms}}, \quad f_{p \max} = 102,806 \text{ MPa}. \quad (13)$$

The next difference between TRD 301 and PN-EN 12952-3 standard is stress concentration factor  $\alpha_t$ , its value and the related formula. In the case of TRD 301, the factor may be of value 1,5 or 2. In the case of PN-EN 12952-3 standard, the factor value depends on two variables, a mentioned element's diameter and a heating penetration factor  $h$ :

$$\alpha_t = \left\{ \left[ 2 - \frac{h+2700}{h+1700} \cdot z + \frac{h}{h+1700} \cdot (\exp(-7 \cdot z) - 1) \right]^2 + 0,81 \cdot z^2 \right\}^{\frac{1}{2}}, \quad \alpha_t = 1,433, \quad (14)$$

where  $z$  – a quotient of valve's vertical part diameter to valve's body diameter:

$$z = \frac{d_{mb}}{d_{ms}}, \quad z = 1,514. \quad (15)$$

TRD 301 regulation differ from PN-EN 12052-3 standard in the approach to stresses calculation. PN-EN 12952-3 standard introduces correction factor  $C_{t^*}$  adapting non-linear influence of a temperature.

The factor is not considered by TRD 301 regulations. For the ferrite steel, the factor is calculated from the formula:

$$C_{t^*} = 1,03 - 1,5 \cdot 10^{-4} \cdot t^* - 1,5 \cdot 10^{-6} \cdot t^{*2}, \quad C_{t^*} = 0,701. \quad (16)$$

Due to this difference, the extreme stresses are of the following values:

a) TRD 301

$$\sigma_{\min i} = 199,131[MPa], \quad \sigma_{\max i} = 310,467[MPa], \quad (17)$$

b) PN-EN 12952-3

$$f_{\min} = 206,56[MPa], \quad f_{\max} = 309,366[MPa]. \quad (18)$$

Allowable temperature differences based on TRD 301 are calculated from the formula containing coefficient  $W$ :

$$W = \frac{0,35}{\beta_{L_{t^*}} \cdot E_{g^*}}, \quad W = 0,125 \left[ \frac{K}{MPa} \right]. \quad (19)$$

Analogically, allowable temperature differences based on PN-EN 12952-3 standard are calculated from the formula containing similar but inversed coefficient  $W$ :

$$W = \frac{\alpha_t \cdot \beta_{L_{t^*}} \cdot E_{t^*}}{1 - \nu}, \quad W = 5,735 \left[ \frac{MPa}{K} \right]. \quad (20)$$

If  $\alpha_t$  in both cases had been of the same value, the notation above would not have been of any influence on the following calculations of allowable temperature difference: coefficient  $W$  of TRD 301 is a multiplier, coefficient  $W$  of PN-EN 12952-3 is a divisor.

According to TRD 301, the allowable temperature difference in the beginning of the starting phase equals to:

$$\Delta_{g1} = W \cdot (\overset{\vee}{\sigma}_i - \overset{\vee}{\sigma}_{ip}), \quad \Delta_{g1} = -24,89 [K], \quad (21)$$

where:  $\check{\sigma}_i$  – minimum stress in a cycle,  $\check{\sigma}_{ip}$  – element's stress originated from the minimum pressure. In the end of the starting phase the allowable temperature difference equals to:

$$\Delta_{g1} = W \cdot (\check{\sigma}_i - \hat{\sigma}_{ip}), \quad \Delta_{g1} = -38,806 \text{ [K]}, \quad (22)$$

where:  $\check{\sigma}_i$  – minimum stress in a cycle,  $\hat{\sigma}_{ip}$  – element's stress originated from the maximum pressure. In the beginning of the stopping phase the allowable temperature difference equals to:

$$\Delta_{g2} = W \cdot (\hat{\sigma}_i - \check{\sigma}_{ip}), \quad \Delta_{g2} = 24,89 \text{ [K]}, \quad (23)$$

where:  $\hat{\sigma}_i$  – maximum stress in a cycle,  $\check{\sigma}_{ip}$  – element's stress originated from the maximum pressure. In the end of the stopping phase the allowable temperature difference equals to:

$$\Delta_{g2} = W \cdot (\hat{\sigma}_i - \check{\sigma}_{ip}), \quad \Delta_{g2} = 38,806 \text{ [K]}, \quad (24)$$

where:  $\hat{\sigma}_i$  – maximum stress in a cycle,  $\check{\sigma}_{ip}$  – element's stress originated from the minimum pressure.

According to PN-EN 12952-3, the allowable temperature differences are equal to:

a) in the beginning of the starting phase

$$(p = p_{\min}): \quad \Delta t_1 = \frac{(f_{\text{tang, min}} - \Delta f_{\text{tang, } p \min})}{W}, \quad \Delta t_1 = -36,029 \text{ [K]}, \quad (25)$$

b) in the end of the starting phase

$$(p = p_{\max}): \quad \Delta t_1' = \frac{(f_{\text{tang, min}} - \Delta f_{\text{tang, } p \max})}{W}, \quad \Delta t_1' = -53,961 \text{ [K]}, \quad (26)$$

c) in the beginning of the stopping phase

$$(p = p_{\max}): \quad \Delta t_2 = \frac{(f_{\text{tang, max}} - \Delta f_{\text{tang, } p \max})}{W}, \quad \Delta t_2 = 36,029 \text{ [K]}, \quad (27)$$

d) in the end of the stopping phase

$$(p = p_{\min}): \Delta t_2' = \frac{(f_{\text{tang, max}} - \Delta f_{\text{tang, p min}})}{W}, \quad \Delta t_2' = 53,961 [\text{K}]. \quad (28)$$

The allowable cooling and heating rates are calculated basing on the allowable temperature differences. For better simplicity, TRD 301 introduces coefficient  $V$ :

$$V = \frac{a_{g^*}}{\Phi_f \cdot s_b^2} \left[ \frac{1}{\text{min}} \right], \quad (29)$$

where:  $a_{g^*}$  – temperature equalization factor for substituted temperature,  $\Phi_f$  – shape factor,  $s_b$  – substituted wall thickness. The shape factor is calculated from the formula:

$$\Phi_f = \frac{1}{8} \cdot \frac{(u_o^2 - 1) \cdot (3 \cdot u_o^2 - 1) - 4 \cdot u_o \cdot 4 \cdot \ln(u_o)}{(u_o^2 - 1) \cdot (u_o^2 - 1)^2}, \quad \Phi_f = -0,416, \quad (30)$$

where:  $u_o$  – quotient of an external surface radius to an internal surface radius. PN-EN 12952 standard introduces analogous coefficient  $v_t$ :

$$v_t = \Delta t \cdot \frac{D_{th}}{\gamma_{cyl} \cdot e_{ms}^2} \left[ \frac{\text{K}}{\text{min}} \right], \quad (31)$$

where:  $D_{th}$  – temperature equalization factor,  $\gamma_{cyl}$  – shape factor,  $e_{ms}$  – average wall thickness of a valve horizontal part. The shape factor  $\gamma_{cyl}$  is calculated from the same formula as (30), but due to geometrical differences mentioned above, it is equal to:

$$\gamma_{cyl} = -0,402. \quad (32)$$

At last, it allows to calculate the allowable cooling and heating rates cited at the beginning of this paper.

#### 4. Summary

The case study for the comparison between TRD 301 regulations and PN-EN 12952-3:204/API:2005 standard was presented in this paper basing on the main steam valve SKS1 as an exemplar. The cooling and heating rates calculations were presented with details for both methods: recommended by TRD regulations and recommended by PN-EN standard. The differences were emphasized and commented. Author has provided step-by-step analytical comparison for both methods.

## References

- [1] Taler J., Duda P., *Solving direct and inverse heat conduction problems*, Springer Verlag, Berlin-Heidelberg, 2006.
- [2] Duda P., Taler J., Roos E., *Inverse Method for Temperature and Stress Monitoring in Complex-Shape Bodies*, Nuclear Engineering and Design 3960 (2003) 1-17.
- [3] TRD 301, *Technische Regeln für Dampfkessel*, Carl Heymans Verlag, Köln und Beuth-Verlag, Berlin, 1986, 98-138.
- [4] Richter F., *Physikalische Eigenschaften von Stählen und ihre Temperatur-abhängigkeit*, Mannesmann Forschungsberichte 930/1983, Düsseldorf.

# THE COMPARISON OF TRD 301 REGULATIONS AND PN-EN 12952-3:204/AP1:2005 STANDARD USED FOR COOLING/HEATING RATES CALCULATION

*Renata DWORNICKA*

*Cracow University of Technology, Institute of Computing Science,  
dwornick@mech.pk.edu.pl*

## 1. Introduction

The paper presents an analytical study of the TRD 301 regulations and PN-EN 12952-3:204/AP1:2005 standard. Both engineering standards are related to cooling and heating rates calculation process. They specify particular algorithms of execution and detailed described expressions. Unfortunately, the standards provides different parameters denotation what leads into misunderstandings. Additionally, the PN-EN standard involves parameters not included in TRD regulations. It leads to visible differences between results gathered from TRD and PN-EN standards. Author includes a table containing all parameters involved in both standards with their descriptions and denotations. Additionally, both methods are analysed step-by-step and all formal differences are marked: for expressions and conceptual. The comprehensive discussion of differences are included.

The paper is primarily addressed to the designers, developers and users interested in identification of cooling and heating rates for elements of power plant.

## 2. TRD 301 and PN-EN 12952-3 notations equivalence

TRD 301 and PN-EN 12952-3 utilises difference notations for the same physical and geometrical properties. It may lead to misunderstandings in calculations of cooling and heating rates. In the Table 1. below, basic parameters and their notations in TRD 301 and PN-EN 12952-3 approaches are presented.

Table 1. Geometrical parameters and their notations in TRD 301 and PN-EN 12952-3 approaches

Parameter	TRD 301	PN-EN 12952-3	Parameter	TRD 301	PN-EN 12952-3
External diameter	$d_a$	$d_o$	minimum pressure in a cycle	$\check{p}$	$p_{\min}$
Internal diameter	$d_i$	$d_i$	maximum pressure in a cycle	$\hat{p}$	$p_{\max}$
Wall thickness	$s_e$	$e_{ms}$	minimum temperature in a cycle	$\check{g}$	$t_{\min}$
Average diameter	$d_m$	$d_m$	maximum temperature in a cycle	$\hat{g}$	$t_{\max}$
stress concentration ratio	$\alpha_m$	$\alpha_m$	working pressure	$p_4$	$p_o$
Poisson's ratio	$\nu$	$\nu$	substituted temperature (relative)	$g^*$	$t^*$
minimum tensile strength	$\check{\sigma}_B$	$R_m$	stress in element originated from working pressure	$\sigma_{i p_4}$	$f_{\text{tang } p, o}$
minimum yield strength	$\check{\sigma}_{0.2/g^*}$	$Re_t^*$	stress in element originated from minimal pressure	$\check{\sigma}_{i p}$	$f_{\text{tang } p, \min}$
elastic modulus	$E_{g^*}$	$E_{t^*}$	stress in element originated from maximum pressure	$\hat{\sigma}_{i p}$	$f_{\text{tang } p, \max}$
linear thermal expansion ratio	$\beta_{L g^*}$	$\beta_{L t^*}$	minimum stress in cycle	$\check{\sigma}_i$	$f_{\text{tang } p, \min}$
thermal conductivity	$\lambda_{g^*}$	$\lambda_{t^*}$	maximum stress in cycle	$\hat{\sigma}_i$	$f_{\text{tang } p, \max}$
specific heat capacity	$c_{g^*}$	$c_{t^*}$	temperature range	$\Delta g$	$\Delta t$
density	$\rho_{g^*}$	$\rho_{t^*}$	heating rate	$v_{g1}$	$v_{t1}$

Table 1. Geometrical parameters and their notations in TRD 301 and PN-EN 12952-3 approaches

Parameter	TRD 301	PN-EN 12952-3	Parameter	TRD 301	PN-EN 12952-3
range of allowable stresses	$2\sigma_a$	$2f_a$	cooling rate	$v_{g2}$	$v_{r2}$
temperature equalization ratio	$a_{g^*}$	$D_{thi^*}$			

### 3. Analysis of differences

Basing on TRD 301 regulations and PN-EN 12952-3 standard, one may identify allowable heating and cooling rates for a power unit. Some differences between mentioned regulations may be noticed while calculating parameters related to geometrical properties. TRD 301 regulations utilize computational (substituted) wall thickness  $s_b$ , which may be calculated from one of three possible formulas:

$$s_b = 1,15 \cdot s_e \text{ [mm]} \quad (1a)$$

$$s_b = 1 + s_e \text{ [mm]} \quad (1b)$$

$$s_b = s_e \text{ [mm]} \quad (1c)$$

where  $s_e$  is a real wall thickness.

In the case of PN-EN 12952-3 standard, one may utilize a wall thickness  $e_{ms}$  read from an engineering drawing or – if possible – measured on a real object. Obtained results will agree with TRD 301 only for (1c) formula. Analogous situation appears for an internal diameter  $d_i$ . In the case of TRD 301, the diameter is calculated from formula:

$$d_i = d_a - 2s_b \text{ [mm]} \quad (2)$$

while – for PN-EN 12952-3 standard – the diameter is read from an engineering drawing or measured. The obtained results may differ related to chosen computational wall thickness case. It leads consequently to differences while calculating average diameter of a body although both standards utilize the same formulas:

a) TRD 301

$$d_m = \frac{d_a + d_i}{2} \text{ [mm]} \quad (3a)$$

b) PN-EN 12952-3

$$d_{ms} = \frac{d_o + d_i}{2} [\text{mm}] \quad (3b)$$

In the case of TRD 301, stresses in element originated from pressure should be calculated from formula:

$$\sigma_{ip} = \alpha_m(p) \cdot p \cdot \frac{d_m}{2 \cdot s_b} [\text{MPa}] \quad (4)$$

where:  $p$  – pressure,  $d_m$  – average diameter of valve body,  $s_b$  – computational (substituted) wall thickness of valve body,  $\alpha_m$  – stress concentration ratio.

In the case of PN-EN 12952-3 standard, stresses in element originated from pressure should be calculated from formula:

$$f_{\text{tang } p} = \alpha_m \cdot p \cdot \frac{d_{ms}}{2 \cdot e_{ms}} [\text{MPa}] \quad (5)$$

where:  $p$  – pressure,  $d_{ms}$  – average diameter of valve body,  $e_{ms}$  – wall thickness of valve body,  $\alpha_m$  – stress concentration ratio. In both variants, there is stress concentration ratio  $\alpha_m$ , which is calculated by TRD 301 from the formula:

$$\alpha_m(p) = \alpha_{m0} \cdot f_4 + 2 \cdot f_u(p) \quad (6)$$

where:  $\alpha_{m0}$  – theoretical stress concentration ratio,  $f_4$  – coefficient,  $f_u(p)$  – nonlinear correction dependent from pressure. This correction is defined by a formula:

$$f_u(p) = 1,5 \cdot \frac{\frac{d_m}{s_b}}{1 + 0,455 \cdot \left(\frac{p}{E_{g^*}}\right) \cdot \left(\frac{d_m}{s_b}\right)^3} \cdot \frac{U}{100} \quad (7)$$

where:  $d_m$  – average diameter of valve,  $s_b$  – computational (substituted) wall thickness,  $U$  – ovality,  $p$  – pressure,  $E_{g^*}$  – elastic modulus. The value of  $f_u(p)$  will equal to 0, if it is assumed ovality  $U$  equal to 0. The value of coefficient  $f_4$  for machined surfaces is read from standards. It may be equal to one of three values:

$$f_4 = 1 \quad (8a)$$

$$f_4 = \frac{1}{1 - 0,5 \cdot \left(\frac{d_a}{d_i}\right)^2} \quad (8b)$$

$$f_4 = 1,2 \quad (8c)$$

Theoretical stress concentration ratio is also get from standards. Standard publish three values for this ratio:

$$\alpha_{mo} = 2,6 \quad (9a)$$

$$\alpha_{mo} = 2,9 \quad (9b)$$

$$\alpha_{mo} = 3,2 \quad (9c)$$

Identification of the stress concentration ratio  $\alpha_m$  is more precise in the case of PN-EN 129523. It owes to formula containing wall thickness variable. It is described by formula:

$$\alpha_m = 2,2 + e^A + \zeta^B \quad (10)$$

where:

$$A = -1,14 \cdot \left(\frac{e_{mb}}{e_{ms}}\right)^2 - 0,89 \cdot \left(\frac{e_{mb}}{e_{ms}}\right) + 1,43 \quad (11a)$$

$$B = 0,326 \cdot \left(\frac{e_{mb}}{e_{ms}}\right)^2 - 0,59 \cdot \left(\frac{e_{mb}}{e_{ms}}\right) + 1,08 \quad (11b)$$

$$\zeta = \frac{d_{mb}}{d_{ms}} \cdot \sqrt{\frac{d_{ms}}{2 \cdot e_{ms}}} \quad (11c)$$

Another difference between TRD 301 and PN-EN 12952-3 is a stress concentration ratio  $\alpha_t$ . In the case of TRD 301, it is arbitrary assigned to a value of 2 or 1,5. In the case of PN-EN 12952-3, the ratio depends from a diameter of mentioned element and heating penetration ratio  $h$ . It is described by formula:

$$\alpha_t = \left\{ \left[ 2 - \frac{h+2700}{h+1700} \cdot z + \frac{h}{h+1700} \cdot (\exp(-7 \cdot z) - 1) \right]^2 + 0,81 \cdot z^2 \right\}^{\frac{1}{2}} \quad (12)$$

where:  $z$  – quotient of average diameter of vertical valve part to a diameter of valve body.

$$z = \frac{d_{mb}}{d_{ms}} \quad (13)$$

TRD 301 and PN-EN 12952-3 differ in the part related to stress calculations. PN-EN 12952-3 introduces two coefficients not mentioned by TRD 301. They are:

- a)  $C_{i^*}$  – correction factor adopting non-linear influence of a temperature,
- b)  $C_k$  – correction factor adopting notch effect.

