

С. Торайғыров атындағы Павлодар мемлекеттік  
университетінің ғылыми журналы  
Научный журнал Павлодарского государственного  
университета им. С. Торайғырова

---

*1997 жылы құрылған  
Основан в 1997 г.*

İ Ì Ó  
ÕÀÁÀÐØ ÛÑÛ

ÂÃÑÒÍ ÈÊ Ì ÑÓ

ЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ СЕРИЯ

Научный журнал Павлодарского государственного университета  
им. С. Торайгырова

### СВИДЕТЕЛЬСТВО

о постановке на учет средства массовой информации  
№ 4533-Ж

выдано Министерством культуры, информации и общественного согласия  
Республики Казахстан  
31 декабря 2003 года

Арын Е.М., д.э.н., профессор (главный редактор);  
Кислов А.П., к.т.н., доцент (зам. гл. редактора);  
Бергузинов А.Н. (отв. секретарь).

### Редакционная коллегия:

Баубеков К.Т., к.т.н., доцент;  
Глазырин А.И., д.т.н., профессор;  
Глазырин С.А., к.т.н., доцент;  
Захаров И.В., д.т.н., доцент;  
Клецель М.Я., д.т.н., профессор;  
Новожиллов А.Н., д.т.н., профессор;  
Тастенов А.Д., к.т.н., доцент;  
Утегулов Б.Б., д.т.н., профессор;  
Хацевский В.Ф., д.т.н., профессор;  
Сейтахметова Г.Н. (тех.редактор).

За достоверность материалов и рекламы ответственность несут авторы и рекламодатели.  
Мнение авторов публикаций не всегда совпадает с мнением редакции.  
Редакция оставляет за собой право на отклонение материалов.  
Рукописи и дискеты не возвращаются.  
При использовании материалов журнала ссылка на «Вестник ПГУ» обязательна.

© ПГУ им. С. Торайгырова

### ҚҰРМЕТТІ ОҚЫРМАНДАР!

Бүгінгі жаңашылдық пен өрлеу заманында қазақ ұлтының даналығы мен зерделілігін танытуда, іскерлік әлеуетін көрсету мақсатында көшбасшылық, интеллектуалды жағдай қажет. Ғылыми-инновациялық экономиканың негізі болу керек. Бұл мүмкіндік дәлелі соңғы бес жылдың ішінде қазақ ғылымын қаржыландыру 4 есеге артты. Қазақстан 13-бағытта «Инновациялық даму» көрсеткіші бойынша жаһандық бәсекеге қабілетті рейтингісінде өз орнын жақсартты. 2012 жылға дейін Мемлекеттік ғылымның даму бағдарламасы жүзеге асу кезеңінде тұр.

Аталмыш ғылыми журналдың жарыққа шығуы – зерделік әлеуетімізді күшейту бағытындағы маңызды да мәнді шаралардың бірі. Журнал ғылыми-білімдік қызметті насихаттауда, ғылыми біліммен алмасу, ғылымның өзекті мәселелерін талқылауда, ғылыми-теориялық тұжырымдар мен көзқарастарды танытумен бірге қоғамның ғылыми-білімдік мәселелерін де шешеді.

Кезінде ұлы математик Д. Пойа ғылыми әрекет пен ғылыми қызметтің принциптерін төмендегідей тұжырымдаған екен:

Бірінші принцип – «Біз өзіміздің кез келген көзқарасымызды қайта қарауға дайынбыз» – ол үшін «ақыл ерлігін» талап етеді. Екінші – «Шұғыл жағдайлар болған кезде және оны жасауға – біздің көзқарасымыз өзгеру қажет» – ол үшін «ақыл адалдығын» талап етеді. Үшінші принцип – «Біз өз бетімізбен, жеткілікті негіздемесіз көзқарасымыз бен тұжырымдарымызды өзгертуіміз керек» – ол үшін «ақыл ұстамдылығын» талап етеді.

Бұл принциптер біздің журналымыздың ұстанатын басты қағидалары. Журналымыздың жаңа шығарылымының тек бет мұқабасы ғана өзгеріп қана қойған жоқ, оның мазмұндық мәні де арта түсті.

Журналдың безендірілу мәнімен бірге ғалымдардың ұсынатын ғылыми мәселелері жан-жақты талқыланып, аймақтың аспектісі кеңейді. Мәтін мазмұнына қойылатын талап күшейтіліп, дұрыс, сауатты ғылым талабына сай болатындай жарыққа шығару мәселесі қойылып отыр.

Бірақ әрқашанда біздің журналымыз ғылым ғаламатын таныту мен тануда адалдық пен ақыл ерлігін және ақыл ұстанымдылығы қала берді.

С. Торайгыров ат. ПМУ  
ректоры э.ғ.д, профессор



Е. Арин

## УВАЖАЕМЫЕ ЧИТАТЕЛИ!

Казахстану сегодня необходима интеллектуальная революция, которая позволит пробудить и реализовать потенциал нашей нации. Наука должна стать основой инновационной экономики. Этому есть все предпосылки – за последние пять лет финансирование казахстанской науки увеличилось почти в 4 раза. Казахстан на 13 позиций улучшил свое место в рейтинге глобальной конкурентоспособности по индексу «Инновационное развитие». В стадии реализации – Государственная программа развития науки до 2012 года.

Выпуск этого научного журнала – одна из значимых мер, направленных на усиление интеллектуального потенциала. Пропаганда научно-образовательной деятельности, обмен научными знаниями, обсуждение актуальных проблем науки, концепций, теорий, взглядов – журнал решает эти и другие, не менее важные, задачи научно-образовательного сообщества.

В свое время великий математик Д. Пойа сформулировал принципы научной деятельности:

Первый принцип – «Мы готовы пересмотреть любое из наших представлений» – требует «мужества ума». Второй – «Наши представления должны быть изменены, когда имеются веские обстоятельства, вынуждающие это сделать» – требует «честности ума».

Третий принцип великого математика – «мы не должны изменять представления произвольно, без достаточных оснований» – требует «мудрой сдержанности».

Эти принципы созвучны с духом нашего научного издания. Более того, модернизация журнала, которую Вы наблюдаете, держа в руках новый номер, сказался не только на внешнем его облике. Новое оформление – лишь отражение тех перемен, которые привнесены редакцией в его содержание. Усилен региональный аспект, предусмотрено обсуждение той или иной актуальной проблемы рядом ученых, предлагающими различные варианты ее решения, требовательнее мы стали и к редакции текста, но неизменными в нашем издании останутся три составляющих – честность и мужество ума и сдержанность по отношению к научным оппонентам.

Ректор ПГУ им. С. Торайгырова  
д.э.н., профессор



Е. Арын

## МАЗМҰНЫ

<b>Б.А. Жаутиков, Н.Х. Шарипов, Г.Г. Таткеева, А.В. Колесник</b> Метанның көмір қабатынан алынуы .....	11
<b>Б.А. Жұмағазин</b> Энергетикадағы активті магнит подшипниктерінің жағдайы мен қолдану болашағы.....	14
<b>С.С. Исенов</b> Екі қозғалтқышты асинхронды электржетегінің «MATLAB» бағдарламасының виртуалдық ортасында аралас басқарылатын принципиалдық сұлбасын және имитациялық моделін құрастыру .....	22
<b>Г.Т. Итыбаева</b> Цилиндрлік тесіктерді өңдеу үшін арналған үнгі-тартажонғыш .....	30
<b>Т.Г. Кадкина, М.В. Кунцевич, О.В. Говорун, Д.В. Говорун</b> Тозған электржабдықтарды пайдалану кезіндегі диагностикалау тиімділігі .....	42
<b>А.Ж. Касенов</b> Цилиндрлік тесіктерді өңдеу үшін арналған ұңғылаш-тартажонғыш .....	48
<b>А.П. Кислов, А.Н. Бергузинов, С.И. Игонин</b> Қызудың цилиндрлік жүйедегі индукторға магниттік сымның және енгізудің коэффициенттер өсерін талдау.....	60
<b>А.П. Кислов, К.М. Дюсенов, А.Н. Бергузинов, С.И. Игонин</b> Түйіндес есептердегі индукциялық қыздыру және ұзынөлшемді полимер қапталуды технологиялық өңдеу жылуалмасуды басқару сұрақтары .....	71
<b>О. Құрманұлы</b> Студенттердің кәсіптік білімдерінің және іс - әрекеттерінің қалыптасуына әдістемелік және дидактикалық материалдардың маңызы .....	76
<b>А.М. Марасулов</b> Сұйығы бар құбырдың сызықтық бөлігінің статикалық есебінің нәтижелері.....	83
<b>С.А. Мендыбаев, Н.И. Глухова, Л.И. Кривко</b> Автоматтық жөндеу жүйесіндегі математикалық модельдерін өңдеу .....	92
<b>Ж.К. Мусина</b> Жиексіз екіұшты бұрғылар .....	97
<b>Р.М. Мұстафина</b> Қазақстан аймақтарының энергетикалық қауіпсіздігінің мәселелері .....	110
<b>В.И. Пархоменко, С.Е. Козориз</b> Шынжыртабанды өндірістік трактордың тоқтатқыш тежегішін S-тәрізді бұрылыс фазасында есептеу .....	116
<b>У.С. Сүлейменов, А.М. Марасулов, А.Б. Молдағалиев</b> Жер үсті құбырлар үлгілерінің кернеулену-деформациялану күйін статикалық өсерлерге тәжірибелік жолмен зерттеу нәтижелері .....	124
<b>Г.Г. Таткеева</b> Газды оралымның деформирленілген күйінің сандық моделденуі .....	129

**К.К. Тохтибакиев, Д.Ж. Джексенбинов**

Идентификация әдістері негізінде үйлестіру желісі моделінің параметрлерін нақтылау.....134

**К.В. Хацевский**

Сұйық пен газдардың индукциялық жылытуды жетілдіру.....143

**Ж.Д. Жайлаубаев**

Басқаруды жинақтауда ғайып болу фазасымен майды бөлу жылдамдығы .....147

Біздің авторлар .....152

Авторлар үшін ереже.....154

**СОДЕРЖАНИЕ****Б.А. Жаутиков, Н.Х. Шарипов, Г.Г. Таткеева, А.В. Колесник**

Высвобождение метана из угольного пласта .....11

**Б.А. Жумагазин**

Состояние и перспективы применения активных магнитных подшипников в энергетике .....14

**С.С. Исенов**

Разработка принципиальной схемы со смешанным управлением и имитационной модели двухдвигательного асинхронного электропривода в виртуальной среде программы «MATLAB».....22

**Г.Т. Итыбаева**

Зенкер-протяжка для обработки цилиндрических отверстий .....30

**Т.Г. Кадкина, М.В. Кунцевич, О.В. Говорун, Д.В. Говорун**

Эффективность диагностики при эксплуатации изношенного электрооборудования .....42

**А.Ж. Касенов**

Развёртка-протяжка для обработки цилиндрических отверстий .....48

**А.П. Кислов, А.Н. Бергузинов, С.И. Игонин**

Анализ коэффициентов влияния магнитопровода и загрузки на индуктор в цилиндрической системе нагрева .....60

**А.П. Кислов, К.М. Дюсенов, А.Н. Бергузинов, С.И. Игонин**

Вопросы управления теплообменом в сопряженных задачах индукционного нагрева и технологической обработки длинномерных полимерных покрытий.....71

**О. Курманулы**

Значение учебно-методических и дидактических материалов для формирования профессиональных знаний и умений студентов.....76

**А.М. Марасулов**

Результаты статического расчета линейной части трубопровода с жидкостью.....83

**С.А. Мендыбаев, Н.И. Глухова, Л.И. Кривко**

Разработка математической модели системы автоматического регулирования.....92

**Ж.К. Мусина**

Двухвершинные сверла без поперечной кромки.....97

**Р.М. Мустафина**

Проблемы энергетической безопасности регионов Казахстана .....110

**В.И. Пархоменко, С.Е. Козориз**

Расчет остановочных тормозов гусеничного промышленного трактора в фазе S-образного поворота .....116

**У.С. Сулейменов, А.М. Марасулов, А.Б. Молдагалиев**

Результаты экспериментальных исследований напряженно-деформированного состояния моделей надземного трубопровода на статические воздействия.....124

**Г.Г. Таткеева**

Численное моделирование напряжённо-деформированного состояния газовой обвязки.....129

**К.К. Тохтибакиев, Д.Ж. Джексенбинов**

Уточнение параметров модели распределительной сети на основе методов идентификации.....134

**К.В. Хацевский**

Совершенствование индукционного нагревателя жидкостей и газов .....143

**Ж.Д. Жайлаубаев**

Обобщенное уравнение скорости разделения жира с испарением фаз....147

Наши авторы .....152

Правила для авторов .....154

## CONTENT

**B.A. Zhautikov, N.H. Sharipov, G.G. Tatkeyeva, A.V. Kolesnik**

Liberation of methane from the coal layer ..... 11

**B.A. Zhumagazin**

Status and prospects of application of active magnetic bearings in the energy sector.....14

**S.S. Issenov**

Development simulation models double-motor anisochronous electric drive in virtual ambience of program «Matlab» .....22

**G.T. Itybaeva**

Zenker-broach for treatment of cylindrical holes .....30

**T.G. Kadkina, M.B. Kuntsevich, O.V. Govorun, D.V. Govorun**

Efficiency of diagnostics at operation of the worn out electric equipment .....42

**A.ZH. Kasenov**

Scan-broach for treatment of cylindrical holes .....48

**A.P. Kislov, A.N. Berguzinov, S.I. Igonin**

The analysis of the influence indices of the magnetic conductor and loading on the inductor in the cylindrical system of heating .....60

**A.P. Kislov, K.M. Duseneyev, A.N. Berguzinov, S.I. Igonin**

Questions of management by heat exchange of interfaced induction heating problems and technological processing of lengthy polymeric coverings.....71

**O. Kurmanuly**

Significance of scholastic – methodical and didactical materials for shaping the professional knowledge and skills of students.....76

**A.M. Marasulov**

Results of static account of a linear part of the pipeline with a liquid .....83

**S.A. Mendybayev, N.I. Glukhova, L.I. Krivko**

Working out of mathematic model of automatic regulation system .....92

**Zh.K. Musina**

Ancipital drills without transverse edge .....97

**R.M. Mustaphina**

The energetical security problems of Kazakhstan regions ..... 110

**V.I. Parkhomenko, S.E. Kozoriz**

Peculiarities of calculation of stopping brakes of an industrial tractor in a phase of S-shaped turn.....116

**U.S. Suleimenov, A.B. Moldagaliev, A.M. Marasulov**

Results experimental research is intense - is deformed condition of models above the terrestrial pipeline on static influences.....124

**G.G. Tatkeyeva**

The numerical modeling of the intense deformed condition of the gas binding .....129

**K.K. Tokhtibakiyev, D.Zh. Jexenbinov**

Refinement of the distribution network model parameters based on the methods of identification.....134

**K. Khatsevskiy**

Perfection of induction heater of liquids and gases .....143

**Zh.D. Zhailaubayev**

Generalized equation of fat division speed with the phases' evaporation .....147

Our authors .....152

Rules for authors .....154

УДК 622.324.5

## **ВЫСВОБОЖДЕНИЕ МЕТАНА ИЗ УГОЛЬНОГО ПЛАСТА**

**Б.А.Жаутиков, Н.Х.Шарипов, Г.Г.Таткеева, А.В.Колесник**  
*Карагандинский государственный технический университет, г. Караганда*

Широкий спектр инженерных задач, комплексно решаемых при заблаговременной дегазационной подготовке газоносных угольных пластов, обусловил интенсивное развитие способа высвобождения метана из угольных пластов в плане сочетания различных технологических приемов, химических и физических эффектов при воздействии на эти пласты.

Углеметановая среда находится в состоянии твердого раствора (ТУТР). Причем, в процентном соотношении содержание метана следующее: в абсорбированном состоянии 70-85 %, в адсорбированном 8-16 %, в свободном состоянии 2-12 %. Метаносодержание угля является следствием не только давления свободного газа, но и давления вмещающих пород. В процессе разгрузки от горного давления углеметановый пласт теряет свои свойства твердого раствора прямо пропорционально снижению механических напряжений с соответствующим снижением метаносодержания.

Для воздействия на энергетические связи угля с метаном в пласте большой интерес представляет использование энергии газа и сил горного давления (геоэнергии массива). Технологически процесс может быть реализован при нагнетании рабочего агента в пласт в режиме фильтрации с последующим резким сбросом давления на устье. Сброс давления должен осуществляться с максимально возможной скоростью, при которой происходит разрушение и выброс угля и газа. Режим силового воздействия повторяется многократно. Созданная протяженная щелевидная полость формирует в угольном пласте зону повышенной трещиноватости и газопроницаемости, разгруженную от горного давления.

Данная схема может быть реализована в двух вариантах:

1 - с обработкой прискважинной зоны в режиме кавитации;

2 - совмещением пневмогидродинамического воздействия с условиями, обеспечивающими самоподдерживающееся разрушение угля в массиве.

Основным условием лавинного самоподдерживающегося разрушения угля является создание условий для быстрого высвобождения упругой энергии угля и газа за счет изменения характера напряженного состояния краевой части пласта.

Параметры воздействия на пласт имеют вид:

- минимальное давление закачки

$$P_{\min} = 0,3(g \text{ у Н} - P) + P;$$



- максимальное

$$P_{\max} = 0,75gyH,$$

где  $g$  - ускорение свободного падения;

$y$  - плотность налегающей толщи пород;

$H$  - глубина залегания пласта;

$P$  - давление газа в пласте.

Созданная при сбросе давления протяженная щелевидная полость формирует вокруг себя в угольном пласте зону высокой трещиноватости и газопроницаемости, разгруженную от горного давления, в которой открытие трещины за счет разгрузки их от горного давления обеспечивает резкий рост газопроницаемости угля. Частично разрушенный уголь, за счет возникновения новых поверхностей дегазации, увеличивает скорость газовыщеления десорбирующегося из угля газа.