Notch factor  $C_k$  describes influences from surface finish, notch effect and welded joint effect. Correction factor  $C_{i^*}$  adopts temperature effect and depends from kind of material:

- a) for ferritic steel:  $C_{i^*} = 1,03 - 1,5 \cdot 10^{-4} \cdot t^* - 1,5 \cdot 10^{-6} \cdot t^{*2}$ ,
- b) for austenitic steel:  $C_{i^*} = 1,043 - 4,3 \cdot 10^{-4} \cdot t^*$

Taking into considerations differences presented above, one may expect that heating and cooling rates obtained from TRD 301 and PN-EN 12952-3 will differ among them.

#### 4. Summary

The analytical study of TRD 301 regulations and PN-EN 12952-3:204/API:2005 standard was presented in this paper. The process of cooling and heating rates calculations was presented with details for both methods: recommended by TRD regulations and recommended by PN-EN standard. The differences were emphasized and commented. Author has provided step-by-step analytical comparison for both methods.

#### References

- [1] Taler J., Duda P., *Solving direct and inverse heat conduction problems*, Springer Verlag, Berlin-Heidelberg, 2006.
- [2] Duda P., Taler J., Roos E., *Inverse Method for Temperature and Stress Monitoring in Complex-Shape Bodies*, Nuclear Engineering and Design 3960 (2003) 1-17.
- [3] TRD 301, *Technische Regeln für Dampfkessel*, Carl Heymans Verlag, Koln und Beuth-Verlag, Berlin, 1986, 98-138.
- [4] Richter F., *Physikalische Eigenschaften von Stählen und ihre Temperatur-abhängigkeit*, Mannesmann Forschungsberichte 930/1983, Dusseldorf.

# SQL-BASED DYNAMIC FEATURE FILTERING IN KNOWLEDGE DATABASE

*Jacek PIETRASZEK*

*Cracow University of Technology, Institute of Computing Science,  
pmpietra@mech.pk.edu.pl*

## **1. Introduction**

The paper presents a concept of a dynamically created database filter for filtering experimental design during a session with the DOE advising expert system. Decision support for an investigator through the process of experiment designing is the main purpose of the system. The key element of the system is a module transforming data gathered from the user into the proper SQL selection filtering the system knowledge database.

The DAX system's expertise is a set of recommended experimental designs fitting users' demands and assumptions. The selection is executed over the database containing 720 experimental designs described by 16 attributes with values of number or text. It means that fitting process may long and time-consuming.

The proper ordering of the defined features may decide whether search process is slow or fast. The structure of query creation is presented in the full text.

The paper is primarily addressed to developers and users of expert systems. The second addressee are statisticians and knowledge engineers preparing experimental designs and information for knowledge database.

## **2. Outline of DAX expert system**

In general experimental research are very expensive and their high costs should be limited by a proper applied theory of experiments (Design of Experiments – DOE) [1-3]. DOE methods guarantee valid experiments planning, proper selection of data analysis methods and mistake-free interpretation of results. The modern DOE is so complex and mathematically formalised [4] that its implementation into investigation process is very difficult. DOE requires too narrow specialized experimenter's skills. An expert system [5] advising on each of investigation's stages is the solution of the deadlock [6-8]. The expert system collects an appropriate information about a planned experiment from a user, transforms the information during a data process driven by a knowledge

database and subsequently offers a prepared expertise: suggested experimental design, recommended data analysis methods and applicable software programs.

The advising expert system DAX supports design of experiments process (Fig.1.). It was built in the years 2000-2002 in team led by Z. Polański [6-7]. The system knowledge database contains 720 typical experimental designs and inference rules for designs selection. During dialog session the system asks user about planned experiment and then a selection filter is constructed basing on obtained answers (Fig.2.). An expertise is the results of the system's work: list of recommended experimental designs which fulfil formal requirements of planned experiment. The user may subsequently choose one of the recommended designs as a best fitting of his non-described requirements.

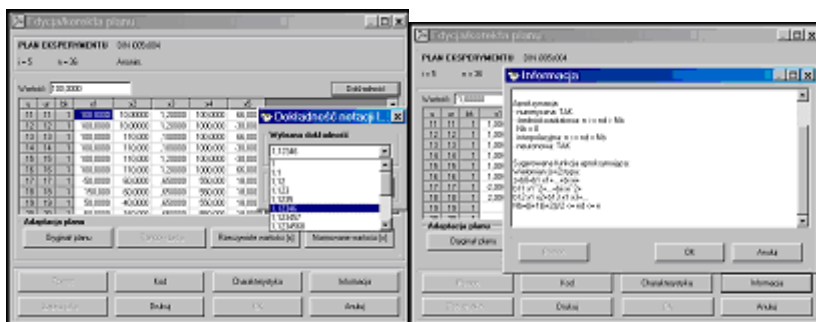


Fig.1. Example screenshots of DAX expert system

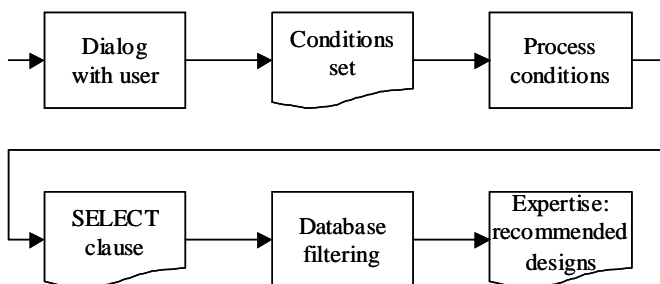


Fig.2. Workflow of DAX expert system

### 3. Experimental designs' attribute model

All experimental designs collected in the knowledge database is described as point in 16-dimensioned attribute space according to more important feature. The features are as following:

- a) star point value ALFA – describing position of a star point in a design; allowable values are: non applicable, real value greater than 1,
- b) recommended programs ZP – suggesting software programs for further data analysis; allowable values are: non suggestion, STATISTICA, Design-Expert, CADEX:ESDET, InDE-F, universal (Mathematica),
- c) investigation aim CB – describing intentional aim of investigation; allowable values are: non applicable, model identification, screening without model identification, screening with model identification, empirical optimisation,
- d) input factors characteristic XOB – classification of input factors; allowable values are: lack of information, numerical and independent, numerical and dependent, compound of both, categorical and numerical,
- e) remarks COM – short verbal of coded remarks; allowable values are: lack of remarks, verbal remarks, specialized design for empirical optimisation, specialized intelligent (smart) design,
- f) input factors quantification DWW – factors quantification characteristic; allowable values are: lack of information, consistent with the design, regular, Steinhaus'es, normative, orthogonal, Tschebyshev's, random, intelligent, arbitrary,
- g) composite feature KP – information of design ability for staging; allowable values are: non-composite design, composite design,
- h) replication outside centre R – information about existence of outside centre replications; allowable values are: non existed in design, existed in design,
- i) restricting functions WM – information about additional restrictions; allowable values are: lack of restrictions, constant sum condition (mixtures), individual restricting functions,
- j) number of centre cases NO – information about number of cases in the centre of design; allowable values are: non-negative integers,
- k) number of levels NX – number of input factors values; allowable values are: integers greater than 1,
- l) number of blocks B – maximum number of blocks which may be considered in the design; allowable values are: positive integers,
- m) different cases number ND – number typically equal to number of design cases; it may be different in designs with explicitly specified replications; allowable values are: positive integers,
- n) design cases number N – number of all explicitly specified design cases including explicitly specified replications; allowable values are: positive integers,
- o) approximating model FOB – recommended function for data forecasting; allowable values are: lack of recommendation, indeterminable, linear, full quadratic, linear with two-way interactions,

linear-quadratic, particular polynomial, cubic spline, reduced polynomial,

- p) number of input factors  $I$  – number of factors considered in the specified experimental design; allowable values are: positive integers.

#### 4. Experimental designs' filtering

The final descriptor obtained after the last question-answer pair processing is transformed into selection filter. The filter selects experimental designs into the final expertise basing on the design features values included in the knowledge database. The selection filter is created in SQL query language as very complex WHERE phrase of SELECT clause. The WHERE phrase is constructed by a conjunction of conditions related to particular design features. The conditions may be defined in different forms as selectors of particular values, ranged values (for numerical features) or sets (for categorical features). Particular WHERE phrases are sorted for faster selection (Fig.3.). The sorting criterion depends on the internal knowledge database structure.

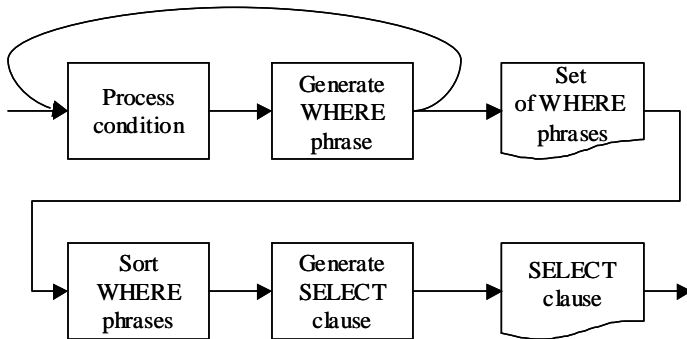


Fig.3. Detailed structure of filter generation process

There was tested alternative filtering system basing on active step-by-step selection driven directly by inference engine. It was found as ineffective due to required temporary buffering database views. Constructing complete SELECT clause with even large WHERE phrase was found as more effective because specialized database engine is faster in processing SELECT clause and temporary objects.

Currently, the system is transformed into fuzzy inference engine [5]. As the first step, the inference process is described in rough systems terms [9]. It allows, as the second step, to add fuzzy memberships [10] describing weighted

upper and lower approximation of the expertise. Details of this transformation are described in [11].

## 5. Summary

An implementation of an experimental designs filter with simultaneous constructing SELECT clause is presented in this paper. It allows to fast and effective processing even large set of conditions collected during a dialog with a user. Obtained conditions are iteratively transformed into WHERE phrases, sorted for more effectively searching and sent into the knowledge database. Proposed filter was compared with alternative and it was found as more effective.

## References

- [1] Montgomery D.C., *Design and analysis of experiments*, John Wiley and Sons, New York 1997.
- [2] Box G.E.P., Draper N.R., *Empirical model-building and response surface*, John Wiley and Sons, New York, 1987.
- [3] Myers R.H., Montgomery D.C., *Response Surface Methodology*, John Wiley and Sons, New York, 1995.
- [4] John P.W.M., *Statistical Design and Analysis of Experiments*, SIAM, Philadelphia, 1998.
- [5] Rutkowski L., *Methods and techniques of artificial intelligence*, WNT, Warszawa, 2006. [in Polish]
- [6] Polański Z., Pietraszek J., Gorecka-Polańska R., 2003, *An expert system for the design and analysis of experiments*, Computer aided metrology, eds, Przybysz Cz. et al., 3 (2003) 11-16. [in Polish]
- [7] Pietraszek J., Polański Z., *An expert system for computer aided selection of experimental designs*, Proc. of 7<sup>th</sup> World Congress on Computational Mechanics (WCCM VII, 2006), Los Angeles, California, July 16-22, 2006.
- [8] Dobrzański L.A., Madejski J., *Prototype of an expert system for selection of coatings for metals*, Journal of Materials Processing Technology, 175 (1-3) (2006) 163-172.
- [9] Pawlak Z., *Rough sets*, Proc. on Intn'l. J. of Inf. and Comp. Sci., 11 (1982) 341.
- [10] Pedrycz W., *Shadowed sets: bridging fuzzy and rough sets*, *Rough Fuzzy Hybridization, A New Trend in Decision-Making*, eds, Pal S.K., Skowron A., Springer Verlag, Singapore, 1999, 179-199.

[11] Pietraszek J., *Rough set formalization of an inference process in a DOE supporting expert system*, Computer Methods in Materials Science (accepted).

## **OBJECT STRUCTURE AND DEPENDENCIES OF THE KNOWLEDGE DATABASE FEATURE DYNAMIC FILTER**

*Jacek PIETRASZEK*

*Cracow University of Technology, Institute of Computing Science, pmpietra@mech.pk.edu.pl*

### **1. Introduction**

The paper presents an implementation of a dynamically created database filter for filtering experimental design during a session with the DOE advising expert system [1,2]. Decision support for an investigator through the process of experiment designing is the main purpose of the system. The key element of the system is a module transforming data gathered from the user into the proper SQL selection filtering the system knowledge database.

The selection is executed over the database containing 720 experimental designs described by 16 attributes with values of number or text. It means that fitting process may long and time-consuming. Each of attributes has assigned an object describing behaviour of related WHERE sub-phrase of SELECT clause. Some of actions are very similar and may be described as an abstract of the same messages. The intersection of the objects' set defines a root class: a general condition. The particular objects are defined as a instantiation of the derived classes with specialised attributes and behaviours.

The DAX system's expertise is a set of recommended experimental designs fitting users' demands and assumptions. The proper structure of the class implementation decides whether search process is slow or fast. The structure and details of classes tree is presented in the full text.

The paper is primarily addressed to developers and users of expert systems. The second addressee are statisticians and knowledge engineers preparing experimental designs and information for knowledge database.

### **2. Filtering necessity – background**

The expert system collects an appropriate information about a planned experiment from a user, transforms the information during a data process driven by a knowledge database and subsequently offers a prepared expertise:

suggested experimental design, recommended data analysis methods and applicable software programs. The advising expert system DAX supports design of experiments process. The system knowledge database contains 720 typical experimental designs and inference rules for designs selection. Every experimental design is described by 16 attributes [3]. Attributes are qualitative and quantitative. Qualitative attributes may be valued as one category or set of categories. Quantitative attributes may be valued as one numeric value or range of values.

During dialog session the system asks user about planned experiment and then a selection filter is constructed basing on obtained answers (Fig.1.). An expertise is the results of the system's work: list of recommended experimental designs which fulfil formal requirements of planned experiment. The user may subsequently choose one of the recommended designs as a best fitting of his non-described requirements.

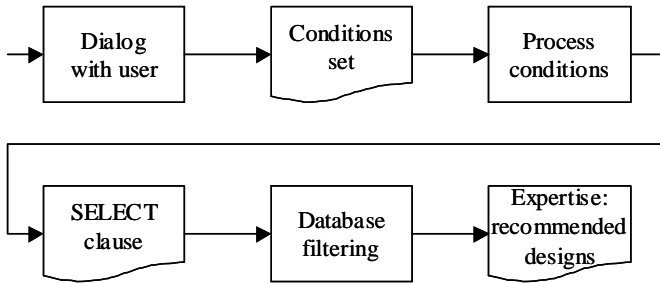


Fig.1. Workflow of DAX expert system

The final descriptor obtained after the last question-answer pair processing is transformed into selection filter. The selection filter is created in SQL query language as very complex WHERE phrase of SELECT clause. There was tested alternative filtering system basing on active step-by-step selection driven directly by inference engine. It was found as ineffective due to required temporary buffering database views. Constructing complete SELECT clause with even large WHERE phrase was found as more effective because specialized database engine is faster in processing SELECT clause and temporary objects. The class structure and workflow of WHERE phrases generators are described in the next chapter utilizing UML formalism [5,6].

### 3. Class structure of WHERE phrases generators

The base data structure is generic class *clsDecision* (Fig.2) holding answer obtained from a dialog with a user. This class has attributes describing position in decision sequence, chosen variant of possible answers and three

numeric field: one real and two integers. Obtained decisions are collected as members of collection *clsDecisionSequence*. This hierarchic structure allows to keep all states and makes possible to do backward step (*undo* operation).