Технология циклического воздействия с использованием геоэнергии (с обработкой пласта в режиме кавитации) включает:

- выбор объема и темпа нагнетания рабочих агентов - воды и воздуха;
- разработка параметров внедрения рабочих агентов для реализации эффекта кавитации с выбросом угля и газа в скважину;
- разработка последовательности технологических операций при воздействии на угольный пласт.

Исследованиями установлено, что провоцирование выброса угля из прискважинной части техногенного коллектора, формируемого в зоне заблаговременной дегазационной подготовки, достигается при закачке порции жидкости с темпом 60-80 л/с в объеме свыше 800 м и давлении на устье скважины 9,0-11,5 МПа. Сброс давления необходимо производить после закачки порции воды. Даже при объемах закачки воды в 1000 м и сбросе давления после закачки порции воздуха в 0,5-30,0 тыс. м выброса с выносом угольной мелочи из скважины на поверхность не происходит. Это обусловлено необходимостью запаса определенного количества упругой энергии, и ее реализации водой в процессе выноса угля из скважины на поверхность с режимом, исключающем образование «угольных пробок» в призабойной зоне и самой скважине.

В комплекс работ по подготовке к воздействию на прискважинную часть угольного пласта с использованием геоэнергии и пневморазгрузки входит:

- бурение скважины с поверхности на;
- обсадка скважины до уровня 1/3 мощности пласта;
- извлечение промывочной воды после удаления бурового раствора путем подачи сжатого воздуха от компрессора по буровому снаряду и отвода жидкости по рабочей колонне через устьевую арматуру;

- оборудование верхней части скважины устьевой арматурой с тремя кранами высокого давления. При создании искусственного выброса производились замеры его параметров: объем выбрасываемого газа и угля, продолжительность выброса, дебит и концентрация метана в смеси, поступающей из скважины.

Воздействие на прискважинную часть пласта с использованием геоэнергии и пневморазгрузки может быть использовано как подготовительный этап для последующего гидрорасчленения пласта. Основной целью гидрорасчленения угольного пласта является существенное повышение его проницаемости с созданием техногенного коллектора, обеспечивающего эффективный приток метана к скважине в процессе заблаговременной дегазационной подготовки, направленной на снижение газосодержания угольного массива. Полученный шахтный метан может быть использован в последствии как самостоятельный источник энергии, сжигаемый в котельных установках для получения другого вида энергии. Использование шахтного метана в котельных, переведенных с угля на газ, является одним из наименее эффективных способов переработки этого природного сырья. В этом случае экономическая эффективность утилизации достигается лишь за счет замещения части сжигаемого в шахтной котельной угля газом.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Малышев Ю.Н., Трубецкой К.Н., Айруни А.Т.. Фундаментально-прикладные методы решения проблемы метана угольных пластов - М.: Издательство Академии горных наук, 2000. - 519 с.
2. Батраков Н.Ф.. Физическая модель системы уголь-газ. - Ростов-на-Дону: Издательство СКРЦНВШ, 1992. - 272 с.
3. Сластунов С.В., Коликов К.С., Шмидт М.В.. Технология расчленения вспенивающимися растворами // Горный информационно-аналитический бюллетень. - М.: МГУ, 2004. - с. 38-39.
4. Гуревич Ю.С., Шарипов Н.Х., Шмидт М.В. Добыча и использование метана угольных месторождений. Тез. докл. научн.-техн. конф. - Караганда, КНИУИ, 1987, с. 63.
5. Шмидт М.В., Шарипов Н.Х., Ли К.Д. Исследования газопроявлений и выбороопасности при проведении подготовительной выработки в зоне гидрорасчленения пласта Дб. -В кн. Совершенствование технологии и повышение эффективности разработки угольных пластов Карагандинского бассейна. - Караганда, КНИУИ, 1988, с. 154-164.

## Түйіндеме

*Тау-кен қысымының күшін және газ энергиясын қолдана отырып, көмір қабытынан шахтылы метанды алу мүмкіндігі қарастырылды. Геоэнергетика мен пневможеңілдетуді қолданып, көмір қабытының*

скважина қасындағы бөліміне ықпал етуін дайындау үшін жұмыс кешені қарастырылды және технологиялық үрдісінің әсері бейнеленді.

#### Resume

*The possibility of extraction of mine methane from a coal layer with use of gas energy and forces of mountain pressure is considered. Describes a technological process of influence and considered the complex of works on preparation for influence on a close-hole part of a coal layer using geoenergy and pneumounloading.*

УДК 621.318.3.001.57

## СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ АКТИВНЫХ МАГНИТНЫХ ПОДШИПНИКОВ В ЭНЕРГЕТИКЕ

**Б.А. Жумагазин**

*Алматинский институт энергетики и связи, г. Алматы*

Активные магнитные подшипники (АМП), заменяющие традиционные подшипники скольжения и качения, находят все большее применение в машиностроении, в энергетике и других отраслях промышленности. АМП - это подшипник, который выдерживает нагрузки, используя электромагнитную левитацию. Суть электромагнитной левитации в АМП заключается на известном принципе активного электромагнитного подвеса вала ротора состоящего из ферромагнитного материала. Стабилизация положения вала ротора осуществляется силами магнитного притяжения, действующими на вал ротора со стороны электромагнитов, токи в которых регулируется системой автоматического управления по сигналам датчиков перемещений ротора. Полный неконтактный подвес вала ротора может быть осуществлен с помощью либо двух радиальных и одного осевого АМП, либо двух конических АМП. Количество подшипников может быть большим в зависимости от массы ротора.

Электромагнитная левитация — это управляемое электромагнитное устройство, которое удерживает вращающуюся часть машины (ротор) в заданном положении относительно неподвижной части (статора). Магнитные силы притяжения, действующие на ротор со стороны электромагнитов, управляются с помощью электронной системы управления. Поэтому конструктивно АМП состоит из двух основных частей: электромеханической части, собственно подшипника, и электронной системы управления [1]. Следовательно система электромагнитной

левитации ротора включает в себя как сами подшипники, встраиваемые в корпус машины, так и электронный блок управления, соединенный проводами с обмотками электромагнитов и датчиками. В системе управления может использоваться как аналоговая, так и более современная цифровая обработка сигналов.

АМП широко используются в таком промышленном оборудовании, как компрессоры, турбины, насосы, двигатели и генераторы. Магнитные подшипники часто применяются в счетчиках электроэнергии для измерения потребления электроэнергии. АМП также применяются в высокоточных приборах и для поддержания оборудования в вакууме, например, в маховиковых накопителях энергии. В вакууме у маховика очень низкие потери от сопротивления воздуха, но традиционные подшипники в вакууме очень быстро изнашиваются из-за отсутствия смазки.

В таблице 1 приведены классы машин с указанием преимуществ активных магнитных подшипников перед известными подшипниками качения и скольжения.

Как видно из таблицы 1, к преимуществам АМП относятся: меньшее и прогнозируемое трение (отсутствие трущихся и соприкасающихся частей); отсутствие износа; высокие рабочие скорости; отсутствие смазки (способность работать без смазки); управляемые жесткость и демпфирование (очень низкий уровень вибраций); возможность работы в вакууме, в агрессивных и чистых средах; экологическая чистота (не выделяют загрязнений); сокращение эксплуатационных расходов. АМП выдерживают скорости больше, чем любой другой вид подшипников, они фактически не имеют предельной скорости.

Таблица 1

Область применения и преимущества применения АМП в энергетике

Область применения	Преимущества активных магнитных подшипников перед известными подшипниками качения и скольжения
1	2
Турбокомпрессоры и турбовентиляторы	Применение магнитных подшипников за счет увеличения частоты вращения повышает производительность и снижает весогабаритные показатели. В случаях, когда к перекачиваемой среде предъявляются высокие требования по чистоте, являются практически единственным возможным типом опор. Используются в широком диапазоне частот вращения, мощностей, давлений и температур. Наиболее перспективная область применения: лазерные установки, газоперекачивающие агрегаты, вентиляционные агрегаты для активных, высокотемпературных и маслоопасных сред.



Турбомолекулярные насосы	Магнитные подшипники позволяют достичь требуемых для этих устройств высоких частот вращения. Неоспоримым достоинством здесь является возможность длительной работы в вакууме. Применяются в вакуумных установках со сверхвысокой степенью разрежения.
Электрошпиндели	Повышение на основе магнитных подшипников частоты вращения существенно увеличивает производительность оборудования и улучшает чистоту обработки. Перспективной является возможность комбинированного движения инструмента (микродолбежка при сверлении, микроколебания при шлифовании), что существенно повышает технологические возможности оборудования. Область применения - высокопроизводительные прецизионные металлообрабатывающие станки. Наличие системы управления позволяет получать очень высокие значения статической жесткости (не менее 100 Н/мкм).
Турбодетандеры.	Применение магнитных подшипников в криогенной технике обеспечивает повышение надежности работы и производительности высокооборотных турбодетандеров в условиях низких температур и больших перепадов давления. Возможность совмещения магнитных подшипников с электрической машиной позволяет создавать компактные турбодетандеры с электрическим отбором мощности (без компрессорных колес). Могут быть применены в кислородных, азотных и гелиевых криоустановках.
Газовые турбины	Использование в качестве опор магнитных подшипников решает проблемы смазки при высоких температурах, увеличивает ресурс работы, улучшает виброакустические характеристики. Сказанное справедливо и для случаев, когда магнитные подшипники устанавливаются в качестве опор ротора турбоэлектрического агрегата. Область применения - автономные энергоустановки.
Инерционные накопители энергии.	Содержат маховик, жестко связанный с ротором электрической машины. Накапливают энергию путем преобразования электрической энергии в кинетическую (разгон маховика) и отдают ее потребителю по мере необходимости (торможение). Наиболее эффективны при больших частотах вращения при использовании композитных супермаховиков. Использование магнитных подшипников позволяет существенно улучшить весо-габаритные и энергемкостные показатели, обеспечивает возможность управления динамикой ротора с маховиком при резких разгонах и торможении, допускает вакуумирование системы для уменьшения аэродинамических потерь. Перспективны для применения в космической технике, на транспорте, в системах требующих рекуперации энергии, в системах автономного энергоснабжения.

Ветроэнергетика	Увеличивает суммарный КПД ветрогенератора на 20% - 50% по сравнению с современными аналогами, которые используются на ветровых электростанциях, и, соответственно, уменьшает стоимость электроэнергии. Старт вращения с самого тихого бриза - 0.17-0.5 м/с ветра (в независимости от номинальной мощности) ветрогенератор, выходит на номинальную мощность уже при скорости ветра от 3 м/с, в зависимости от номинала генератора, в отличие от горизонтальных ветрогенераторов, стартовая скорость ветра которых начинается от 7-8 м/с. Ветрогенератор не зависит от направления ветра. Многополюсность расположения магнитов генераторов позволяет системе достигать номинальной мощности на малых оборотах генератора, все вертикальные ветрогенераторы, являются низкоскоростными от 120 до 300 об/мин в зависимости от номинальной мощности, в отличие от горизонтальных аналогов, где скорость вращения необходима от 300 - 650 об/мин.
-----------------	---

Одним из направлений высокоэффективного применения АМП являются возобновляемые источники энергии (ВИЭ). Использование ВИЭ в качестве альтернативы традиционным энергоносителям на современном этапе является стратегической задачей в национальном и региональном масштабе в Республике Казахстан. Поэтому исследование развития ВИЭ, как реального инструмента для комплексного решения экономических и экологических задач, становится все более актуальным. Неоспоримые преимущества их применения — неисчерпаемость и экологическая чистота, а также необходимость обеспечения энергетической безопасности страны, уменьшения объемов вредных выбросов и сохранения запасов энергоресурсов для будущих поколений, обусловили бурное развитие возобновляемой энергетики, как вполне конкурентоспособной в энергетической отрасли.

В Стратегии «Казахстан — 2030» использование энергетических ресурсов обозначено как долгосрочные приоритетные цели для устойчивого движения вперед. Чтобы использовать возобновляемую энергию, в частности энергию ветра, необходимо исследовать основные характеристики ветроэнергетического кадастра Казахстана: среднегодовая скорость ветра; повторяемость скоростей, типы и параметры функций распределения скоростей; максимальная скорость ветра; удельная мощность и удельная энергия ветра; распределение ветровых периодов и периодов затиший по длительности; ветроэнергетические ресурсы региона.

Известно, что климат Казахстана характеризуется резкой континентальностью и крайней засушливостью [2]. Продолжительность солнечного сияния на территории республики в течение года составляет от 2080 до 3080 часов. Суммарная солнечная радиация колеблется в пределах 105—125 ккал/см<sup>2</sup> на севере с увеличением к югу до 135—155 ккал/см<sup>2</sup> в год. Годовая величина радиационного баланса положительна.

Барико-циркуляционные условия над Казахстаном в холодное время определяются в основном западным отрогом азиатского антициклона. В связи с этим в среднем около 50—60% времени зимой наблюдается антициклональный режим атмосферного давления и погоды. Преобладание антициклональных барических образований оказывает весьма большое воздействие на формирование режима погодных условий в зимний период. Под их влиянием происходят температурные инверсии, зимой с усилением циклонических особенностей циркуляции наблюдаются резкие колебания температуры воздуха, достигающие в западных и юго-западных районах 20<sup>0</sup>С и более за сутки. Летом над Средней Азией и южной половиной Казахстана под влиянием интенсивного прогревания воздуха формируется обширная термическая депрессия, с которой связана жаркая ясная погода без осадков с ослаблением годовой деятельности и значительными суточными колебаниями температуры воздуха.

Режим ветра определяется местными барико-циркуляционными условиями и существенно образом изменяется при переходе от теплой половины года к холодной, в холодное время года характер преобладающих воздушных течений на большей части территории определяется западным отрогом азиатского антициклона. В теплую часть года в летние месяцы особенности ветрового режима в значительной мере определяются формирующейся в это время над Казахстаном слабо выраженной барической депрессией. В связи с этим на севере преобладающими являются северо-западные ветры, а на юге, как и зимой, сохраняется преобладание северных и северо-восточных ветров.

По данным исследования [2] поле среднегодовых скоростей ветра на территории Казахстана, весьма неоднородно (см. рисунки 1 и 2). Средние годовые скорости ветра в равнинной части изменяются в пределах от 4 - 6 м/сек на севере, до 3 - 4 м/сек на юге.

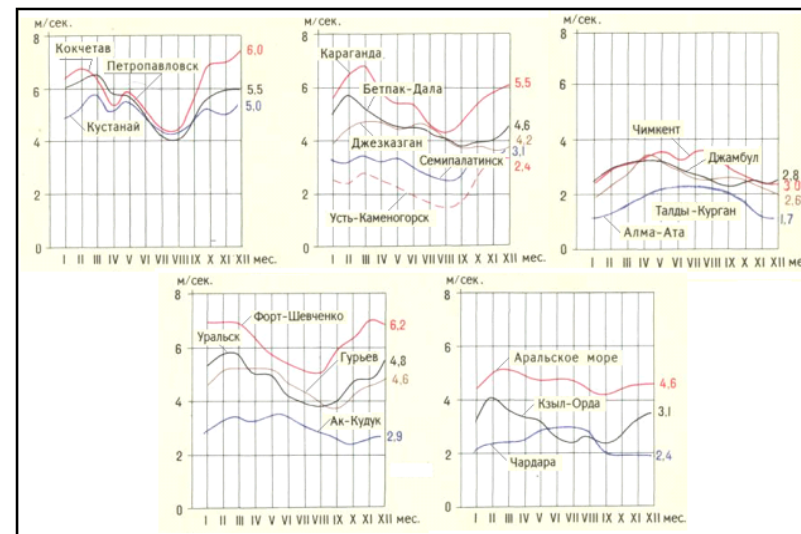


Рисунок 1 - Годовой ход скорости ветра по Республике Казахстан.

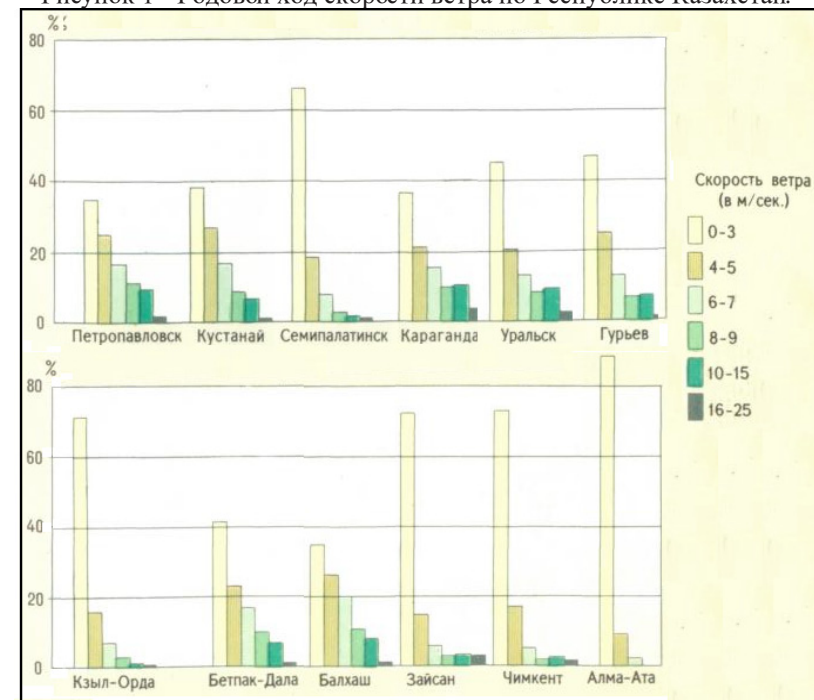


Рисунок 2 - Вероятность ветра различной скорости за год по Республике Казахстан.