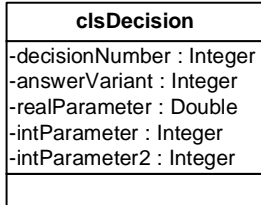


Fig.2. *clsDecision* class holding information about user decision

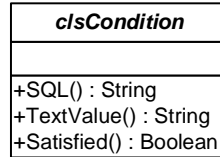


Fig.3. *clsCondition* class holding information gathered from user decision

Another base data structure is generic abstract class *clsCondition* (Fig.3). This class exposes basic functionality for more specialized conditions related to experimental designs' attributes. There are 20 specialized conditions derived from *clsCondition*, augmented with local hidden fields and functions. As for *clsDecision*, there is collection *clsConditionsSet* holding all defined conditions and exposing management functionality: adding, deleting, iteration. The class exposes also the most important functionality from filtering point of view: SQL clause generator. The functionality is available through function *SQL()*. The function takes iteratively all conditions contained in collection, processes their data and generates individual WHERE phrase. Generated phrases are concatenated to the SELECT clause. At last the complete SELECT clause is returned as a result.

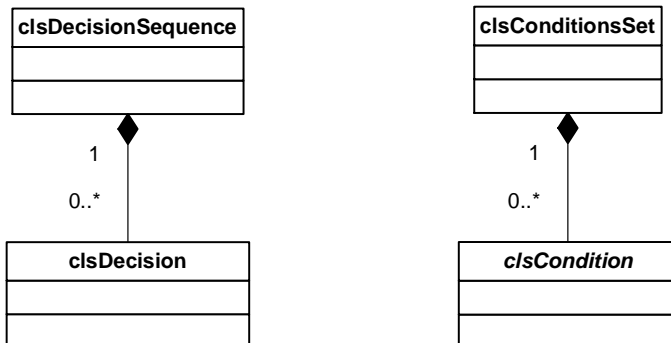


Fig.4. Aggregating structure of *clsDecisionSequence* and *clsDecision*

Fig.5. Aggregating structure of *clsConditionsSet* and *clsCondition*

Obtained decision collected in *clsDecisionSequence* are processed by an object instantiated from *clsDecisionAnalyzer*. The class exposes two basic functionalities: *CreateCondition* taking a separate decision and producing related condition, and the second – *CreateConditionsSet* taking a decisions' collection and producing related conditions' collection. Auxiliary functionality *ConsolidateConditions* is available for performing concatenation of conditions' collections. *ClassAnalyzer* is responsible for precise transforming of data obtained from a user into conditions related to experimental designs' attributes.

<b>clsDecisionAnalyzer</b>
+CreateCondition(wartość aDecision : dsDecision) : dsCondition +CreateConditionsSet(wartość aDecisions : dsDecisionSequence) : dsDecisionSequence +ConsolidateConditions(wartość aSet1 : dsConditionsSet, wartość aSet2 : dsConditionsSet) : dsConditionsSet

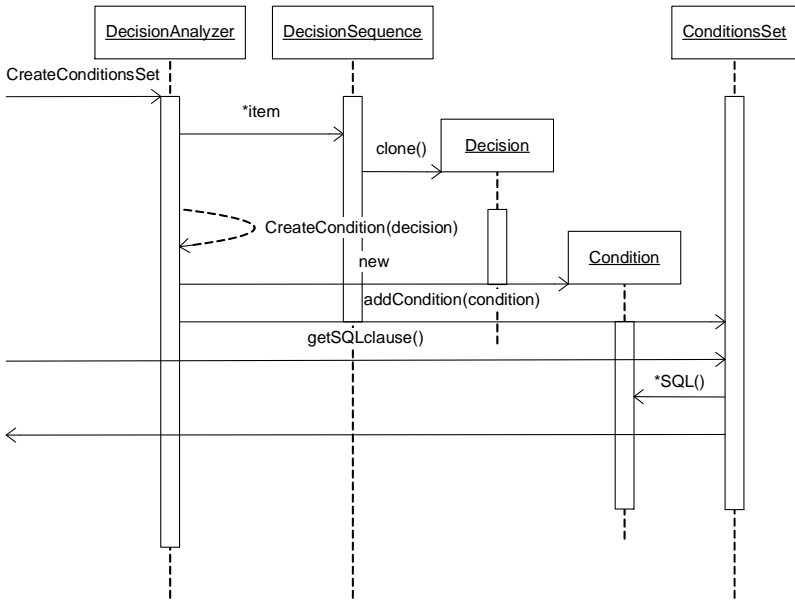
Fig.6. Structure of *clsDecisionAnalyzer* exposing basic functionality of dynamic filtering

#### 4. Interactions between generator internal objects

All objects being parts of generator interacts (Fig.7) in the process of transforming decisions into conditions, and next, into SQL clause. All action starts from a message *CreateConditionSet* addressed to *DecisionAnalyzer* while *DecisionSequence* is a parameter of this message. Next, *DecisionAnalyzer* iterates its activity over all decision contained in *DecisionSequence*. In the body of the loop, a decision is retrieved from a collection and processed in polymorphic action *CreateCondition*. As a result a related condition is obtained. The condition is then stored in *ConditionsSet*. *CreateConditionSet* ends after processing the last decision. All generated conditions are stored in *ConditionsSet*.

The next activity is started after receiving a message *getSQLclause()* addressed to *ConditionsSet*. The collection iteratively processes all owned conditions and generates related WHERE phrases. Each of generated WHERE phrase is concatenated to the SELECT overhead and constitutes more and more complicated SQL query. After processing the last condition, the constructed SQL clause is returned to the caller as a complex text string. The string may be next sent to ADO Connection object – connection with the knowledge database

is still hold. Probably, in a future implementations, ADO object will be replaced with ADO.NET allowing off-line and not connected processing.



**Fig.7. Interaction diagram of WHERE phrases generator**

## 5. Summary

An implementation of an experimental designs filter with simultaneous constructing SELECT clause is presented in this paper. It allows to fast and effective processing even large set of conditions collected during a dialog with a user. Obtained conditions are iteratively transformed into WHERE phrases, sorted for more effectively searching and sent into the knowledge database. Structure of class hierarchy and sequence diagram are presented with detailed discussion.

## References

- [1] Polański Z., Pietraszek J., Górecka-Polańska R., 2003, *An expert system for the design and analysis of experiments*, Computer aided metrology, eds, Przybysz Cz. et al., 3 (2003) 11-16. [in Polish]
- [2] Pietraszek J., Polański Z., *An expert system for computer aided selection of experimental designs*, Proc. of 7<sup>th</sup> World Congress on

Computational Mechanics (WCCM VII, 2006), Los Angeles, California, July 16-22, 2006.

- [3] Pietraszek J., *Rough set formalization of an inference process in a DOE supporting expert system*, Computer Methods in Materials Science (accepted).
- [5] Fowler M., *UML distilled*, Addison-Wesley, Reading 1997.
- [6] Booch G., Rumbaugh J., Jacobson I., *The Unified Modeling Language, User Guide*, Addison-Wesley, Reading, 1999.

## ВИЗНАЧЕННЯ ТЕМПЕРАТУРНОГО РОЗПОДІЛУ В ГЕРМОМОДУЛЯХ ПРИ ТЕРМОУДАРАХ

*Петрачук С.А., Ковтун І.І.  
Хмельницький національний університет*

Значна кількість конструкцій сучасних електронних пристроїв являють собою заполімеризований брусок компаунда з чисельними включеннями у вигляді різномірних елементів, плат із контактними виводами (рис.1). І однією з характерних причин відмов таких пристроїв є високий рівень температурних навантажень на етапах виробництва і експлуатації. Готові гермомодулі у відповідності до технічних умов ще на стадії виробництва піддають випробуванням. Найбільш жорсткими випробуваннями для гермомодулів є випробування термоударами, коли при швидкому охолодженні (нагріванні) виникають додаткові механічні напруження, спричинені нерівномірністю розподілення температури. Причина виникнення таких напружень пояснюється тим, що більш нагріті ділянки прагнуть розширитись, проте менш нагріті перешкоджають цьому. При рівномірному розподілі температурного поля по об'єму всього гермомодуля (при сталому перепаді температур) ці температурні напруження дорівнюють нулю.

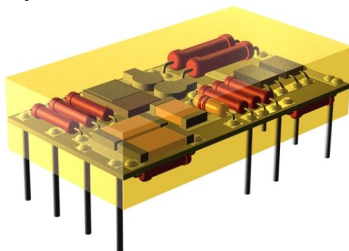


Рис. 1. Гермомодуль

Напруження від нерівномірності розподілення температури накладаються на напруження, спричинені різними коефіцієнтами лінійного розширення матеріалів конструкцій, і можуть бути причиною руйнування. Тому при повному аналізі механічних напружень, що виникають при термоударі, необхідно враховувати розподілення температур в елементах конструкцій.

Оскільки деталі і вузли радіоелектроніки в реальних умовах працюють в умовах несталих (тобто нестационарних) температур, у статті розглянуто розв'язання нестационарної задачі теплопровідності в об'ємі всього компаундованого гермомодуля. Запропонована математична модель розрахунку температурних полів в об'ємі гермомодуля на основі введення “ефективних параметрів” [1], які враховують неоднорідність матеріалу гермомодуля, що складається з множини різнорідних компонентів: різноманітних електронних елементів і компаунду. Так, коефіцієнт температуропровідності [2] всього гермомодуля, як ефективний параметр, визначається за формулою:

$$\chi = \sum_{i=1}^n v_i \chi_i, \quad (1)$$

де  $v_i = \frac{V_i}{V}$ , ( $i = 1, 2, \dots, n$ ),  $V_i$  – об'єм, який займає  $i$ -тий компонент гермомодуля ( $m^3$ ),  $V$  – об'єм всього гермомодуля,  $\chi_i$  – коефіцієнт температуропровідності відповідного компонента ( $m^2/ч$ ).

Для компаундованого гермомодуля у вигляді прямокутного паралелепіпеда з початком координат у точці перетину діагоналей і координатних осей вздовж його головних осей інерції, і розмірами  $-a \leq x \leq a$ ,  $-b \leq y \leq b$ ,  $-c \leq z \leq c$  (рис.2) розв'язання задачі теплопровідності має вид:

$$t = (t_0 - t_1) \cdot \Phi_1 \left( \frac{a - |x|}{2\sqrt{\chi \cdot \tau}} \right) \cdot \Phi_2 \left( \frac{b - |y|}{2\sqrt{\chi \cdot \tau}} \right) \cdot \Phi_3 \left( \frac{c - |z|}{2\sqrt{\chi \cdot \tau}} \right) + t_1, \quad (2)$$

де  $t_0$  – початкова температура тіла,  $t_1$  – температура навколишнього середовища,  $\Phi_1, \Phi_2, \Phi_3$  – функції Лапласа,  $\tau$  – час.

Математична модель дає можливість визначати температури в різні моменти часу і у любых точках твердого тіла.

На рис. 3 показаний температурний розподіл у горизонтальному перерізі гермомодуля ЖУ5.760.001 при його переносі з максимально додатної температури  $t_0$  у максимальну

від'ємну  $t_1$  (у нашому випадку з  $+70^{\circ}\text{C}$  в  $-60^{\circ}\text{C}$ ). Ізотерми побудовані в різні моменти часу аж до повного остигання гермомодуля.

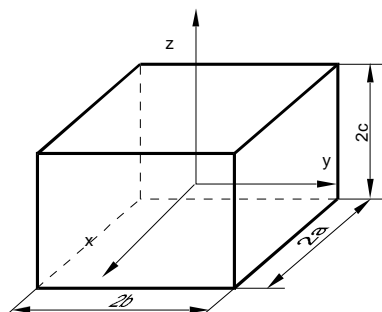
Розрахунок проводився при парціальному об'ємі компаунда (марки ЕЗК-25)  $V_1=1576 \text{ мм}^3$  та об'ємі електронних елементів  $V_2=776 \text{ мм}^3$ . Фізико-механічні характеристики матеріалів компаунда і кераміки резисторів наведені в таблиці 1.

Таблиця 1

Фізико-механічні характеристики матеріалів компаундованого гермомодуля

Матеріал	Щільність $\rho$ , $\text{кг/м}^3$	Питома теплоємність $C$ , $\text{Вт}\cdot\text{год/кг}\cdot\text{град}$	Коефіцієнт теплопровідності $K$ , $\text{Вт/м}\cdot\text{град}$	Коефіцієнт температуропровідності $\chi$ , $\text{мм}^2/\text{с}$
Компаунд ЕЗК-25	1600	0,395	0,33	0,414
Кераміка резисторів	2000	0,253	0,837	0,18

На рис. 4 представлено графік зміни температури з часом в центрі гермомодуля.



**Рис. 2.** Схематичне зображення гермомодуля

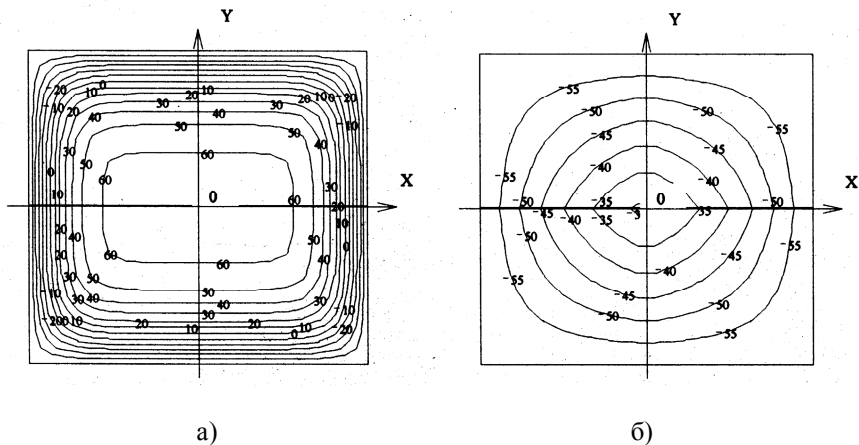


Рис. 3. Ізотерми для горизонтального перерізу гермомодуля в моменти часу  $\tau=8\text{с}$  (а),  $\tau=200\text{с}$  (б).

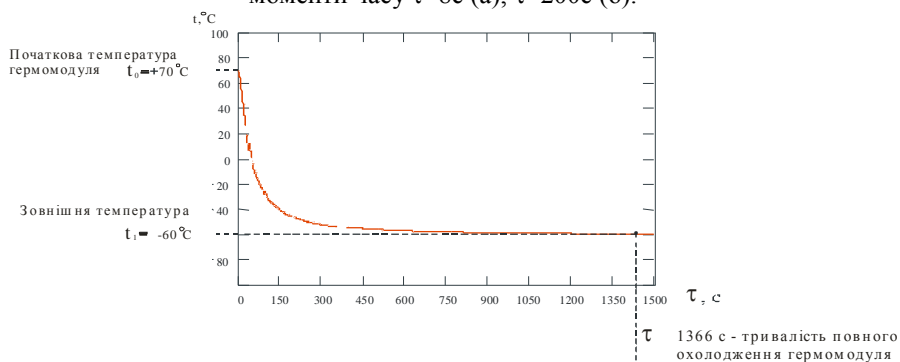


Рис. 4 Зміна температури з часом в центрі гермомодуля.

У результаті розрахунків отримано, що практично повне остигання гермомодуля відбувається через 1366 с або 22,7 хв. Проведені експерименти свідчать, що середній час остигання гермомодуля - 1160 с (19,33 хв.) і це мало відрізняється від розрахованого. Але у виробничому процесі при технологічному тренуванні гермомодулів термоударами час остигання (нагрівання) гермомодуля складає 1 годину: спочатку виріб поміщають у камеру тепла, а потім переносять у камеру холоду (час переносу обмежується секундами), витримка виробів у камерах проводиться до досягнення

тепловой рівноваги (1 год.). Загальна кількість термоциклів, як правило, дорівнює трьом. Вважається, що в результаті цього тренування виявляються приховані конструктивні дефекти і відбраковуються потенційно ненадійні вироби.

Таким чином, розраховуючи температурне поле гермомодуля, яке змінюється в часі, можна оптимізувати технологічний час проведення термоудару при виробництві гермомодулів. Так, у наведеному вище випадку, замість годинної витримки гермомодулів при  $+70^{\circ}\text{C}$  і  $-60^{\circ}\text{C}$  модулі можна витримувати не більше 23-25 хв.

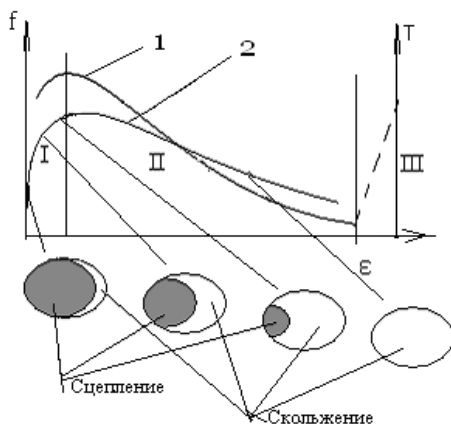
### **Література:**

1. Зельдович Я.Б. // Журнал физ. химии. -1939. - Т.13. -С. 163-167.
2. Камбург В.Г., Ковтун И.И., Петрашук С.А. Влияние температуры на механическую прочность пассивных электронных компонентов, герметизируемых компаундом // Надежность и качество. Книга трудов международного симпозиума. - Пенза: Изд-во Пенз. гос. ун-та. - 2000. - С. 348 - 351.