Из приведенных соотношений следует, чтобы энергии ветра вышли на требуемый уровень, необходимо создать ветряную турбину, способную достичь номинальную мощность уже при скорости ветра от 3 м/с. Для создания таких принципиально новых ветряных турбин на помощь приходит магнитная левитация.

Например, ученые Исследовательского энергетического института Гуаньдзюу Китайской академии наук и компании Zhongke Hengyuan Energy Science & Technology создали первый в мире постоянный ветрогенератор с магнитной левитацией, сообщает Treehugger. Разработка представлена на выставке Wind Power Asia Exhibition 2006, проходившей в Пекине. Ротор генератора висит в воздухе в поле постоянных магнитов, что позволяет снизить трение и стартовую скорость крыльчатки. Это увеличивает суммарный КПД генератора на 20% по сравнению с современными аналогами, которые используются на ветровых электростанциях, и, соответственно, уменьшает стоимость электроэнергии.

Компания «Стожары», Украина, предлагает вертикальный бесшумный генератор различной мощности от 500 Вт до 20 кВт, где использована магнитная левитация. Применение редкоземельных магнитов вместо подшипников и редуктора, позволило им резко сократить трение и увеличить срок службы рабочих частей, ликвидировать вибрацию и шум. По данным этих производителей, доказано что, официально старт вращения с самого тихого бриза – 0,17 – 0,5 м/с ветра (в независимости от номинальной мощности) ветрогенератор выходит на номинальную мощность уже при скорости ветра от 3 м/с, в зависимости от номинала генератора, в отличие от горизонтальных ветрогенераторов, стартовая скорость ветра которых начинается от 7-8 м/с.

Таким образом, применение АМП в ветрогенераторах особенно в вертикальном исполнении, дают реальный КПД практически приближающийся к номиналу при любом направлении ветра. Данная конструкция “ловит” порывы ветра, не нуждается в обслуживании (генератор не использует в своей работе щеток, редукторов), в отличие от горизонтальных ветрогенераторов, которые необходимо обслуживать каждые полгода. Многополюсность расположения магнитов генераторов позволяет системе достигать номинальной мощности на малых оборотах генератора. Все вертикальные ветрогенераторы являются низкоскоростными от 120 до 300 об/мин в зависимости от номинальной мощности, в отличие от горизонтальных аналогов, где скорость вращения необходима от 300 до 650 об/мин.

#### Выводы

1. АМП нашли широкое применение в машиностроении, приборостроении и в энергетике. Основные преимущества: меньшее и прогнозируемое трение; отсутствие износа; высокие рабочие скорости; отсутствие смазки; управляемые жесткость и демпфирование; возможность работы в вакууме,

в агрессивных и чистых средах; экологическая чистота; сокращение эксплуатационных расходов.

2. Область применения АМП в ветроэнергетике достаточно не исследована. Необходимо проведение научного исследования применения АМП в ветроэнергетике с целью повышения номинальной мощности ветрогенератора при малых скоростях ветра.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Журавлев Ю.Н. Активные магнитные подшипники: Теория, расчет, применение. - СПб.: Политехника, 2003. - 206 с.: ил.
2. Атлас Казахской ССР. Том 1. Природные условия и ресурсы. - М.: Советская энциклопедия, 1982.

#### Түйіндеме

*Бұл мақалада энергетикадағы активті магнит подшипниктерінің (АМП) тағайындауы мен қолдану болашағы қарастырылады. Энергетикадағы активті магнит подшипниктерінің қолдану артықшылықтары көрсетілген машиналар мен құрал-жабдықтар класы келтіріледі. АМП жоғары тиімді қолдану бағыттарының бірі - жел энергетикасы. Қазақстанның әр аймағындағы желдің жылдық орташа жылдамдығының талдау нәтижелері келтіріледі. Жел турбиналарын құру үшін магнитті левитация принциптерін қолдану ұсынылады.*

#### Resume

*This article discusses the appointment and the prospects of application of active magnetic bearings (AMB) in the energy sector. A class of machinery and equipment in energy, indicating the advantages of active magnetic bearings were presented. It is said that one of the areas of high-AMB, it is wind power. The results of the analysis of annual average wind speed in different regions of Kazakhstan. It is recommended to use the principles of magnetic levitation to build wind turbines.*



УДК 621.313.333.1

## **РАЗРАБОТКА ПРИНЦИПИАЛЬНОЙ СХЕМЫ СО СМЕШАННЫМ УПРАВЛЕНИЕМ И ИМИТАЦИОННОЙ МОДЕЛИ ДВУХДВИГАТЕЛЬНОГО АСИНХРОННОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА В ВИРТУАЛЬНОЙ СРЕДЕ ПРОГРАММЫ «MATLAB»**

**С.С. Исенов**

*Павлодарский государственный университет им. С. Торайгырова*

Для ряда производственных механизмов (подъемно-транспортные, тяговые, сельскохозяйственные и т.п.) используется двухдвигательный асинхронный электропривод, регулирование координат которого осуществляется изменением добавочных сопротивлений в цепи роторов. Однако такой способ регулирования координат электропривода не может удовлетворить возросшим требованиям. Следовательно, необходимо перейти к другому способу, в котором требуемые характеристики обеспечиваются минимальными затратами, и особенно важно использовать существующие двигатели с фазным ротором, внося изменения только в электрическую часть привода.

Для повышения уровня автоматизации и надежности технологического цикла, обеспечения плавности переходных процессов при пуске и разгоне, разработано устройство автоматического смешанного управления двухдвигательным асинхронным электроприводом, где в качестве основы микропроцессорной системы управления был выбран микроконтроллер фирмы Atmel Corporation, предназначенный для электромеханических систем [1].

На основании вышеизложенного, при разработке устройства автоматического смешанного управления двухдвигательным асинхронным электроприводом, был использован специализированный микроконтроллер фирмы Atmel, позволяющий обеспечить необходимые для современной системы управления качества регулирования.

На рисунке 1 приведена разработанная принципиальная электрическая схема устройства автоматического смешанного управления двухдвигательным асинхронным электроприводом, с применением в качестве основы системы управления микропроцессорного устройства, которая содержит следующие основные элементы: ~ 380 В – трехфазная электрическая сеть; M1, M2 – асинхронные электродвигатели с фазным ротором; VS1 ÷ VS10 – тиристорные пары, служащие для преобразования и регулирования питающим напряжением; RG1, RG2 – двунаправленные регистры сдвига; UZ1, UZ2 – выпрямители; L1, L3 – сглаживающие пульсации дроссели; R<sub>1</sub>, R<sub>3</sub> – добавочные сопротивления;

VS11, VS13 – основные тиристоры, в цепи роторов; C1, C2 – конденсаторы; VS12, VS14 – вспомогательные тиристоры, в цепи роторов, тиристоры подключающие конденсаторы C1, C2 к основным тиристорам; L2, L4 – индуктивности, обеспечивающие колебательный перезаряд конденсатора; U<sub>n1</sub>, U<sub>n2</sub> – независимые источники питания конденсаторов C1, C2; VD1, VD3 – диоды служащие для прерывания колебательного разряда конденсаторов C1, C2 от источника подпитки U<sub>n1</sub>, U<sub>n2</sub>; R<sub>2</sub>, R<sub>4</sub> – сопротивления, ограничивающие ток подзарядки конденсаторов C1, C2 от независимых источников питания U<sub>n1</sub>, U<sub>n2</sub>; VD2, VD4 – диоды ограничивающие ток к источникам U<sub>n1</sub>, U<sub>n2</sub>; ОПТ1 ÷ ОПТ14 – оптроны, служащие гальванической развязкой между силовой цепью и микроконтроллером; ТА1, ТА2, ТА3 – датчики тока статора, на основе трансформаторов тока; ТС1, ТС2 – датчики скорости, на основе датчиков напряжения; Atmega 48 – микроконтроллер фирмы Atmel; LCD Display – жидкокристаллический экран.

Устройство автоматического смешанного управления двухдвигательным асинхронным электроприводом работает следующим образом.

При подключении двухдвигательного асинхронного электропривода к трехфазной электрической цепи, микропроцессорная система управления начинает плавно подавать к обмоткам статора питающее напряжение, через определенные заданные промежутки времени, одновременно с этим в фазах статора и роторов начинает протекать ток, текущие значения параметров от датчиков тока статора, с помощью блоков согласования тока и датчиков напряжения с помощью блоков согласования напряжений поступают в микропроцессорное средство, в соответствии с полученной информацией, текущие параметры модулей тока статора и напряжения преобразовывают в цифровые коды, на основе которых вычисляют текущее значение скоростей системы электропривода, получив значения скоростей микропроцессор, если есть необходимость формирует сигнал-импульс, обеспечивающий изменение скорости, в соответствии с заданными пределами регулирования, импульс через блоки гальванической развязки подается к силовым вентилям управляющих коммутаторов роторов, если же система электропривода работает в заданных пределах, то автоматическое средство работает в режиме диагностики.