## **ОСОБЕННОСТИ НАГРУЖЕННОСТИ И ПОВРЕЖДАЕМОСТИ КОЛЕСА И РЕЛЬСА**

*Туманишвили Г. И., Звиадаური В. С., Челидзе М. А.  
Институт Механики Машин, ул. Сандро Зули, 8, 0186, Тбилиси, Грузия  
Тел. 32-11-65, 987-002-073, 53-52-13; [gtumanishvili@yahoo.com](mailto:gtumanishvili@yahoo.com)*

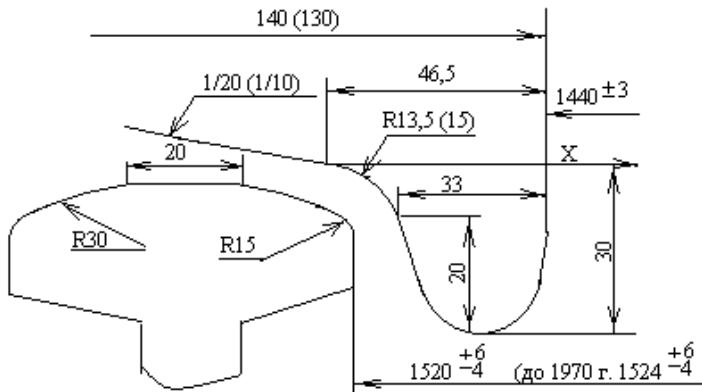
При движении экипажа, качение колеса по рельсу сопровождается проскальзыванием, что связано с повышением силовой и тепловой нагруженности конгтакта. Характерной особенностью взаимодействия поверхностей катания колеса и рельса являются повышенные значения коэффициента трения (обычно выше 0,3). При неустановившемся режиме движения это приводит к повышенным значениям напряжений сдвига приповерхностных слоёв. При отсутствии крутящего момента проскальзывание колеса



**Рис. 1.** Графики зависимости коэффициента трения скольжения ( $f$ ) при качении со скольжением тел (1) и силы тяги (2) ( $T$ ) от относительной скорости скольжения ( $\epsilon$ )

минимально. С повышением крутящего момента сила и коэффициент трения (сцепление поверхностей) возрастают (рис. 1, зона I), достигая максимальных значений. Этому соответствует максимальная сила тяги (рис. 1, кривая 2). Дальнейшее увеличение относительной скорости скольжения приводит к уменьшению коэффициента трения (рис. 1, кривая 1, зона II) и силы тяги. При распространении зоны проскальзывания по всей поверхности контакта сила (коэффициент) трения уменьшается, начинается скольжение колеса по рельсу (боксование) и после чего может произойти его резкое увеличение, сопровождаемое признаками, характерными для заедания.

Важную роль в нагруженности и повреждаемости рельсов и колёс играют кинематические и геометрические особенности их контактирования. На рис.2 приведены профили и взаимное расположение рельсов и колёс по стандарту бывшего СССР а на рис. 3 - количество снятых ( $N_{сн}$ ) (1) и переточенных ( $N_{пер.}$ ) (2) с электровозов колёсных пар по месяцам из-за предельного износа рёбер колёс. Для ширины колеи 1520 мм контакт колеса с рельсом осуществляется в основном по переходной кривой. Это приводит к качению с проскальзыванием поверхностей и к соответствующим негативным явлениям.



**Рис.2. Профили и взаимное расположение рельсов и колёс**

Характерной особенностью взаимодействия контактных поверхностей боковой поверхности головки рельса и ребра колеса является пониженное значение коэффициента трения (не более 0,2). Но относительное проскальзывание приводит к повышению тепловой и силовой нагруженности поверхностных слоёв контакта (температура в зоне контакта может превысить  $800^{\circ}\text{C}$ , а напряжение может достичь напряжения текучести).

Зависимость радиуса колеса ( $R$ ) от координаты ( $x$ ) на переходной кривой, угла наклона касательной ( $\beta$ ) на переходной кривой ( $r$ ) от координаты контакта ( $x$ ) контакта и пути трения ( $L$ ) при одном обороте колеса имеют вид:

$$R = R_1 + k = R_1 + r - \sqrt{r^2 - x^2} \quad ; \quad L = 2R \arccos \frac{R_1}{R} ;$$

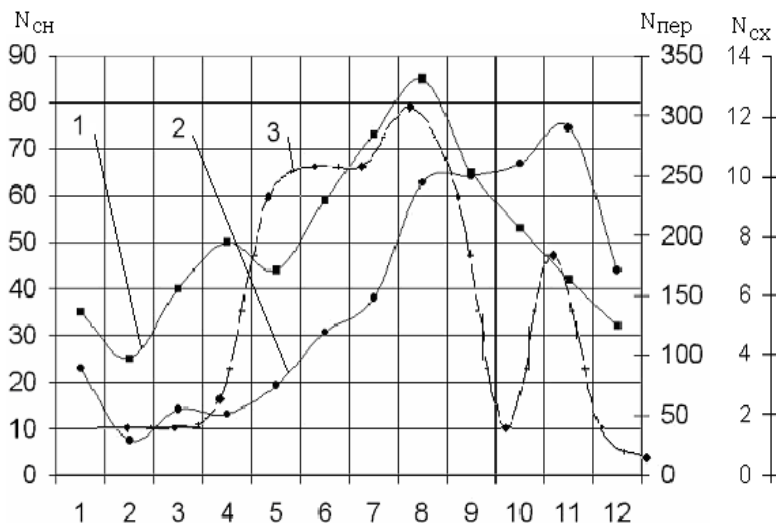


Рис. 3. Графики показывающие количество снятых с электровозов колёсных пар ( $N_{сн}$ ) (1) по месяцам из-за предельного износа рёбер в 2001 г. в Тбилисском локомотивном депо, переточенных ( $N_{пер}$ ) из-за износа рёбер (2) в Улан-Баторской железной дороге (1988 – 89 гг. бывшая СССР) и количества сошедших с рельсов порожних вагонов (3) по месяцам в 1999 – 2001 гг. на Российской железной дороге.

## MODELLING OF CREEP PROCESS LEADING TO RUPTURE FOR P91 STEEL MATERIAL

*Przemyslaw Osocha*

*Cracow University of Technology, Faculty of Mechanical Engineering  
al. Jana Pawła II 37, PL-31-864 Krakow, Poland  
e-mail: osocha@mech.pk.edu.pl*

### 1. Introduction

Predicting the residual life of elements that have been in service for many years is especially important for companies that cannot replace existing installations for economical or technological reasons [6]. Accurate residual life assessment is

the key for optimization of expenses due to both unscheduled outages caused by failures and too early unnecessary replacements.

The following paper presents methods of residual life prediction based on mathematical modeling of creep till failure. To understand and describe creep processes a lot of material experiments have been conducted, eg. the uniaxial creep strain tests under constant stress or load. Mathematical creep process description is more complicated than the one for elasticity or plasticity. It depends not only on stress, (creep) strain and temperature but also on time and creep rate. It is very important to identify functions which would best fit creep strain test data [5]. They are the fundament for creating theoretical descriptions of wear process and the base for analyzing complex stress states. The most valuable are creep equations, which have connections with physical aspects of creep process [4]. Such an equation describing creep strain depending on time and stress for chosen temperature will be presented below.

## 2. Modelling all stages of creep

Soderberg equation and many other formulas model very well the I and II creep stage. But it is important to model III stage as well. The third stage of creep is the last one and leads directly to failure, and as such was often not taken into consideration.

But the III creep stage should be taken into account for many reasons. First of all, we have the creep strain experimental data which are often rupture tests. Nowadays, it is much easier to analyze such data with the computers' help. What's more, the third stage creep not necessarily leads to an immediate element failure. In thick walled pressure elements, the third stage creep processes may take part only in some fragments of the element. That processes may lead even to the element life prolongation due to reduction of maximum stresses.

For modelling creep strain in the all three stages of creep process Eq.(1) is proposed [8]. The equation is based on Soderberg model describing first and second creep stage. But it is extended by proposed in this paper element describing third creep stage (Fig. 1).

$$\varepsilon^c = A \left( 1 - \exp\left(-\frac{t}{t_{II}}\right) \right) + \dot{\varepsilon}_{\min} t + \exp\left(-\left(\frac{t}{t_r}\right)^{-K}\right)^M \quad (1)$$

For the Eq.(1):  $\varepsilon^c$  is creep strain,  $t$  is time, and  $A$ ,  $t_{II}$ ,  $\dot{\varepsilon}_{\min}$ ,  $t_r$ ,  $K$ ,  $M$  are experimental constants. Parameter  $t_{II}$  describes approximate time (in hours) when the second creep stage begins. Parameter  $\dot{\varepsilon}_{\min}$  (-) is minimum creep rate, which means creep rate in second creep stage, when the process is stable. Parameter  $t_r$  (hours) represents time to rupture, which is well described and relatively easy to obtain from rupture tests and data tables for given material. Parameters  $K$ ,  $M$  describe intensity of rupture process.

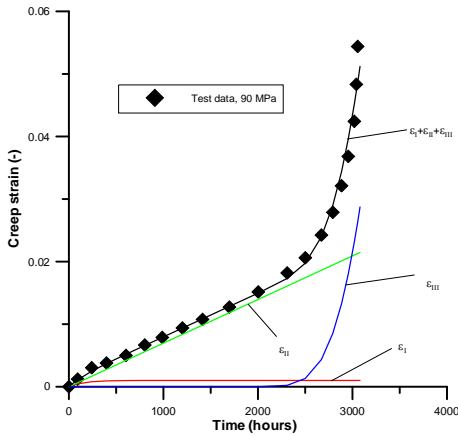


Figure 1. Uniaxial creep strain test data and fitted curve, elements of fitting function are shown

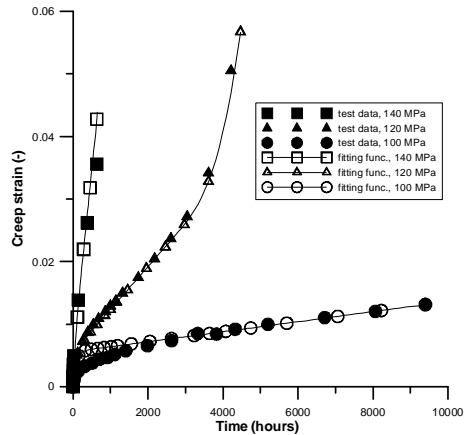


Figure 2. Tested and fit uniaxial creep strain curves,  $T=600^{\circ}\text{C}$  [7]

Effects are presented in Fig.1, test data [7] and fitting curve [8] calculated with proposed equations.

### 3. Stress influence

Creep processes take place in the materials exhibited to high temperatures and loads in the long time period. In real element calculations, the influence of stress and temperature could not be neglected. In operating thick-walled vessel element there is a range of stress values. Also at start-up and shut down [3] processes there is a range of temperatures in the

element [2]. So, the creep strain curve depends on all these parameters. The creep takes place in long time period, when the installation works at designed operating parameters, eg. at given uniform temperature, so temperature change can be ignored, and creep strain curve modelled only for that selected operating temperature value. But stress influence cannot be omitted in calculations.

Below in this paper it will be presented how to take into account the stress influence on the creep strain curve. Eq.(1) will be modified to describe three dimensional dependency of the creep strain versus time and stress. Time to rupture depends on the stress, this dependency could be modelled by Eq.(2).

$$t_r = \exp(a + b \cdot \ln(\sigma + 1)^2) \quad (2)$$

The minimal creep rate depends on the stress value, Eq.(3) presents the proposed function describing this dependency.

$$\dot{\epsilon}_{\min} = \exp(c \sigma - d) \quad (3)$$

Parameters  $a$ ,  $b$ ,  $c$ ,  $d$  are experimental constants and can be estimated using computer calculations (Levenberg-Marquardt algorithm) based on data from creep tests [8].

#### 4. Creep strain function of time and stress

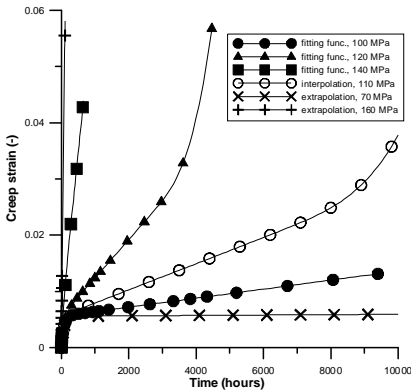
Time to rupture and the minimal creep rate calculated respectively by Eq. (2) and Eq. (3) may be then used in Eq.(1) to describe the overall change of the creep strain versus time and stress. This is the formula proposed in that paper for FE calculations of the creep wear and rupture.

Figure 2 presents uniaxial creep strain test data [7] for P91 steel material and lines of function interpolating test data. As it can be seen, one function quite well fits all creep strain test data for different stress values. Table 1 contains parameters of Eq.(1) fitting test data for P91 steel at temperature 600°C. The presented equation with these values can be used to create FE model for complex creep analysis.

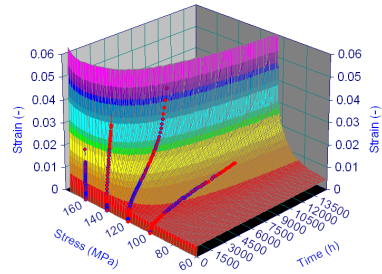
Table 1. Material constants of model Eqs.(1,2,3),  $\sigma$  (MPa),  $T = 600(^{\circ}\text{C})$ ,  $t_r$  (hours)

Constant	$A$	$t_{II}$	$K$	$M$	$a$	$b$	$c$	$d$
Value	0.0056	80.0000	2.0000	4.0000	33.7800	-1.1040	0.1069	24.7346

The presented equation not only fits the test data very well, but it also has a good interpolation characteristic, and even extrapolation is congruent with expectable material behavior (Fig.3).



**Figure 3. Fitted, interpolated and extrapolated creep strain curves**



**Figure 4. Uniaxial creep strain  $\varepsilon$  (-) surface versus time  $t$  (hours) and stress  $\sigma$  (MPa); uniaxial creep strain test data points**

Figure 4 shows 3 dimensional surface created by the proposed function and also test data shown on the surface. The figure presents wide extrapolation of ranges, for both time and stress axis'. It can be noticed that for high stress values the creep strain surface becomes almost vertical, while for lower stress values it is near a zero value. For long time and low stress values, the creep strain does not rise. The function models the material properties as expected.

## 5. Conclusions

The paper discusses several problems. The Equations (1,2,3) describing the creep strain change depending on time and stress for selected temperature were proposed. The

parameters of equation are based on physical values taken from uniaxial creep strain tests. Residual life prediction is possible based on FE simulation of the element in III creep stage.

The approximation of material test data with mathematical equations is useful and recommended, especially if equation coefficients describe real physical material parameters. Computer and FE software capabilities, which have significantly increased recently, allow for a complicated analysis. The implementation of FE methods [1] may give faster and more accurate solutions than analytic methods, especially for complex geometry.

## References

- [1] ANSYS User's Manual, Revision 5.7 A.
- [2] Duda P., Osocha P., Grądziel S., Węglowski B., *Monitoring of Thermal-Strength State In Thick-Walled Pressure Elements*, Heat Transfer and Renewable Sources of Energy 2004, J. Mikielwicz and W. Nowak (editors), pp.485-492,
- [3] Duda P., Taler J., Roos E., *Inverse Method for Temperature and Stress Monitoring in Complex-Shape-Bodies*, Nuclear Engineering and Design, 227, (2004), pp. 331-347.
- [4] Jakowluk A.: *Procesy pełzania i zmęczenia w materiałach*, WNT, Warszawa 1993 (in Polish).
- [5] Łopata S.: *Model matematyczny pełzania rurociągów parowych*, Prace IMiUE Politechniki Śląskiej, IX Konferencja Kotłowa, 2002, pp. 233-242 (in Polish).
- [6] Młynarski F., Taler J.: *Residua Life assessment for boiler pressure components based on measurements of creep strain*, Journal of Pressure Vessel Technology, Vol. 110, August 1988, pp. 308-313.
- [7] ODIN (2008) *Materials Database (Mat-DB)*. In: Online Data & Information Network for Energy. European Communities. Available via European Commission Joint Research Centre (JRC). <https://odin.jrc.ec.europa.eu/> Accessed 24 Oct 2008

- [8] Osocha P., Węglowski B.: *Residual life prediction of selected thick-walled pressure elements in power plants*, EngOpt 2008 - International Conference on Eng. Optim., Rio de Janeiro, Brazil, 2008.

## **METHODS OF CYCLIC WORN CALCULATION FOR THICK WALLED PRESSURE PIPE ELEMENTS**

*Przemysław Osocha*

*Cracow University of Technology, Faculty of Mechanical Engineering  
al. Jana Pawła II 37, PL-31-864 Krakow, Poland  
e-mail: osocha@mech.pk.edu.pl*

### **Abstract**

The paper presents methods of low cycle worn calculation. Selection of methods and in deep description will be shown. Application of calculations to thick walled pressure pipeline system of power plant will be discussed. Algorithm and especially prepared for cyclic worn calculations software program will be demonstrated.

*Keywords: Low cycle wear, Rain Flow method, Range Pair method, residual life*

### **1. Introduction**

Thick-walled pressure elements working in high temperatures in power stations, chemical and petrochemical industries are subject to damage as a result of high temperature, mechanical loading and corrosive environment. That factors cause low-cycle wear, thermal fatigue, creep-fatigue and other processes leading to degradation.

For thick-walled pressure pipeline installations working for years, and for well designed new ones, creep process and low-cycle wear should be analyzed. Real large impact on elements fatigue has creep process, but in detailed analysis low-cycle wear could not be neglected. Usually start-ups and shut downs, are periods of operating process when that low-cycle wear takes place.

### *2. Residual life assessment*

Observation of temperature and stress distribution and its change in time for the most temperature loaded elements is important not only for

proper conducting of start-up and shut down processes but also for residual life assessment of pressure elements [3].

Equation (1) proposed by Palmgren and Miner is used by US and German design codes to assess residual life of elements. According to the equation, wear factor is calculated by rule of linear summation of low cycle wear.

$$\sum_{j=1}^p \left( \frac{n}{N_d} \right)_j \leq D_c \quad (1)$$

In Eq.(1)  $D_c$  is damage from low cycle wear,  $n$  stands for cycle count in  $j$  load conditions, and  $N_d$  is allowable cycle count in  $j$  load conditions, see Fig. 1.

### 1. 3. Low cycle wear

Calculated cycle count is used to determine element durability. The amplitude of stress change in one cycle in a stress concentration area have not to exceed allowable value [6] read from charts of allowable stress (Fig. 1).

Allowable stress cycle count depends on stress amplitude and temperature (Fig. 1). Knowing maximal and minimal stress in one load cycle, the maximal allowable cycle number can be determined.

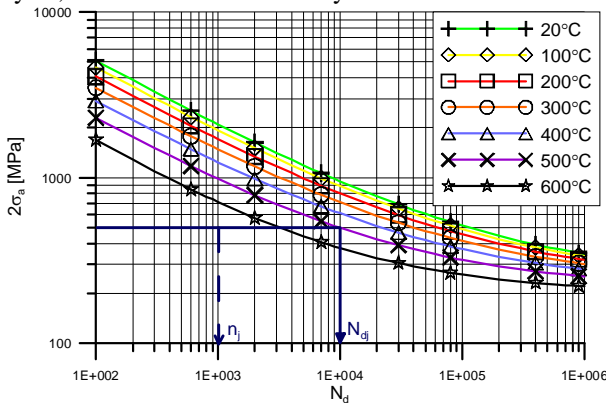


Table 1. Range Pair counted cycle table; complete cycle marked by „+” sign

Range	Cycle count	Load
6	0,5	C-H
5	0	—
4	0	—
3	1,5	D- E+, H-I
2	0	—
1	2	A- B+, F-G+

Fig. 1. Chart of allowable cycle count for given stress and temperature for ferritic steel

#### 4. Load cycle counting methods

Cycle counting is used to summarize, often long term and irregular, history of load change in time. As an effect tabularized data of cycle counts for given load values is prepared. Cycle count could be determined on the base of selected loads change in time history, e.g. forces, stresses, strains, accelerations, bends or other parameters of load.

Different methods of cycle counting are used. Selection of appropriate method depends on method complexity and accuracy of results [2]. There are many different methods, e.g.: peak count, peak-between-mean crossing count, level crossing count, fatigue meter count, range count, range-mean count. Beside mentioned simple methods, there are widely used Rain Flow method and Range Pair method.

##### 4.1. Rain Flow method

Rain Flow method [5] is recognized and commonly used cycle counting method. Its popularity comes from many factors. Method algorithm is relatively simply to use in practical cases, and results of calculations are congruent with observed real material wear.

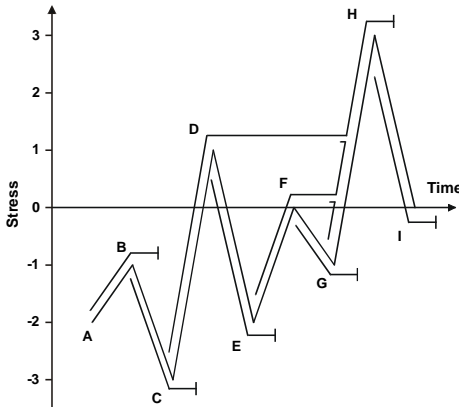


Fig. 2. Rain Flow cycle counting method chart

Table 2. Rain Flow counted cycle table; complete cycle marked by „+” sign

Range	Cycle count	Load
6	0,5	C-H
5	0	—
4	0	—
3	1,5	D- E+, H-I
2	0,5	B-C
1	1,5	A-B, F-G+

The Rain Flow method was introduced for the first time by M. Matsuishi and T. Endo [2], they imagine the method as follows. If you rotate a chart of load history (Fig. 2) clockwise, its shape is similar to a Chinese pagoda roof. On a rainy day, water flows off on subsequent roof parts and drips on lower placed (tab. 2). That's where the method's name came from.

#### 4.2. Range Pair method

Range Pair method is, close after Rain Flow method, the most widely used load cycle counting method. For every load range, there should be found the closest to it in time history range of equal value but of opposite sense.

The essence of the method is to pair load ranges of equal value but of opposite sense. That's where the method's name came from. The basic rules of the method are as follows: load ranges have to be paired, some ranges are continuous, but some may be interrupted by smaller ones (tab. 1).

### 5. Cycle counting software program

To review and analyze different counting methods applied to a range of load histories, we developed the special software presented below in this paper: CCMet – Cyclic Counting Methods (Fig. 3).

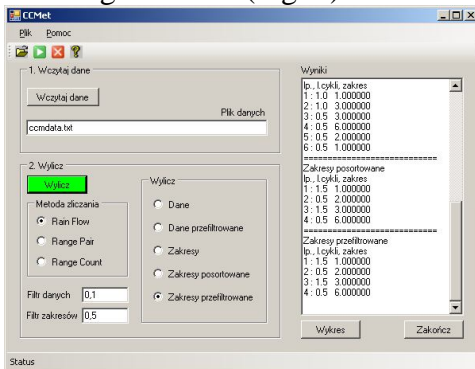


Fig. 3. CCMet program main screen

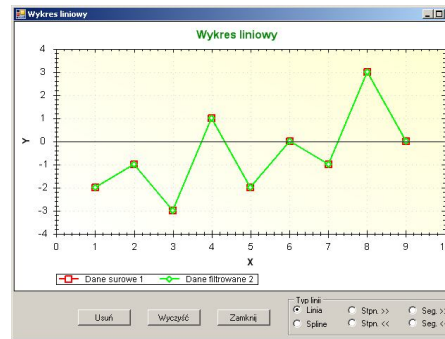


Fig. 4. CCMet program linear graph screen

The program reads different load history data. It uses the most popular methods of Rain Flow, Range Pair and Range Count. Source history data and calculated ranges may be filtered by user adjustable filters. Step by step analysis of data and ranges is possible with numerical values and program generated charts. The program draws a linear chart of load

history data (Fig. 4) and bar chart of calculated ranges. Both charts have many editing options allowing in deep cycle wear analysis.

### Conclusion

Presented cycle counting methods, prepared software (Fig. 3) and described Palmgren-Minner linear damage summation law Eq.(1) with allowable cycle count (Wohler) chart (Fig. 1) for given material, all together allow to determine pressure pipeline element wear. Undertaken steps are key in reliable residual life assessment of power plant installations.

### References

- [1] ASTM Standard E 1049-85, *Standard Practices for Cycle Counting in Fatigue Analysis*, American Society for Testing and Materials, Philadelphia 1985.
- [2] Collins J.A.: *Failure of Materials in Mechanical Design*, A Wiley-Interscience Publications, John Wiley & Sons, New York 1981.
- [3] Cwynar L.: *Rozruch kotłów parowych*, Wydawnictwo Naukowo Techniczne, Warszawa 1981, (in Polish).
- [4] Młynarski F., Taler J.: *Residua Life assessment for boiler pressure components based on measurements of creep strain*, Journal of Pressure Vessel Technology, Vol. 110, August 1988, pp. 308-313.
- [5] Mukhopadhyay N.K. et al.: *On line fatigue life monitoring methodology for power plant components*, Int. J. Pres. Ves. & Piping 60, 1994, pp. 297-306.
- [6] Osocha P., Węglowski B.: *Wpływ naprężeń zmiennych w czasie na trwałość wybranego ciśnieniowego elementu kotła*, VII Konferencja - Problemy Badawcze Energetyki Ciepłej, Prace Naukowe Politechniki Warszawskiej – Mechanika, 211, pp. 163-172, Warszawa 2005, (in Polish).

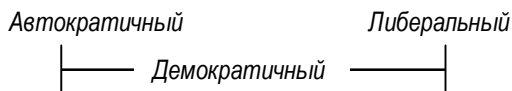
# ЭКОНОМИЧЕСКИЕ И УПРАВЛЕНЧЕСКИЕ ВОПРОСЫ ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА И НАДЕЖНОСТИ

## ЗНАЧЕНИЕ МЕНЕДЖМЕНТА В ОРГАНИЗАЦИИ ПРОИЗВОДСТВА

*Силин Радомир Иванович*  
*Хмельницкий национальный университет*  
*Украина, [silin@mailhub.tup.km.ua](mailto:silin@mailhub.tup.km.ua)*

Человек является коллективным созданием, т.е. для выживания, для улучшения жизни, для выполнения своего предназначения он должен объединяться с себе подобными. В настоящее время, по мере развития, человек все больше начинает понимать, что век одиночек прошел и необходимо создавать группы или организации возглавляемые авторитетными лидерами.

Для управления группами людей, по большому счету, человечество прошло ряд социально общественных формаций: первобытно-общинный строй, рабовладельческий строй, феодальный, капиталистический. Изменение строя шло постепенно с целью увеличения производительности труда для осуществления прогресса. Для организации работы, совершенствования, как самого труда, так и производственных отношений в процессе развития человечество прошло через такие стили управления: авторитарный, либеральный, демократический. Их взаимоотношения могут быть проиллюстрированы таким рисунком:



*Рис.1. Стили управления*

При авторитарном стиле принимал окончательное решение и нес ответственность за все один человек (вождь, князь, король, царь, хозяин). С ростом организаций (и государств) управление становится ненадежным и из-за сложности управления, в процессе управления теряется часть информации, и сам процесс управления ухудшается. Для малых организаций этот стиль живет и поныне.

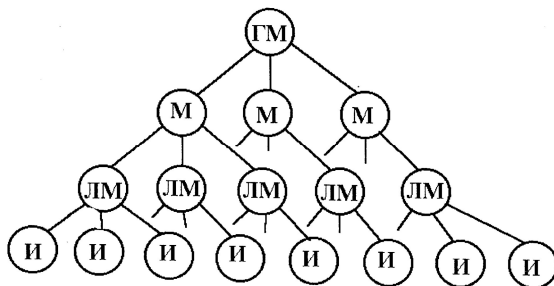
При либеральном стиле в принятии решения участвуют все и несут коллективную ответственность. Здесь принять единое верное решение трудно, да и ответственность значительно ослаблена, но получение и использование информации значительно лучше. Для очень маленьких (в т.ч. семейных) организаций такой стиль вполне эффективен.

Демократический стиль управления представляет собой смесь авторитарного и либерального стилей с разными соотношениями для разных организаций. Такой стиль лучше, поскольку полнее используется информация, улучшается выбор решений, повышается ответственность управленцев.

С физической точки зрения пространство и время едины и тогда для осуществления управления необходимо совершенствовать организационную структуру и осуществлять четкое планирование.

Сегодняшние потоки информации, крупные задачи предприятий диктуют необходимость создания развитой структуры управления, схема которой может быть представлена рис.2.

Здесь общая задача дробится на частные задачи и подзадачи, в результате чего формулируются конкретные задания для каждого исполнителя.



**Рис.2. Структура управления**

Планирование (временная составляющая управления) должно предусматривать динамичный порядок выполнения работ (т.е. путь к цели). При этом различают стратегическое планирование и оперативное планирование. Первое определяет порядок выполнения задачи, т.е. определяет, ЧТО и в какой последовательности должно быть сделано для достижения цели. При оперативном или тактическом планировании определяется, КАК и когда выполнять этапы

стратегического плана. Здесь уже проводится календарное планирование.

Сегодня для эффективной организации производства необходимо использовать интеллект большего числа работников и, используя демократический стиль управления, выстроить работу, сочетая коллективный интеллект с единоначалием. Основой для управления является разработка стратегии организации, т.е. разработка ее стратегических планов. Для разработки стратегических планов и их сопровождения при руководителе – главном менеджере – из числа работающих в организации создаются группы стратегического планирования, которые разрабатывают варианты стратегии предприятия, а затем главный менеджер осуществляет выбор и принимает решение, за реализацию которого несет сам персональную ответственность.

Группа стратегического планирования создаётся лично главным менеджером на основании послужного списка или бесед с возможными кандидатами из числа менеджеров организации. При этом учитываются следующие главные критерии для подбора членов группы стратегического мышления (планирования):

- профессионализм;
- коммуникабельность;
- творческое мировоззрение;
- радикальный консерватизм.

Отобранные и согласившиеся работать в этой группе сотрудники оформляются юридическим документом, как правило, в виде приказа или распоряжения.

Члены группы стратегического планирования работают во внерабочее время на основе добровольности. Как правило, это выходные дни, которые являются для членов группы стратегического мышления дополнительной официально неоплачиваемой нагрузкой, но это почетная обязанность, укрепляющая положение работающих в группе.

Хороший разумный главный менеджер и активная слаженная работа группы стратегического планирования при взаимной работе могут удачно выбрать инновационную прогрессивную стратегию, чем обеспечивается долгосрочный успех всей организации.

# ПЕЛЕНГАЦИОННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ИННОВАЦИОННО-ЭКОНОМИЧЕСКОЙ МАТРИЦЫ ДЛЯ ПРИОРИТЕТНЫХ НАПРАВЛЕНИЙ

*Богорош Александр Терентьевич*

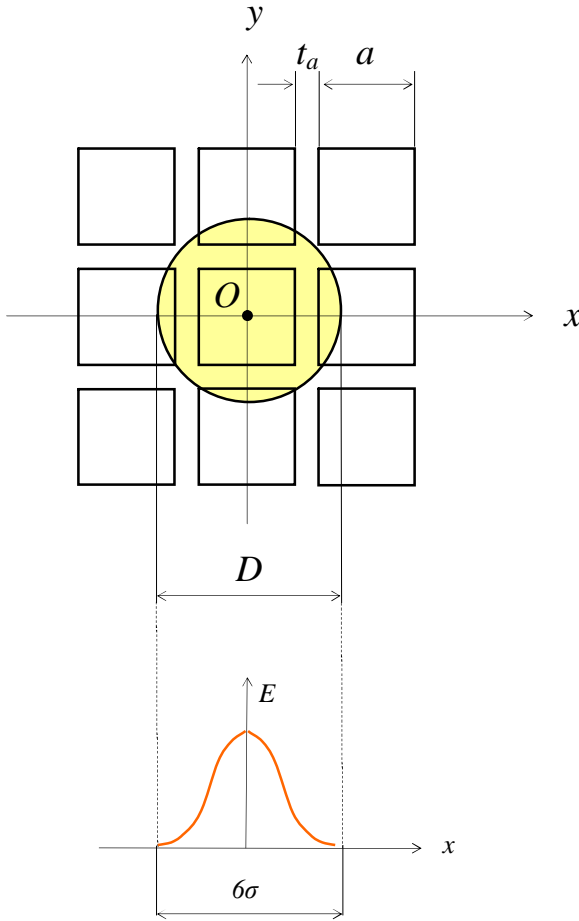
*Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт»*

*Тел. +38(044) 241 68 65, E-mail: fondfti@ntu-kpi.kiev.ua*

В условиях затянувшегося кризиса в экономике и неадекватного правительственного использования научного национального потенциала [1,2] предлагается упрощенная схема эффективного вложения бюджетных денег в ключевые отрасли народного хозяйства.

Схема работает аналогично детерминированной математической модели шаговой регрессии [3], в матрице которой отражены максимально возможное количество факторов, оказывающих влияние для достижения поставленной цели с учетом приоритетных направлений [4,5] и региональных особенностей инновационной политики [6, 7].