Разработанное устройство автоматического смешанного управления в цепи статора и роторов двигателей – M1, M2, с применением в качестве системы управления микропроцессорного средства Atmega 48, позволяет исключить броски при пуске и обеспечить плавный разгон электродвигателей – M1, M2, регулирование в цепи выпрямленного тока роторов обеспечивает целенаправленное воздействие, при необходимости, на каждый двигатель – M1, M2, по отдельности, что ведет к более точному управлению, приводящему к надежности, синхронизации скоростей вращения и равномерной нагрузке электродвигателей – M1, M2.

На основе полученной принципиальной электрической схемы со смешанным управлением электромеханической системой, необходимо разработать

виртуальную модель двухдвигательного асинхронного электропривода, для проверки основных теоретических положений экспериментальным путем.

В настоящее время разработано много виртуальных программ, которые смогли бы смоделировать и исследовать различные электромеханические системы. Современные компьютерные технологии, в основе которых лежат прикладные пакеты, предоставляют возможность более глубокого изучения вопросов, связанных с проектированием полупроводникового электропривода. Они позволяют качественно изменить и существенно улучшить технологию моделирования, перевести ее в виртуальную действительность, осуществить в этой виртуальной лаборатории необходимые исследования с получением количественных результатов.

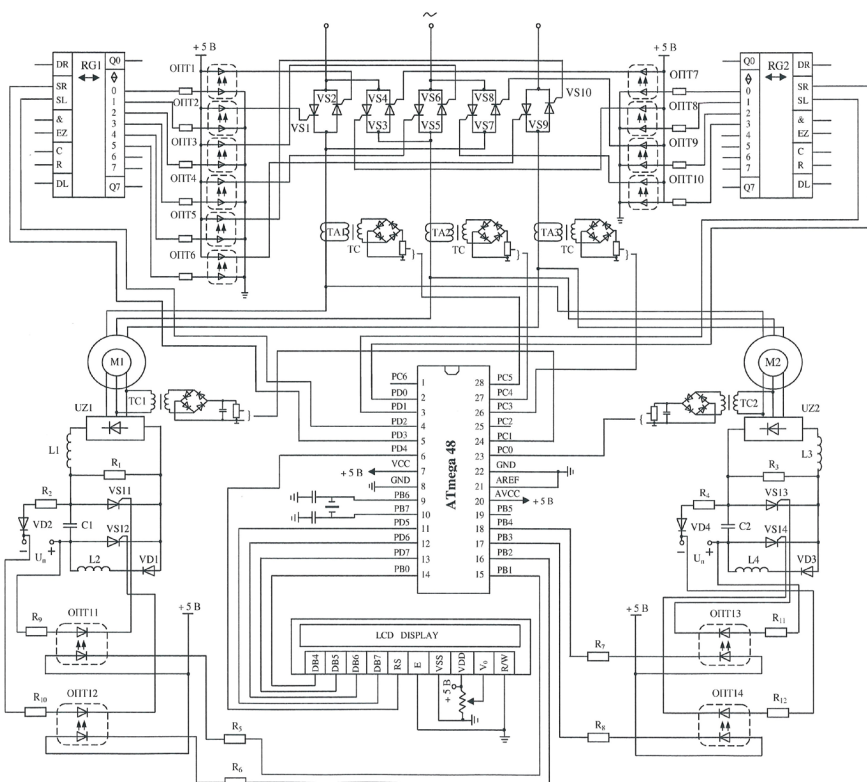


Рисунок 1 – Принципиальная электрическая схема устройства автоматического смешанного управления двухдвигательным асинхронным электроприводом

Однако проблемы, возникающие на пути решения этой задачи, могут быть преодолены только путем глубокого изучения физических явлений во всех звеньях системы. В настоящее время имеется обширная литература по теории электропривода. С другой стороны, имеется литература по прикладным пакетам. Однако практически отсутствуют работы, в которых теоретические вопросы регулируемого электропривода исследовались бы с привлечением компьютерных прикладных программ.

Виртуальное компьютерное моделирование, на сегодняшний день направлено на освоение прикладных технических пакетов, с демонстрационными возможностями пакета и компьютера. Поэтому в настоящее время разработан ряд программных продуктов, не требующих навыков программирования и получивших, благодаря огромным возможностям математического моделирования различных классов систем, широкое распространение в научной среде.

В результате проведенного сравнительного анализа программных средств математического моделирования на рынке компьютерных технологий был выбран пакет расширения визуально-имитационного моделирования Simulink математической системы «Matlab».

Достоинствами математической системы «Matlab» является наличие открытой архитектуры, что дает полный доступ пользователям к ее кодам на гибком и мощном языке программирования этой системы. Он является одним из лучших и высокоэффективных языков программирования для научно-технических расчетов и создания удобных и очень наглядных визуально-ориентированных средств анализа, идентификации, построения и моделирования систем и различных устройств.

Версия системы «Matlab» поставляется вместе с пакетом расширения Simulink, предназначенным и для математического моделирования динамических систем, модели которых состояются из отдельных блоков (компонентов). В нем реализованы принципы визуально-ориентированного программирования, что позволяет легко набирать нужные блоки и соединять их с целью составления модели системы или устройства. При этом сложнейшие уравнения состояния, описывающие работу моделей систем или устройств, формируются автоматически.

По удобству графического пользовательского интерфейса, обилию моделей (блоков) компонентов и в множестве библиотек, разнообразию виртуальных средств регистрации и визуализации результатов моделирования и главное, по надежности и достоверности Simulink выгодно отличается от множества подобных программ, особенно в части открытости пакета и возможностям пополнения его библиотек.

Для осуществления моделирования необходимо в окне программы из блоков библиотеки пакета Simulink собрать схему двухдвигательного асинхронного электропривода.

В процессе разработки и создания виртуальных экспериментальных исследований ставились и решались следующие задачи:

- разработка и получение структурной схемы, виртуальной имитационной модели двухдвигательного асинхронного электропривода с помощью средств пакета Matlab;
- провести эксперименты по установлению свойств динамических процессов для момента двухдвигательного асинхронного электропривода;
- провести эксперименты по установлению свойств динамических процессов для скорости двухдвигательного асинхронного электропривода.

Структурная схема двухдвигательного асинхронного электропривода в соответствии с особенностями проектируемого механизма приведена на рисунке 2. В данной схеме статический момент  $\Delta M_c$  равен статическому моменту на валах двигателей при нагруженном кране  $M_{cr} = 95,5 \text{ Н}\cdot\text{м}$ , произведение в блоке механической части двигателя  $\beta T_m$  равно приведенному к валам двигателей моменту инерции  $\Sigma J_r = 5,4 \text{ кг}\cdot\text{м}^2$  при движении крана с грузом.

На основе структурной схемы приведенной на рисунке 2, в пакете Simulink программы «Matlab» разработана имитационная модель двухдвигательного асинхронного электропривода представленной на рисунке 3. С помощью имитационной модели системы электропривода получены графики переходного процесса для момента и скорости, приведенные на рисунках 4 и 5. Основной целью рассмотрения переходных процессов является определение зависимости изменения во времени тока, момента, скорости, угла поворота вала двигателя. Нахождение этих зависимостей имеет большое практическое значение, так как они позволяют определить соответствие динамических характеристик электропривода требованиям технологического процесса, оценить допустимость возникающих в динамике тока и момента двигателя, определить правильность выбора двигателя и аппаратуры управления, рассчитать потери энергии и т.д. Особую важность этот расчёт имеет для электроприводов тех рабочих машин, для которых переходной режим является основным рабочим режимом, к числу таких машин относится кран. Также в ходе экспериментального моделирования получена механическая характеристика системы электропривода, приведенная на рисунке 6.

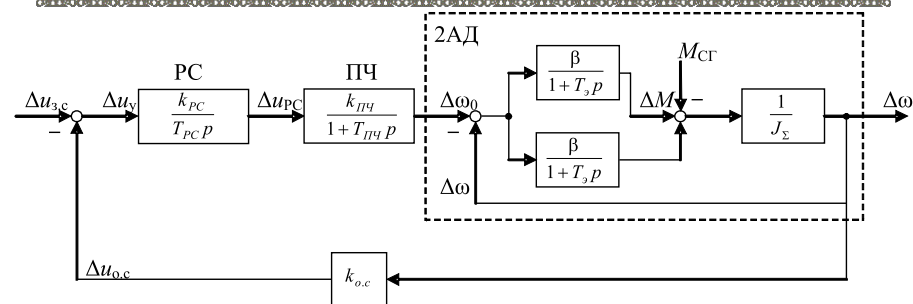


Рисунок 2 – Структурная схема двухдвигательного асинхронного электропривода

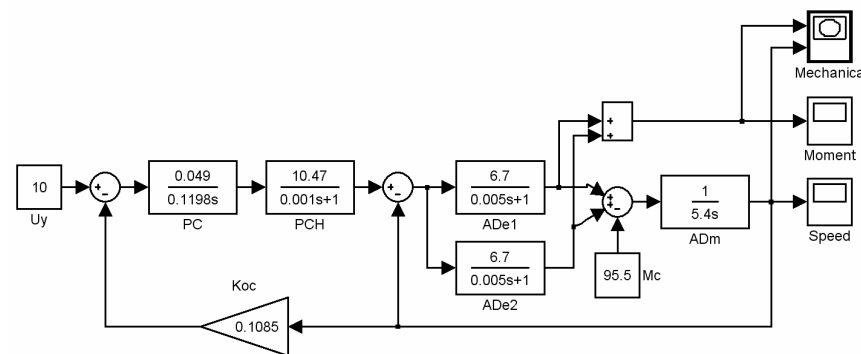


Рисунок 3 – Имитационная модель двухдвигательного асинхронного электропривода созданная в пакете Simulink программы «Matlab»