**Формулировка и формализация задачи.** Матрица реальной системы имеет  $n$ -ое количество элементов, соответствующих количеству факторов, имеющих свой отклик в построенной модели. Для примера рассмотрим часть матрицы из девяти элементов (приоритетных направлений или отраслей народного хозяйства), где намечается внедрение инноваций (световое пятно) и приковано внимание руководящих органов (рис.1). Девять областей внедрения инноваций (квадратных элементов матрицы) размером  $a$  с зазором (промежутком)  $t_a$  между ними. Тогда шаг матрицы  $d$  равняется



$$d = a + t_a \quad (1)$$

Предполагаемая сфера внедрения инноваций - круглое световое пятно диаметра  $D$  с нормальным (по Гауссу) распределением освещенности  $E$  в нем по диаметру:

$$E(x) = E_0 \frac{1}{\sigma \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{x^2}{2\sigma^2}} \quad (2)$$

При этом

$$\xi = 0;$$

$$6\sigma = D;$$

$$D < 2(a + t_a)$$

(3)

Если начало координат разместить в центре центрального элемента матрицы выбранной зоны, то отдача экономики в произвольной точке круглого светового пятна с центром в точке  $O$  с координатами  $(x_0, y_0)$  определится формулой:

$$E(x, y) = E_0 \frac{1}{\sigma \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{x^2 + y^2}{2\sigma^2}} \quad (4)$$

Рис.1 Схема выборочной концентрации внимания.

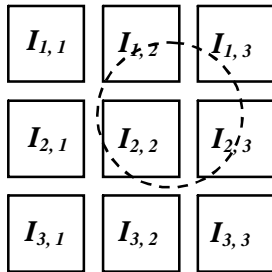
Из рис.1 видно, что внимание светлого пятна (правительства) сконцентрировано на одной отрасли и частично на четырех родственных или вспомогательных. Например, на энергетике, включая поставки энергоресурсов, их переработку, транспортировку и транзит. Остальные элементы матрицы (угловые) вне поля зрения светлого пятна, которые произвольно находятся вне зоны внимания руководящих органов и вынуждены уходить в тень для обеспечения своего выживания. Геометрическое построение охвата светлым пятном всех элементов матрицы возможно только в случае освещения пустых пространств между угловыми элементами, что невозможно, т.к. заполняя эти пространства - значит нецелесообразно (впустую) использовать средства. Как говорится, «пускать на ветер». Естественно, никто не может пойти на такой шаг. Следовательно, всегда будут наблюдаться неосвещенные участки исследуемого поля экономики, которые автоматически будут находиться в тени. Но в какой степени, будет зависеть от внимания руководящих органов или расположения светлого пятна нашей модели. Рассмотрим это предположение на примере поиска сигнала-отклика.

Задача состоит в том, чтобы определить величину сигнала-отклика  $\{I_{i,j}\}$  (например, прирост ВВП от внедрения инноваций) на каждом из девяти элементов матрицы при произвольном положении светового пятна, т.е. – матрицу из девяти соответствующих значений.

Если считать, что все отрасли поддерживаются из бюджета одинаково и стабильно по всей площади элементов матрицы, то сигнал-отклик с  $i, j$  элемента матрицы будет пропорционален следующей величине:

$$I_{i,j} = k \int_{y_{1j}}^{y_{2j}} \int_{x_{1j}}^{x_{2j}} E_0 \frac{1}{\sigma \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-x_0)^2 + (y-y_0)^2}{2\sigma^2}} dx dy . \quad (5)$$

При смещении финансовой поддержки (светового пятна) отраслей (элементы)  $I_{1,2}, I_{1,3}, I_{2,2}, I_{2,3}$  матрица приобретает следующий вид:



$$\begin{pmatrix} I_{1,1} & I_{1,2} & I_{1,3} \\ I_{2,1} & I_{2,2} & I_{2,3} \\ I_{3,1} & I_{3,2} & I_{3,3} \end{pmatrix} \quad (6)$$

При этом пределы интегрирования для каждого из девяти элементов определяются следующим образом:

$$x1_{i,1} = -\left(\frac{3}{2}a + t_a\right), \quad x1_{i,j} = x1_{i,1} + (a + t_a)(j-1), \quad (7)$$

где  $x1_{i,j} = d(j-2) - \frac{a}{2}$ ;  $x2_{i,j} = x1_{i,j} + a$ ; а также

$$y1_{3,j} = -\left(\frac{3}{2}a + t_a\right), \quad y1_{i,j} = y1_{3,j} + (a + t_a)(3-i), \quad (8)$$

где  $y1_{i,j} = d(2-i) - \frac{a}{2}$ ;  $y2_{i,j} = y1_{i,j} + a$ .

Дальнейший ход моделирования для выявления пеленгационных характеристик инновационно-экономической матрицы подъема приоритетных направлений заключается в составлении алгоритма решения задачи, включающий этапы ввода данных, предварительных вычислений, вычисления девяти интегралов в цикле с последующим выводом и анализом результатов.

По этой схеме составляется алгоритм решения задачи с последующим решением, учитывая известную статистику и приоритетные направления развития экономики, а также в области теневой экономики, среди основных факторов, следуя известной методики [8], отражены также факторы, способствующие росту теневой экономики.

В качестве примера с целью определения пеленгационных характеристик инновационно-экономической матрицы для приоритетных направлений и с учетом теневых схем в экономике, задачу решали по вышеприведенному алгоритму с графическим трехмерным построением процесса.

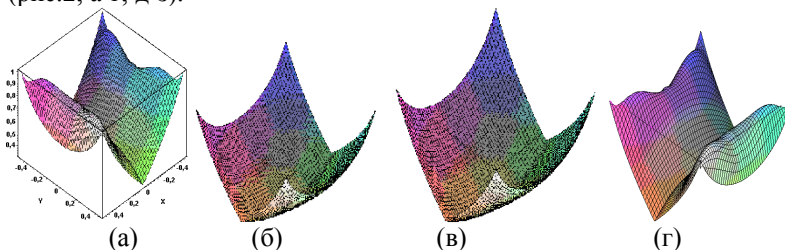
Решение задачи в условиях изменения освещенности 25 ? 25 элементов матрицы показали, что конфигурация графических

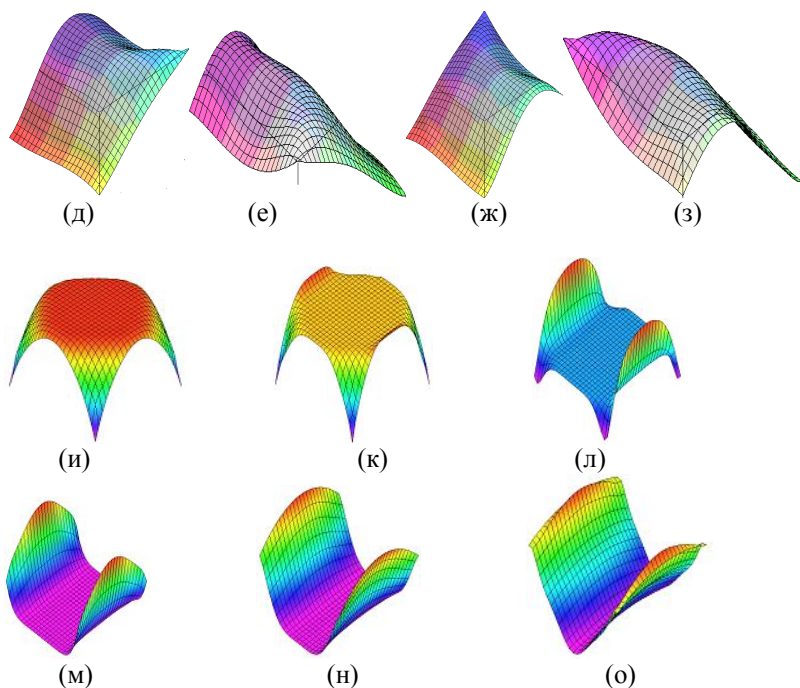
построений на основе полученных результатов может меняться в широких пределах в зависимости от внешних факторов (рис.2):

- когда основную роль играют факторы противодействия (президента и премьера, коалиции и оппозиции, нестабильность международного добрососедства (особенно Украины и России), продвижение границ НАТО против воли народа и т.п.), тогда трехмерное построение по результатам интегрирования имеет четкую границу противодействия, ведущую к расколу в обществе, федерализации и падения экономики, где главенствует теневая составляющая (рис.2, а-г);

- когда часто меняется власть и начинается перестройка взглядов и замена приоритетов другими с учетом непрофессионализма «руководителей от политики», включая навязывания центральной властью своего кадрового состава (наблюдается перекос не только в экономике, но в обществе, что позволяет пересмотреть взгляды перед выборами в сторону увеличения или резкого падения рейтинга претендентов на ключевые посты в государстве, растет взяточничество, кумовство и прочие недостатки, процветает президентская власть, срастающаяся с теневыми схемами (см.рис.2,ж), самая нестабильная ситуация с перетягиванием плоскости через центр, который в свою очередь сам постоянно меняет своё положение (рис.2 д-з);

- оптимизация проявляется, когда все ветви власти в условиях стабильных законов профессионально вместе с народом поднимают экономику, эффективно используя национальный научный потенциал (инновации) и бюджетные средства (рис. 2,и). Деформация начинает проявляться при противодействии (рис.2, к-о), повторяя показатели (рис.2, а-г, д-з).





**Рис.2** Метаморфозы пеленгационных характеристик инновационно-экономической матрицы для приоритетных направлений с учетом противодействия и теневых схем в экономике

### **Выводы**

Предложена пеленгационная модель для инновационно-экономической сферы с учетом противодействия ветвей власти. Выявлены причины возникновения и упрочнения теневой экономики в условиях нестабильности экономики, политики и законодательства. Показан вариант оптимизации процесса подъёма экономики и стабилизации общественного мнения в предвыборный период развития социума.

### **Литература**

1. Богорош А.Т., Соловьев В.П. Моделирование состояния социальных и экономических объектов на основе косвенных методов //Наука и наукознание, 1999, №1. С.-48-58.
2. Богорош А.Т., Соловьев В.П. Информационное управление конфликтами на основе коммуникационной модели // там же, С.115-119.

3. Богорош А.Т., Денисюк В.А. К моделированию государственной инновационной политики //Бизнес-Информ, 1999, Харьков, №17-18, С.77-86.
4. Богорош А.Т. О приоритетах сотрудничества государств бывшего СССР в сфере науки и технологий. Прогноз национального товара на рынке до 2010 года //Актуальные вопросы развития инновационной деятельности и ораны интеллектуальной собственности, Симферополь, 2001. С.3-16.
5. Bogorosh A. Development Perspective of the Ukrainian, Belarusian and Russian Scientific Relations //Science and Education on the Threshold of the III-rd Millennium/ Proceedings of the International Congress held in Minsk 3-6 Oktober 2000 in the framework of the follow-up to the World Conference on Science organized by both UNESCO and ICSU (Budapest, 1999) and the World Education Forum (Dakar, 2000, Minsk, 2001. P.723.
6. Богорош А.Т., Соловьев В.П., Слепокуров А.С. и др..Формирование региональной научно-технической и инновационной политики в Украине, Российской Федерации и Республике Беларусь //Доклад на восьмой международной научно-практической конференции “Актуальные вопросы развития инновационной деятельности», Симферополь-Алушта, 2003, С.6.
7. Богорош А.Т., Соловьев В.П., Слепокуров А.С., Недилько В.И. Цели, задачи и различия международного научно-технического сотрудничества стран-участниц СНГ, ГУУАМ и ОЧЭС // Там же, С.8.
8. Bogorosh O. Forecast of cosequences fro Ukraine introduction into WTO //Journal ”Ekonomist“, 4838, 2003.- P.51-55.

## **COMPETITIVENESS MANAGEMENT IN ECONOMY BASED ON KNOWLEDGE**

*Grigore Belostecinic,  
Ph.D.Hab, University Professor, Corneliu Guțu,  
Ph.D., Senior Scientific Researcher,  
Academy of Economic Studies of Moldova,  
fax: (+373) 22 221968; E-mail: anticamera@ase.md*

World experience testifies that at the decision of problems of radical improvement of a social and economic situation in the country, alternatives to an innovative way of development and economy based on knowledge simply are not present. The essence of innovative development of economy consists in activization of innovative activity on creation, introduction and

wide distribution of new products, services and technological processes as primary factors of qualitative growth of volumes of output, employment, investments and the foreign trade turnover. First of all it concerns spheres of the highly technological and high technology branches which are engines of development of economy. Innovative development of economy predetermines competitiveness of the country, including competitiveness of the enterprises and competitive production let out by them, best-selling in home market and allowing to win the new international markets.

In this plan we will notice that in construction of innovative economy, and maintenance of competitiveness and national safety of the country orientation to use of own competitive scientific knowledge and innovations that strengthens and development national innovative system has the major value also. The analysis of last researches of a problem of an estimation of competitiveness of the countries and their innovative activity has shown that in the world one of most versed world ratings of national competitiveness is the complex of corresponding indexes and indicators of development of competitiveness - Growth Competitiveness Index given by the World Economic Forum in Reports on competitiveness (Global Competitiveness Report), indexes and indicators in the international rating of innovative activity of the countries in European Innovation Scoreboard.

Until recently research and development has been synonymous with technology and innovation in many discussions on science, technology and innovation. Most support measures for innovation on the national and the EU level are for research and development activities. The Lisbon strategy, which aims to build Europe by 2010 the most competitive and dynamic knowledge-based economy in the world, incorporates a policy goal that the research and development expenditure in the European economies should reach 3 percent of GDP by 2010. As emphasized in the Lisbon strategy, research and development intensity is extensively used by scholars and policy makers as a benchmark for measuring the innovativeness of a firm, an industry, a region and a country.

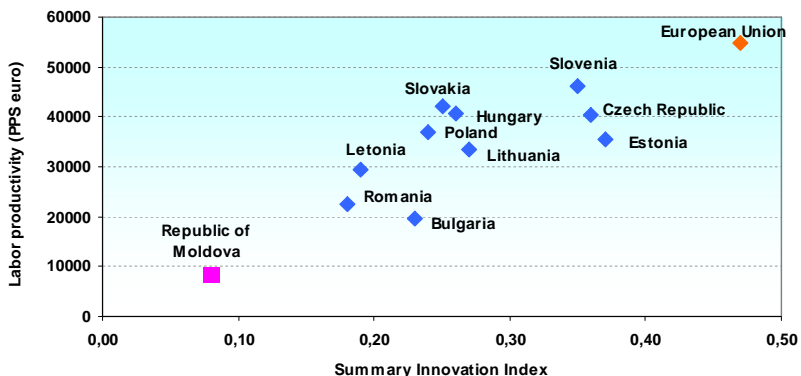
There is no doubt about the importance of research and development: it is the source of many productivity enhancing innovations; it is essential to competitiveness in fast-growing high technology industries such as pharmaceuticals, it is critical to the absorptive capacity of a firm or an industry and is associated with terms of trade advantages of a country; research and development activities create demand and supply for high skilled people which give impetus to the development of the education system in a country.

Although research and development is vital for many innovation activities of firms and the competitiveness of an industry and a country. Such non-

research and development innovation includes the purchase of advanced machinery and computer hardware specifically purchased to implement new or significantly improved products or processes, the purchase of rights to use, patents and non-patented inventions, licenses, know-how, trademarks and software, internal or external training activities for firm's personnel aimed at the development or introduction of innovations, and internal and external marketing innovations aimed at the market introduction of new or significantly improved products.

The indicators of the European Innovation Scoreboard summarise the main elements of innovation performance:

- Innovation drivers - number science and engineering graduates per 1000 population aged 20-29; population with tertiary education per 100 population aged 25-64; broadband penetration rate (number of broadband lines per 100 population); participation in life-long learning per 100 population aged 25-64; youth education attainment level (% of population aged 20-24 having completed at least upper secondary education).
- Knowledge creation - public research and development expenditures (% of GDP); business research and development expenditures (% of GDP); share of medium-high-tech and high-tech research and development (% of manufacturing research and development expenditures); share of enterprises receiving public funding for innovation.
- Innovation and entrepreneurship - SMEs innovating in-house (% of all SMEs); innovative SMEs co-operating with others (% of all SMEs); innovation expenditures (% of total turnover); early-stage venture capital (% of GDP); ICT expenditures (% of GDP); SMEs using organisational innovation (% of all SMEs).
- Applications - employment in high-tech services (% of total workforce); exports of high technology products as a share of total exports; sales of new-to-market products (% of total turnover); sales of new-to-firm products (% of total turnover); employment in medium-high and high-tech manufacturing (% of total workforce).
- Intellectual property – number of patents applied for at the European Patent Office per million population; number of patents granted by the US Patent and Trademark Office per million population; number of triad patents (a patent is a triad patent if, and only if, it is filed at the European Patent Office, the Japanese Patent Office and is granted by the US Patent & Trademark Office per million population; new community trademarks per million population; new community designs per million population.