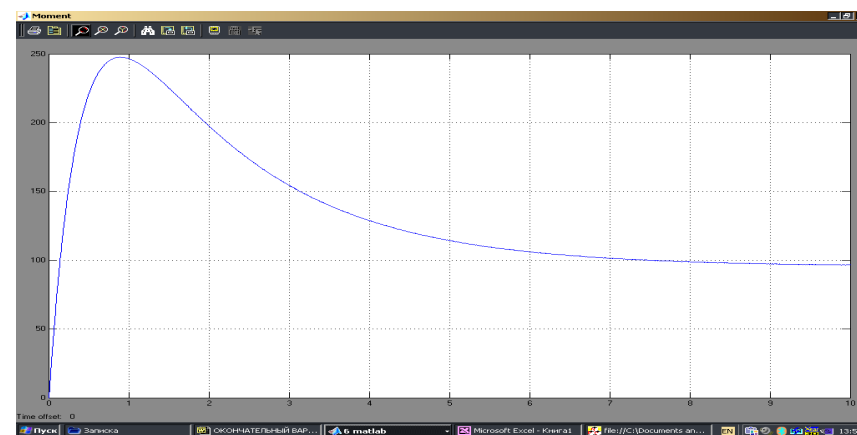


Рисунок 4 – Динамическая характеристика момента электропривода



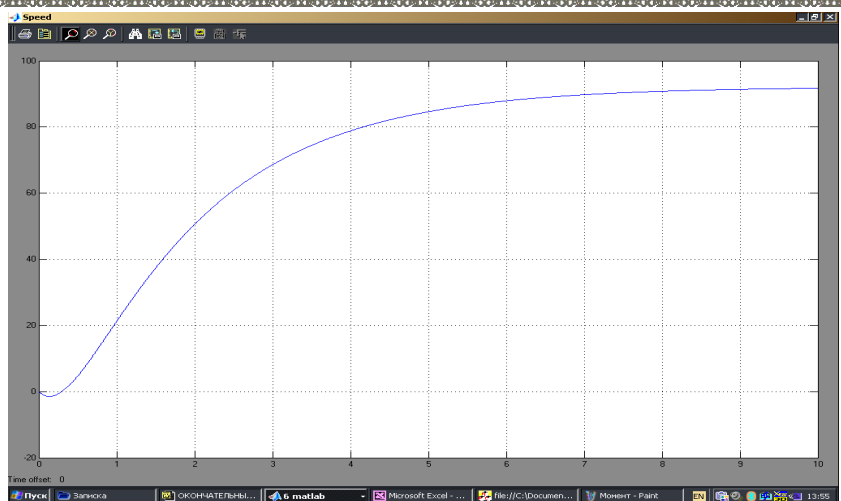


Рисунок 5 – Динамическая характеристика скорости системы электропривода

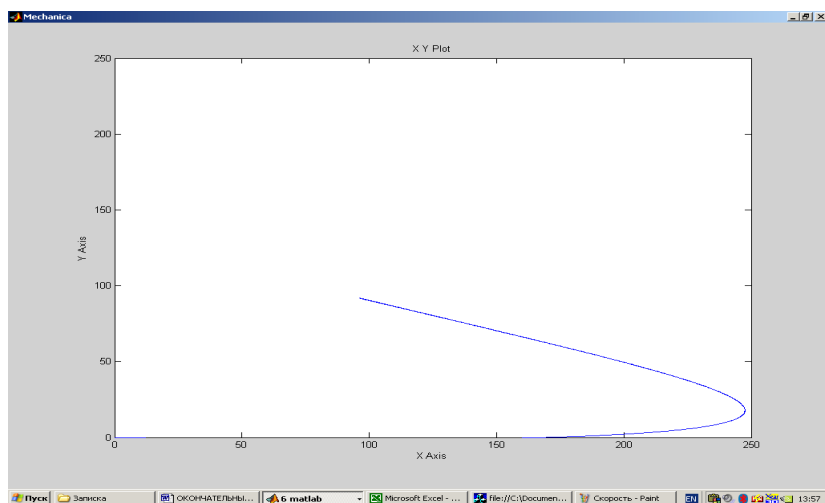


Рисунок 6 – Механическая характеристика системы электропривода

Оценивая графики динамических характеристик электропривода, необходимо отметить, что:

1) момент во время переходного процесса почти всегда (за исключением малого промежутка времени) равен расчетному пусковому моменту, а по

окончании переходного процесса принимает установившееся значение, равное моменту статического сопротивления на валу двигателя;

2) угловая скорость во время переходного процесса нарастает плавно и выходит на установившееся значение без перерегулирования. Временная задержка во время пуска обусловлена электромеханическими процессами в асинхронном двигателе и используется для снятия тормоза с тормозного шкива муфты на валу двигателя.

Вывод. Полученные динамические характеристики удовлетворяют требованиям технологического процесса, как по качественным, так и по количественным показателям.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Утегулов Б.Б., Марковский В.П., Исенов С.С. Микропроцессорное устройство автоматического комбинированного регулирования двухдвигательным асинхронным электроприводом // 2-ая Международная научно-техническая конференция «Проблемы автоматизации, управления, экономики и подготовки кадров для современных производств». – Бишкек, 2008. – С. 48-51.

### Түйіндемe

*Жұмыста микропроцессорлық басқару жүйесінің көмегімен электрқозғалтқыштардың ақырын іске қосылуына, екпіндеуіне және жұмыс процесінде жылдамдықтармен реттеуге мүмкіндік беретін екі қозғалтқышты асинхронды электржетекпен жылдамдықты үйлестірілген автоматты реттеу тәсілі әзірленді.*

### Resume

*In the article received imitation model double-motor anisochronous electric drive in the virtual ambience of program "Matlab". Conducted virtual experiments on the determination of characteristics of dynamic processes for a moment and velocity of system electric drive.*

## ЗЕНКЕР-ПРОТЯЖКА ДЛЯ ОБРАБОТКИ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ОТВЕРСТИЙ

Г.Т. Итыбаева

Пвлодарский государственный университет им. С. Торайгырова

Зенкерование является окончательной операцией обработки отверстия, либо промежуточной операцией перед его развертыванием, поэтому во втором случае при зенкеровании оставляют небольшие припуски для окончательной отделки отверстия разверткой. Зенкерование обеспечивает точность обработки отверстий по 9...11 квалитетам и шероховатость поверхности от  $Ra = 10$  мкм до  $Ra = 2,5$  мкм.

Зенкеры предназначены для обработки отверстий в литых или штампованных деталях, а также предварительно просверленных отверстий с целью повышения точности и уменьшения шероховатости поверхности отверстия. В технологическом процессе зенкер, как правило, выполняет промежуточную операцию между сверлением и развертыванием. Зенкерованием можно исправить искривление оси отверстия. В металлообработке используется большое количество различных типов зенкеров.

По виду обрабатываемых отверстий зенкеры разделяются на следующие основные группы:

- цилиндрические зенкеры, служащие для расширения на 1,0 – 8 мм цилиндрических отверстий (рисунок 1, а);
- цилиндрические зенкеры с направляющей цапфой, предназначенные для обработки цилиндрических углублений под головки винтов (рисунок 1, б);
- конические зенкеры для обработки конических углублений под головки винтов, гнезд под клапаны, снятия фасок и т.п. (рисунок 1, в);
- торцовые зенкеры для зачистки торцовых плоскостей бобышек, приливов и т.п. (рисунок 1, г).