**Figure 1** Dependence labor productivity GDP in Purchasing Power Standards (PPS) and Summary Innovation Index

In modern conditions for Republic of Moldova of an innovation become the factor, capable it is essential to influence formation of national competitiveness. High-grade use of innovations for national development is possible only under condition of the purposeful innovative policy spent on the state level. This problem is especially actual for Republic of Moldova possessing in innovative potential which is used obviously insufficiently, in particular, in connection with absence of an adequate national innovative policy. National competitiveness is the main indicator reflecting state of the economy of the country and prospect of its economic development. In modern conditions of the accelerated development of scientific and technical revolution and large-scale trans boundary moving of the capital, globalization of the markets and manufactures competitiveness of the goods, the enterprises and the countries all is in a greater degree defined by ability of national economy to generate and introduce new technologies.

## **COMPETITIVENESS, CLUSTERS AND INNOVATION IN REPUBLIC OF MOLDOVA**

*Corneliu Guțu,  
Ph.D., Senior Scientific Researcher,  
Academy of Economic Studies of Moldova,  
fax: (+373) 22 221968; E-mail: anticamera@ase.md*

Regional clusters, the geographic concentration of economic activities in a specific field connected through different types of linkages, from

knowledge spill-overs to the use of a common labour market, are increasingly viewed as an interesting conceptual tool to understand the economic strength or competitiveness of a region. In recent years, this view has also motivated more and more policy makers and economic development practitioners to turn to cluster-based concept as new tools to strengthen regional economies.

While clusters are part of regional economies in countries across the globe and at all stages of economic development, there are indications that they might be particularly important for understanding and addressing the economic challenges that Europe is facing. Many Europeans are concerned that their prosperity, productivity, and innovation levels fail to keep pace with the United States and increasingly with competitors from other parts of the world like Asia. While the overall levels of skills, infrastructure, and institutional capacity in Europe seem to be on par or even better than elsewhere in the world, many researchers have identified rules and regulations that hamper flexibility, for example on the labour market, or reduce incentives, for example through high tax rates, as potential reasons for the European performance gap. The recent work on clusters and competitiveness suggests that differences in regional specialization patterns across cluster categories could be an additional, potentially very powerful driver of this gap. Regional clusters enable companies to reach higher levels of productivity and be more innovative – this is what the available research indicates. If European regions suffer from weaker regional clusters and cluster portfolios than their peers elsewhere in the world, this might be an important factor keeping them behind in global competition.

Clusters, i.e. geographically co-located end producers, suppliers, services providers, research laboratories, educational institutions, and other institutions in a given economic field, are important drivers of dynamic regional economies. Recent trends in management, such as the focus on core activities/competencies and the move towards open innovation have increased companies' reliance on partners in close proximity.

Cluster and the broader patterns of economic specialization across geographies have become an important concern for European policy makers. Europe tends to rank high on the quality of institutions and many factor conditions, but low on its ability to mobilize these inputs through entrepreneurship, new firm formation and corporate renewal. Europe also tends to rank high on R&D spending and scientific capacity but low on its ability to turn research into economically valuable innovations.

Another motivation is the impact of globalization on the nature of competition between regions. Falling transport and communication costs

and the reduction of trade barriers have exposed larger segments of regional economies to global competition. Improvements in business environments and company practices in many parts of the world, too, have increased competitive pressure. With an increasing number of locations providing attractive conditions for investments, regions in Europe (as in other parts of the world) need to define the unique value they are offering to companies looking to locate business activities. Clusters have the potential to be a key dimension of a region's value proposition: Healthy clusters provide higher value for companies that are active in the economic fields in which they operate. And, through a region's portfolio of clusters, they provide a unique mix of skills and capabilities that are in its entirety very hard to match by competing locations. As a relatively young field of systematic research, the analysis of clusters and cluster-based policies still suffers from a significant amount of confusion related to the use of key terms, uses a number of such terms that are defined below:

- **Cluster categories:** Cluster categories are defined as lists of specific industries that empirically tend to co-locate. In this report, we operationalize this notion through the definition of 38 cluster categories, based on the cluster category definitions developed at the Institute for Strategy and Competitiveness, Harvard Business School.
- **Cluster sector:** The cluster sector includes all industries assigned to any of the 38 cluster categories defined above. We use this term to differentiate employment in this sector of an economy from local industries or other economic activities.
- **Regions:** The region is the specific geographic area in which the different types of externalities that give rise to the development of clusters are strong enough to materially affect the location of economic activities.
- **Regional cluster:** Michael Porter defines cluster as “geographically co-located end producers, suppliers, services providers, research laboratories, educational institutions, and other institutions in a given economic field”. In this report, we operationalize this notion as the presence of a cluster category within a specific region.
- **Cluster initiatives:** Cluster initiatives are defined in the Cluster Initiative Greenbook as “organized efforts to increase the growth and competitiveness of a cluster within a region, involving cluster firms, government, and/or the research community”. In this report, we do not make the existence of a cluster initiative a precondition for calling the presence of co-located economic activities within a region a cluster.

A cluster of research institutions of a large company and/or state research institute within an existing technopark can serve as an example of a regionalized national innovation system. As a rule, such organizations are

located not far from technological colleges and laboratories or maintain limited links with local manufacturing companies. On the whole, technoparks are characterized by a low level of innovation interaction of enterprises-participants, which explains the negligible scale of local learning and engagement of external enterprises in the implementation of individual projects of the basis of a sub-contractual system. But at the same time, owing to the establishment of informal partnership relations among economic subjects, the interrelationship in the research institute-enterprise-state agency triangle is more stable in the clusters.

The innovation systems of the clusters are very inefficient because of the lack of funding of research and development both by private companies and, especially, the government; the venture mechanism of support programs of innovation development is underdeveloped; and the interaction of the private and state sectors in the implementation of promising scientific and technological projects is inadequate. It provides for the establishment of «focal regions» (poles, prime movers of growth), in which are concentrated financial, administrative, managerial, human and other resources to be used for the subsequent invigoration of innovation activity in other regions. In Republic of Moldova, in our opinion, among the promising territories for setting up «focal regions» are the leading regions of Chisinau and Balti who have enormous experience and traditions as well as a powerful resource base for the development of high-tech sectors and are in a position to set up highly efficient regional innovation systems.

The level of the development of clusters depends very much on the efficiency of a regional innovation system, namely: the availability of a developed mechanism for technologies transfer, an efficient innovation infrastructure and institutional structure, as well as the establishment of informal partnership relations between economic entities to promote the diffusion of new knowledge. It is precisely the development of a clusters as a powerful catalyst of local innovation activity that is a necessary precondition for raising the international competitiveness of a region under the conditions of knowledge economy creation.

## **ЗНАЧЕНИЕ ИЗУЧЕНИЯ МЕХАНИКИ ПРИ ПОДГОТОВКЕ В ВЫСШЕЙ ШКОЛЕ СПЕЦИАЛИСТОВ ПО ЭЛЕКТРОНИКЕ**

*Ройзман В.П.<sup>1</sup>, Чоловский Р.Г.<sup>1</sup>, Горошко А.В.<sup>1</sup>, Богорош А.Т.<sup>2</sup>, Бубулис А.<sup>3</sup>*

<sup>1</sup> *Хмельницкий национальный университет, г. Хмельницкий,  
(380-382-728743), [roizman@mailhub.tup.km.ua](mailto:roizman@mailhub.tup.km.ua)*

При обучении студентов не следует забывать, что мы готовим не только специалистов сегодняшнего дня, но и специалистов, которым придется работать и руководить производством в середине второй половины XXI века, когда наука и техника разовьются до такой степени, что сейчас даже трудно представить.

В этих условиях необходимы широко подготовленные специалисты, владеющие глубокими знаниями в области фундаментальных и общинженерных дисциплин, ибо они приобретают способность осваивать новые специальности в сравнительно короткие сроки и ориентироваться во вновь возникающих направлениях науки и техники. Эта мобильность реализуется не только в работе фундаментально подготовленного специалиста, но и в работе самого ВУЗа, призванного быстро реагировать на изменения в области науки, техники и всего нашего жизненного уклада.

В данном докладе на примере подготовки специалистов по электронике показано к чему приводит пренебрежение изучением цикла общинженерных дисциплин, относящихся к механике, в частности к прочности, а также содержатся предложения, уже реализованные в Хмельницком национальном университете, по исправлению создавшегося положения.

Механические воздействия вызывают от 30 до 50%, а в авиации до 80% всех отказов изделий электронной техники, ухудшают точность и другие параметры аппаратуры.

Эти отказы вызваны не только несовершенством технологии изготовления на серийных заводах, но и ошибками разработчиков, не уделявших должного внимания вопросам механической прочности создаваемых конструкций.

Борьба с этими дефектами оказалась затруднительной для специалистов по электронике, не изучавших или мало изучавших в ВУЗах механику. Между тем цена таких отказов бывает очень высокой. Так, разрушение резистора стоимостью в 0,5 доллара, привело в США к гибели ракеты стоимостью 140 миллионов долларов. Поломка вывода одной из недорогих микросхем привела в СССР к потере связи с опущенным на Венеру и работавшим там аппаратом. Можно привести и другие примеры, когда из-за отказов электронной техники по причине разрушения недорогого элемента происходили катастрофы или аварии самолетов, судов, атомных электростанций и

других объектов, насыщенных современными электронными системами. При этом ущерб исчислялся миллионами долларов, не говоря уже о человеческих жертвах.

Это требует от специалистов по радиоэлектронике знания основ механики для правильного проектирования и испытания, создаваемых конструкций, умения исследовать прочностные дефекты и выработать рекомендации для их устранения. К сожалению, в радиоэлектронике до сих пор, в отличие от других отраслей техники, не существует «Норм прочности на изделия электронной техники», в которых были бы сосредоточены основные требования к прочности создаваемых изделий и правила претворения их в жизнь.

На практике часто приходится сталкиваться с неграмотностью инженеров-радиоэлектронщиков в вопросах механики. Например, некоторые материалы, применяемые в электронике, имеют разброс физико-механических характеристик, доходящий до 500% против 10% в общем машиностроении, конструкции простых устройств часто выполнены статически неопределима, из-за чего в них возникают большие монтажные и температурные напряжения, конструкции крепежных приспособлений для испытания на вибрацию и удар и сами испытания проводят без учета резонансных состояний и т.д.

На основании 30-летнего опыта по исследованию и устранению прочностных дефектов натуральных изделий электронной техники или их отказов из-за механических воздействий в Хмельницком национальном университете составлена программа курса «Защита электронного оборудования от механических воздействий», который излагается студентам факультета радиоэлектроники после изучения ими цикла общинженерных дисциплин под общим названием «Прикладная механика», в который входит и курс сопротивления материалов по 80 часовой программе. Ниже приводится наименование тем, изучаемых по этой программе..

1. Проблема прочности радиоэлектронной аппаратуры (РЭА). Классификация внешних воздействий и их общая оценка. Основные виды прочностных дефектов элементов и конструкций РЭА.

2. Понятие об усталостной прочности элементов и конструкций РЭА. Кривая Веллера. Предел усталости. Факторы, влияющие на усталостную прочность. Малоцикловая усталость.

3. Расчеты на прочность компаундированных элементов РЭА и гермоузлов с проходными выводами. Влияние термоудара. Вывод уравнений равновесия. Эпюры распределения напряжений в деталях и герметике. Мероприятия по обеспечению прочности и герметичности компаундированных изделий РЭА.

4. Расчеты гермовыводов и стеклоспаев. Анализ напряжений в гермовыводах. Формулы для радиальной деформации изолятора, нагруженного внутренним и внешним давлением. Связь между натягом и контактным давлением в гермовыводах и стеклоспаях.

5. Динамическая прочность элементов РЭА. Основные требования к конструкциям РЭА, эксплуатируемым в условиях вибраций и ударов.

6. Свободные колебания элементов РЭА с одной степенью свободы. Свободные колебания с учетом демпфирования и без. Собственные частоты колебаний. Резонанс. Динамический коэффициент.

7. Вынужденные колебания элементов РЭА с одной степенью свободы.

8. Колебания элементов РЭА с несколькими степенями свободы. Расчет каскадной конструкции блока РЭА. Расчет блочной конструкции. Динамический гаситель колебаний.

9. Виброзащита РЭА. Виброизоляторы и требования к ним. Конструкции виброизоляторов. Условия раздельного монтажа.

10. Неразрушающий контроль прочности РЭА. Методы и средства неразрушающего контроля, диагностирования и прогнозирования прочности РЭА. Использование явления акустической эмиссии для контроля прочности.

Кроме чтения лекций и проведения практических расчетов в программе предусматривается проведение следующих 14 лабораторных работ:

1. Определение механических характеристик радиотехнических материалов (сталь, алюминиевые сплавы, медь, стеклотекстолит, компаунды и т.п.)
2. Измерение статических деформаций элементов РЭА.
3. Определение температурных напряжений в элементах РЭА.
4. Определение динамических деформаций и напряжений в элементах РЭА при вибрациях.
5. Испытание на удар элементов РЭА.
6. Исследование форм колебаний печатных плат.
7. Исследование работы динамического гасителя колебаний блока РЭА.
8. Изучение явления резонанса.
9. Определение коэффициента передачи вибраций с опор на платы блока РЭА.
10. Исследование связности колебаний в конструкциях РЭА.
11. Исследование эффективности уменьшения вибронгрузок элементной базы РЭА типовыми амортизаторами.
12. Испытание на усталость радиотехнических материалов.

13. Основные методы защиты РЭА от динамических воздействий.

14. Методы неразрушающего контроля радиоэлементов (конденсаторов, резисторов и т.п.) и конструкций РЭА.

Полагаем, что в некоторых ВУЗах целесообразно открыть специальность «Динамика и прочность изделий радиоэлектронной техники».

#### Список использованной литературы

1. Ильинский В.С. Защита аппаратов от динамических воздействий. – М.: Энергия, 1970. – 320 с.
2. Карпушин В.Б. Вибраций и удары в радиоаппаратуре. – М.: Сов. Радио, 1971. – 344 с.
3. Фролов В.А. Механические воздействия и защита электронной аппаратуры. – К.: Высшая школа, 1979. – 128 с.
4. Трифонов В.В. «Надійність пристроїв промислової електроніки». Київ, «Лебідь», 1993р.. 62 с.
5. Ленков С.В. «Обеспечение надежности РЭА», Киев, ГАЛПУ, 1997г., 148 с.
6. Ройзман В. П. Проблема прочностной надежности в электронике/ «Технология и конструирование в электронной аппаратуре» №6(60), 2005 (6). С. 6-12.

## ПРОБЛЕМЫ ТЕСТИРОВАНИЯ

*В.П. Ройзман, Р.Г. Чоловский  
Хмельницкий национальный университет, Украина*

Тестирование – целенаправленное, одинаковое для всех испытуемых обследование, проводимое в строго контролируемых условиях, позволяющее объективно измерять изучаемые характеристики педагогического процесса.

Первые тесты для объективного контроля знаний, умений и навыков появились в начале XX века. Они быстро завоевали популярность среди преподавателей вузов и школ в Англии и США, а позже в России и СССР. Примерно с этого времени их стали в США называть педагогическими. Именно эти тесты вызывали настороженное к себе отношение у сторонников традиционной, "чистой", без тестов, педагогической науки и практики.

В СССР практика тестирования характеризовалась серьезными противоречиями: по мере роста числа тестов и тестовых исследований имели место попытки торможения и даже запрета. В 1936 году было принято Постановление Совета Народных Комиссаров под названием "О педологических извращениях в системе Наркомпроссов", что на долгое время помешало попыткам разработки и применения тестовых методов в сфере образования, профотбора и профориентации. В печати появился ряд публикаций, в которых тесты отвергались. Хотя в тридцатых годах практическая работа по тестам затормозилась, научное изучение действительных возможностей этого метода в нашей стране полностью не прекращалось. Часть тестов применялась под видом контрольных заданий, испытаний; и наоборот, различные испытания нередко назывались тестами. Официально запрет на применение тестов так и не был отменен. Его отменила сама жизнь.

В США против использования тестов выступали представители основных групп населения - взрослые и дети, белые и негры, рабочие и управленческий персонал, а также представители национальных меньшинств. Исследования по социальным последствиям тестирования выяснили, что 37% опрошенных возражали против использования тестов при поступлении на работу, 50% - при продвижении по службе, 25% - против использования

тестов в школе. Случаи нарушения этики в использовании тестов оказались столь злободневными, что ими вынужден был заняться конгресс, устроивший специальные слушания по этому делу. В результате было принято решение, осуждающее неэтичное использование тестов. В августе 1966г. в сенате США обсуждалось предложение о полном запрещении тестов, но это предложение не было поддержано большинством.

Фактически в США критика тестов не прекращалась никогда, так же, как работа над их усовершенствованием и применением. Хотя, практика, как это часто бывает, опережала теорию. Массовые тестовые обследования не подкреплялись серьезной проверкой качества инструментария, решения о переводе некоторых учащихся в классы для умственно отсталых детей принимались на основе несовершенных тестов, без учета других факторов, влияющих на результат проверки. В промышленности на основе таких же тестов делались попытки классификации работников по различным профессиям, без внимательного учета личных склонностей и интересов.

Тесты применялись в двух основных сферах: в образовании и в сфере профотбора-профориентации. Затронутые тестами столь важные сферы жизни и прямое влияние результатов тестового контроля на судьбы миллионов людей породили широкую гамму мнений в пользу и против тестов. Большой энтузиазм тех, кто их применял, и не меньший пессимизм тех, кто видел несовершенство этого метода или пострадал в результате его неправильного использования, породили во многих странах, в том числе и в СССР, письма в правительственные органы и в газеты с требованием запрета тестов.

Особое распространение тестирование в Украине получило в связи с переходом на кредитно-трансферную систему образования. Старая советская система образования уже недееспособна, а новой фактически нет. Наблюдается повсеместное снижение уровня подготовки молодых специалистов.

Массовое использование тестирования в американских и западно-европейских вузах направлено в первую очередь на подготовку узкопрофильного специалиста с определенным набором знаний. При этом зачастую при запоминании огромного количества информации, студенты демонстрируют полное непонимание предмета.

Функция университета не в том, чтобы дать узко профессиональные знания. Это задача профтехучилищ, технических

вузов, которые готовят, например, профильных инженеров. Университеты должны давать фундаментальные знания, которые позволяют человеку легче воспринимать все нововведения, потому что он готов к их восприятию.

В сложившейся ситуации было бы неправильно отрицать эффективность применения тестов для определенных частных целей, в конкретных ситуациях, например, для контроля и стимулирования систематической и равномерной работы студентов над лекционным материалом в течение учебного года, для запоминания и безоговорочного принятия правил, формул, положений, не требующих от учащегося их анализа и критики.

Нами был проведен эксперимент по приему у студентов экзаменов по сопоставлению материалов в 10 учебных группах по 25-30 человек в каждой.

Вначале проводился тестовый контроль знаний студентов по карточкам компьютерного тестового контроля, содержащим 6 вопросов и 4 задачи, а после выставления оценок три преподавателя в форме беседы опрашивали студентов по материалу этих же карточек и выставляли свои необязательные оценки. В целом, оценки преподавателей оказались значительно ниже, чем при компьютерном тестовом контроле. Преподаватели отметили поверхностность усвоения материала, в частности тот факт, что некоторые студенты, получившие при тестовом контроле хорошие оценки, с трудом произносили широко распространенные сопроматовские термины и плохо объясняли или не знали решение задач.

На наш взгляд для практического применения в учебных заведениях тестирования, целесообразно разумно сочетать достоинства тестового метода контроля знаний с собеседованием для раскрытия глубины понимания, творческого потенциала, сообразительности, склада ума, раскрытия и стимулирования всех положительных качеств обучаемого.

На Конгрессе американских губернаторов выступал Билл Гейц – самый богатый и успешный человек мира, который сказал впрямую, что сегодня американская школа переживает мощный кризис, что она опустилась до уровня конца XIX века, потому что выпускники не умеют мыслить, не умеют сопоставлять факты, в конечном итоге они не умеют создавать интеллектуальный продукт, поэтому американскую школу ждет крах.

# ФУНДАМЕНТАЛІЗАЦІЯ ЯК ПРІОРИТЕТНА СКЛАДОВА ІНЖЕНЕРНОЇ ОСВІТИ В УМОВАХ ОСВІТНЬОЇ ЄВРОІНТЕГРАЦІЇ

*Бахтіна Галина Петрівна*

*Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут»,*

*Науково-методичний центр системного аналізу і статистики НТУУ «КПІ»,*

*03056, м. Київ, Україна, просп. Перемоги, 37, корпус 1, кімната 304*

*Тел./факс: +38 (044) 454-9923*

*E-mail: [bakhtina\\_galina@mail.ru](mailto:bakhtina_galina@mail.ru)*

В наш час в усьому світі має місце зростаюча потреба в грамотних інженерах; дефіцит спеціалістів в галузі високих технологій; необхідність формування в системі освіти нової генерації професіоналів світового рівня в галузі інженерії, які здатні реалізувати стійкий та динамічний розвиток конкурентоспроможної реальної економіки та прорив в різних областях практики на основі наукоємних технологій. Рівень інженерних кадрів повністю визначає «технологічний» стан справ в світі, тому конче важливим є формування концепції їх підготовки, визначення та розробка стратегій, змісту підготовки професіоналів нового типу та «високих» освітніх технологій, адекватних новому змісту. «Основой образования должны стать не столько учебные предметы, сколько способы мышления и деятельности... Знания и методы познания, а также деятельность необходимо соединить в органическую целостность» [1].

Але перебудова освітньої структури повинна базуватися на прогностичних, випереджаючих оцінках. Це впливає з внутрішньої природи освіти, яка завжди звертається до майбутнього. Тому при розробці будь-яких освітніх проєктів, як поточних, так й перспективних, принцип випереджаючого відображення дійсності, який розповсюджується на освітні структури, повинен розглядатися як основополагаючий. Для освіти взагалі, а для технічної освіти в більшому ступені, гарантом випереджаючого розвитку є фундаменталізація, яка за сучасним уявленням, визначається системним підходом до процесу навчання, інтеграцією дисциплін навчального циклу, інтенсифікацією самостійної роботи студентів тощо.

«Фундаментализация содержания образования достигается расширением и углублением междисциплинарных знаний специалиста, ориентированных на решение проблемных ситуаций в научной, проектировочной и предпринимательской деятельности; повышением уровня сформованности методов познавательной,

професійної, комунікативної і аксеологічної діяльності; забезпеченням синтезу естествознавчого і гуманітарного знання і переходом до комплексних критеріїв продуктивності, ефективності і якості діяльності; здатністю розширення наукового базису соціально-професійної діяльності за рахунок її методологізації, генералізації і різних видів моделювання. Важливими складовими змісту освіти повинні стати навчальні матеріали і освітні технології, що створюють умови для формування інноваційного мислення...» [1].

Формування професійної культури починається на стадії вивчення природничо-наукових та математичних дисциплін як базових для технічних університетів, тобто на етапі фундаментальної підготовки. Саме тут вирішуються проблеми взаємозв'язку фундаментальної та спеціальної освіти та проблеми її реформування. Свого часу автор даної статті попереджав про зростаючу діалектичну суперечність між формою та змістом в системі інженерної освіти; визначав тенденції до зниження ролі фундаментальної, особливо, математичної складової в підготовці інженерно-технічних кадрів; прогнозував їх поступове знищення (що фактично відбулося в наш час); пропонував шляхи щодо збереження та підтримки пріоритетів та традицій в системі інженерної освіти при умові надбання ними сучасного забарвлення. Визначалося, що розв'язання проблеми лежить на шляху між універсальністю фундаментальних знань (в першу чергу, математичних) та прагматичною спрямованістю на реальні потреби функціонування фахівця в сучасному суспільстві.

Автором розроблені та реалізовані в навчальному процесі на базі Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут» (1978-2008 роки):

- методологія та модель викладання курсів фундаментальних дисциплін, зокрема математико-інформаційного профілю, як основи ґрунтовних знань інженерно-технічних спеціалістів та фахівців в галузі управління в системі технічного університету, яка являє собою пріоритетну розробку з точки зору методології викладання та взаємного узгодження фундаментальних, загально-технічних, економіко-організаційних та соціальних дисциплін;

- педагогічна технологія викладання курсів математико-інформаційного профілю з урахуванням майбутньої професії студента, яка заснована на авторській ідеї «ранньої профілізації» курсів, при збереженні системостворюючої ролі математичних знань;

- навчально-методичний комплекс навчальних курсів «Математична інженерія» для студентів, які навчаються за напрямом державного та соціального управління та соціоінженерії в системі технічного університету;
- модель та педагогічна технологія реалізації «трикутника знань» (освіта, наука, інновації) в системі технічного університету дослідницького типу, яка є кроком на шляху вирішення проблеми протистояння природничо-науково-технічної, математичної та гуманітарної культур;
- педагогічна технологія студентських наукових семінарів та конференцій з проблем застосувань сучасної математики (міждисциплінарні дослідження);
- модель та педагогічна технологія науково-дослідно-практичної роботи студентів, орієнтованої на вирішення між-, полі- та трансдисциплінарних проектів в системі технічного університету дослідницького типу.

Означені методологія, моделі та педагогічні технології, адаптовані для різних напрямів та спеціальностей підготовки фахівця, втілені в навчальному процесі та діяльності по розв'язанню завдань науково-методичного центру «Системного аналізу і статистики» НТУУ «КПІ». Всі розробки схвалені рядом вузів, Міжнародних наукових, науково-методичних та науково-практичних конференцій як інноваційні та рекомендовані для подальшого розвитку та впровадження у системі технічної освіти. Вони сприяють розв'язанню проблеми якості підготовки сучасного фахівця і, як наслідок, якості та надійності технічних систем та соціальних проектів майбутнього.

## Література

1. Агранович Б.Л., Чудинов В.Н. Системное проектирование содержания подготовки инженеров в области высоких технологий //Инженерное образование. -2007. -№1. с.32-42
2. Бахтина Г.П. Судьбы фундаментальной подготовки //Вестник высшей школы. –М.: Высшая школа, 1989. –№11. –с.24-27
3. Бахтіна Г.П. Дім без підмурку. Фундаментальна підготовка в технічному університеті: вчора, сьогодні, завтра /«Директор школи», №44 (140), 2000. –К.
4. Бахтіна Г.П. Фундаментальна підготовка в технічному університеті в умовах постіндустріального розвитку суспільства //Нові технології навчання: наук.-метод. зб. –К.: НМЦ ВО. -2000. –вип. 27. с.21-27
5. Бахтина Г.П. Применение элементов сварочной специализации при изучении высшей математики. Учеб. Пособие. –К.: УМК ВО, 1988. - 199с.

6. Бахтіна Г.П. Роль математики в здійсненні трансдисциплінарних зв'язків в університетській освіті //Проблеми освіти. Другий спец. випуск: Зб. наук. праць. –К.: НМЦ ВО МОН України, Вінницький соціально-економічний інститут Університету «Україна». -2005. – с.261-267
7. Бахтіна Г.П. Система випереджаючої інноваційної освіти та технології викладання дисциплін математичного профілю в технічному університеті //Наукові записки. –Випуск 72. –Серія: Педагогічні науки. –Кіровоград: РВВ КДПУ ім. Винниченка. -2007. –Частина 2. –с.124-127
8. Бахтіна Г.П. Математична освіта в інформаційному суспільстві: реалії та перспективи //Вісник Луганського Національного педагогічного університету. Серія педагогічні науки. -2007, №21(137), листопад. –с.5-14

## Содержание

Конструкторско-методологические пути повышения качества и надежности изделий

**Чернов Б.О., Мартинюк Т.А.**

Підвищення надійності та довговічності елементів бурильної колони за рахунок конструктивних чинників

**Афтанюк В.В., Мазуренко А.С.**

Надежность и гидравлическая устойчивость систем водяного отопления зданий.

**Спинов В.М., Афтанюк В.В., Витюков В.В.**

Повышение надежности работы аппаратов с внутренней циркуляцией жидкости.

**Дилигенский Н.В. Ефимов А.П.**

Параметрический анализ областей устойчивости и надежности функционирования технических систем.

**Стеблянко П.А.**

Анализ эффективности численных методов при исследовании проблемы надежности элементов металлургических конструкций.

**Богорш А.Т.<sup>1</sup>, Воронов С.А.<sup>1</sup>, Ларкин С.Ю.<sup>1</sup>, Бубулис А.<sup>2</sup>**

Розробка надчутливого приладу для діагностики та вимірювання елементів мікроелектроніки.

**Міночкін А.І., Кокотов О.В., Козубцов І.М.**

Методика складання частотно-почасового розкладу роботи радіозасобів декаметрового діапазону.

**Крыжный А.В.**

Методологические основы исследования проблемы долговечности сложных технических систем.

**П.К. Кузнецов, Б.В. Мартемьянов,, В.И.Семавин.**

Методы сведения и сшивки изображений, получаемых при дистанционном зондировании земли из космоса.

**Сокол В.М.**

Силовые характеристики динамически неуравновешенных вращающихся роторов (математическая модель).

Новые технологические процессы, включая нанотехнологии

**Чернов Б.О., Яворський В.М.**

Інтенсифікація видобутку нафти і газу за рахунок новітніх технологій та надійності обладнання.

**Кублановский В.С., Кравченко А.В., Пивоваров А.А., Берсирова О.Л.**

Очистка питьевых и сточных вод низкотемпературным плазменным электролизом.

**Постіл С.Д.**

Умови забезпечення якості біметалічних і багат шарових відливок.

**Кадыров Дмитрий Буттаевич, Лившиц Михаил Юрьевич.**

Системное моделирование процесса кристаллизации парафинов.

**Берсирова О.Л., Кублановский В.С.**

Электрохимический метод формирования наноструктур серебра и золота.

**Богорощ А.Т., Воронов С.А., Ларкин С.Ю.**

Защитные покрытия нанообъектов и их свойства.

**Радкевич М.М.**

Влияние программной деформационно-термической обработки на формирование структуры и свойств деталей.

**Ткаченко В.Г., Руденко А.Ф., Алексеева Н.В., Заболотная В.П.**

Градации степеней качества свинины.

**Писаренко В.Г.**

Впровадження комбінованої хіміко-термічної обробки деталей спец. техніки.

**Остафьев В.А., Диордица И.Н.**

Разработка основных принципов построения системы определения момента и координат касания инструмента и детали.

Контроль и диагностика состояния изделий и процессов.

**Gabriel WROBEL, Jozef STABIK, Maciej ROJEK.**

Acoustic Diagnostic Methods of Polymer Matrix Composites Degradation.

**Gabriel Wróbel, Małgorzata Szymiczek.**

Influence of Temperature on the Expansive Deposition of Inner PE Lining in Pipelines.

**Gabriel Wrobel, Zbigniew Rdzawski, Grzegorz Muzia, Sebastian Pawlak**

The Application of Infrared Thermography for Quality Evaluation of CFRP Composites.

**Ł. Suchoń, J. Stabik, M. Rojek, M. Szczepanik.**

Mechanical Properties of Polyamide Filled with Hard Coal.

Monika Szczepanik, Jozef Stabik, Gabriel Wrobel, Agnieszka Dybowska.

**Epoxy Composites with Gradient of Electrical Properties.**

Regita Bendikiene, Rasa Vitkeviciene.

**Transformation Plasticity Of Steel During Quenching.**

S.S. Sherbakov.

**Stress-strain State Caused by Simultaneous Action of Contact and Non-contact Forces.**

L.A. Sosnovskiy, M.A. Zhuravkov, S.S. Sherbakov.

**Dangerous Volume as the Measure of Damage.**

**Renata Dwornicka.**

The Comparison of TRD 301 Regulations and PN-EN 12952-3:204/APL:2005 Standard with the Example of SKS1 Main Steam Valve.

**Renata Dwornicka.**

The Comparison of TRD 301 Regulations and PN-EN 12952-3:204/APL:2005 Standard Used for Cooling/Heating Rates Calculation.

**Jacek Pietraszek.**

SQL-Based Dynamic Feature Filtering in Knowledge Database.

**Jacek Pietraszek.**

Object Structure and Dependencies of the Knowledge Database Feature Dynamic Filter.

Петращук С.А., Ковтун І.І.

**Визначення температурного розподілу в гермомодулях при термоударах.**

Туманишвили Г. И., Звиадаури В. С., Челидзе М. А.

**Особенности нагруженности и повреждаемости колеса и рельса.**

Przemysław Osocha.

**Modelling of Creep Process Leading to Rupture for P91 Steel Material.**

Przemysław Osocha.

**Methods of Cyclic Worn Calculation for Thick Walled Pressure Pipe Elements.**

Экономические и управленческие вопросы повышения качества и надежности

Силин Р.И.

**Значение менеджмента в организации производства.**

Богорош А.Т.

**Пеленгационные характеристики инновационно-экономической матрицы для приоритетных направлений.**

Grigore Belostecinic, Corneliu Guțu.

**Competitiveness Management in Economy Based on Knowledge.**

Corneliu Guțu.

**Competitiveness, Clusters and Innovation in Republic of Moldova.**

Ройзман В.П.<sup>1</sup>, Чоловский Р.Г.<sup>1</sup>, Горошко А.В.<sup>1</sup>, Богорош А.Т.<sup>2</sup>, Бубулис А.<sup>3</sup>

**Значение изучения механики при подготовке в высшей школе специалистов по электронике.**

Ройзман В.П., Чоловский Р.Г., Горошко А.В.

**Проблемы тестирования.**

Бахтіна Г.П.

**Фундаменталізація як пріоритетна складова інженерної освіти в умовах освітньої євроінтеграції.**