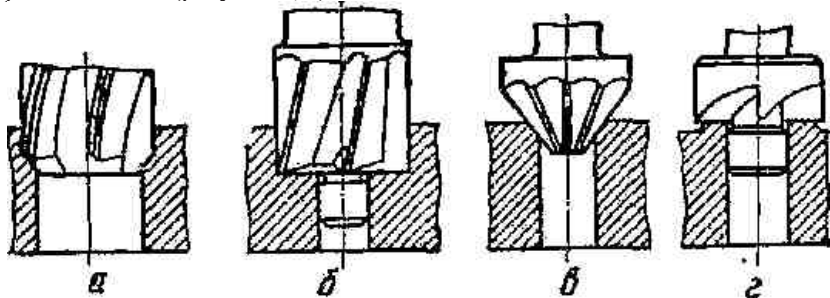
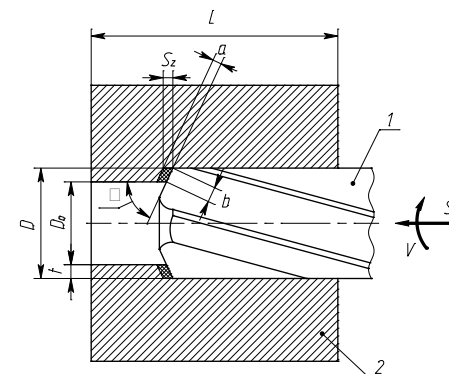


Рисунок 1 – Типы зенкеров

Процесс зенкерования происходит в сложных условиях резания. Работа резания сосредоточена на сравнительно короткой режущей части (рисунок 2). Это вызывает повышенные механической нагрузки на участке лезвия, на котором происходит отделение стружки от основного слоя материала и его деформация, что сопровождается значительным тепловыделением. Механические и термические напряжения приводят к сравнительно низкой стойкости режущих инструментов [1 - 10].



1 – зенкер; 2 – заготовка;  $\varphi$  – угол в плане;  $a$  – толщина среза;  $b$  – ширина среза;  $t$  – глубина резания;  $D$  – диаметр обрабатываемого отверстия;  $D_0$  – диаметр предварительного отверстия;  $L$  – длина обработки;  $S$  – осевая подача;  $S_z$  – подача на зуб;  $V$  – скорость резания

Рисунок 2 – Элементы резания при зенкеровании

С целью улучшения направления при работе каждый зуб зенкера снабжается цилиндрической ленточкой шириной  $h_n = (0,02...0,04)d$  и высотой  $f_n = 2...2,5$  мм у быстрорежущих зенкеров и  $f_n = 0,8...1,8$  мм у твердосплавных. Как у сверл, у зенкеров ленточки шлифуются не по цилиндру, а с небольшой конусностью. Величина обратной конусности колеблется в зависимости от диаметра зенкера от 0,04 до 0,10 мм на 100 мм длины. Ширина зуба зенкера составляет  $B = (0,4...0,48)d$  [1, 4, 10].

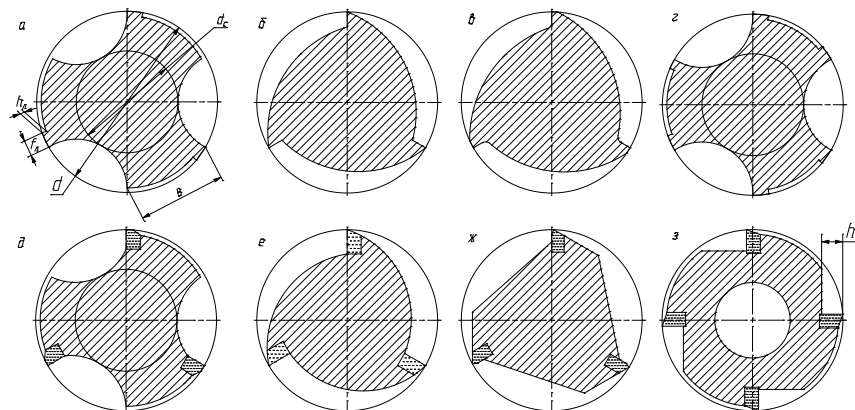


Рисунок 3 – Основные формы профиля поперечного сечения зенкеров

Профили, рисунок 3, б, в, е имеют криволинейную спинку, касательную спинку, касательная к которой в точке пересечения кривой с окружностью наружного диаметра (рисунок 3, б и е) наклонена к ней под углом  $10 - 15^\circ$ . Профиль в кроме криволинейной спинки имеет ленточку. Высота её та же, что и у профиля а. Профили д и ж применяют у зенкеров, оснащённых пластинами твёрдого сплава, не имеющих ленточки на корпусе. Профиль з применяют у насадных зенкеров, также оснащённых пластинами твёрдого сплава. Профиль г отличается наличием двух ленточек на каждом зубе, что позволяет получать отверстия качества точности Н8 [4].

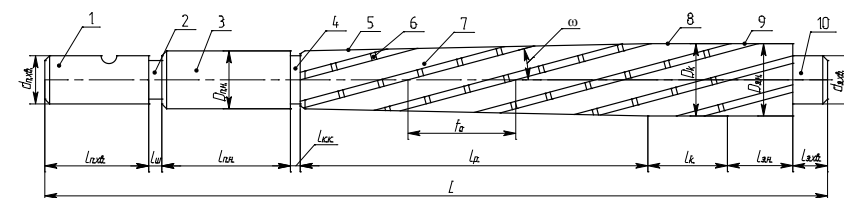
Все рассмотренные зенкеры также имеют короткую режущую часть и потому неблагоприятные условия резания: высокую температуру в зоне резания, относительно высокий износ, сравнительно низкую стойкость. Основными конструктивными элементами зенкеров является: число канавок, режущая и калибрующая части, передний и задний углы, угол наклона зубьев, угол наклона главной режущей кромки, профиль канавок, закрепительная часть (хвостовик).

Формирование обрабатываемой поверхности при обработке рассмотренными зенкерами происходит отдельно каждым зубом на участке, равным  $S_0/z$ , где  $S_0$  – подача зенкера на оборот,  $z$  – число зубьев зенкера, т.е. наиболее важная рабочая поверхность детали формируется наименее ответственным участком зуба зенкера. После затупления зенкеры перетачиваются по задней поверхности на участке режущей части, которая работает на переходной поверхности.

Учитывая анализ условий обработки и необходимость повышения качества обработки, разработаны и исследованы условия обработки новыми конструкциями режущих инструментов. Новые режущие инструменты для обработки отверстий основаны на совмещении нескольких видов операций

в одной, например зенкерование и протягивание. Применение новых конструкций зенкеров, названных зенкерами-протяжками, позволяет устранить отрицательные факторы обработки отверстий существующими зенкерами и повысить качество и точность обработки отверстий, а также стойкость инструмента. Зенкер-протяжка, в котором соединены (в один инструмент) признаки зенкера и протяжки, предназначен для обработки деталей типа гильз, втулок, колец и т.д. в серийном, крупносерийном и массовом производствах по 7–8 квалитетам точности. Получены предварительные патенты РК № 20384 от 25.09.2008г., № 20206 от 25.08.2008г., № 20973 от 25.12.2008г. [11-13].

Зенкер-протяжка конструктивно построен по следующему принципу: в осевом сечении он имеет конструктивные признаки, соответствующие протяжке: передний хвостовик, шейку, переднюю и заднюю направляющие, режущую и калибрующую части (имеют винтовые зубья, причём режущая часть имеет коническую форму, а калибрующая – цилиндрическую и протягивается через отверстие, как протяжка), а в поперечном сечении признаки зенкера: форму и число зубьев, геометрию режущей части (рисунок 4), и вращается при обработке, как зенкер.

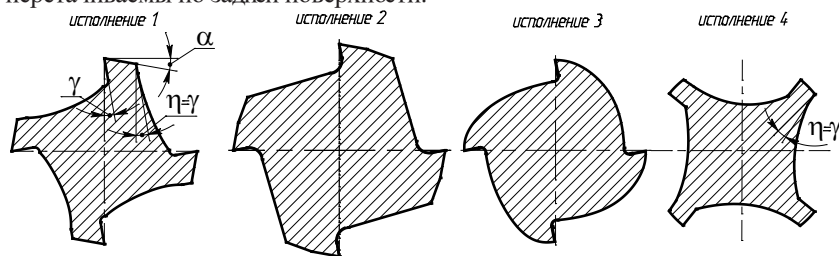


$d_{п.хв.}$ ,  $d_{з.хв.}$  – диаметр переднего и заднего хвостовика;  $d_{п.н.}$  – диаметр передней направляющей;  $d_k$  – диаметр калибрующей части;  $d_{з.н.}$  – диаметр задней направляющей;  $l_{п.хв.}$ ,  $l_{з.хв.}$  – длина переднего и заднего хвостовика;  $l_{ш}$  – длина шейки,  $l_{п.н.}$ ,  $l_{з.н.}$  – длина передней и задней направляющей;  $l_{к.к.}$  – длина кольцевой канавки,  $l_p$  – длина режущей части;  $l_k$  – длина калибрующей части;  $L$  – длина зенкера-протяжки;  $\omega$  – угол винтовых стружечных канавок, направление  $\omega$  одноимённо направлению резания;  $t_0$  – осевой шаг зенкера-протяжки; 1 – передний хвостовик; 2 – шейка; 3 – передняя направляющая; 4 – кольцевая канавка; 5 – режущая часть; 6 – стружкоделительная канавка; 7 – стружечная канавка; 8 – калибрующая часть зенкера-протяжки; 9 – задняя направляющая; 10 – задний хвостовик

Рисунок 4 – Конструктивные элементы зенкера-протяжки

На рисунке 5 показаны поперечные сечения и форма зубьев зенкера-протяжки в нормальном сечении режущей части (исполнения 1, 2, 3) и калибрующей части – исполнение 4. В поперечном сечении профиль винтовых

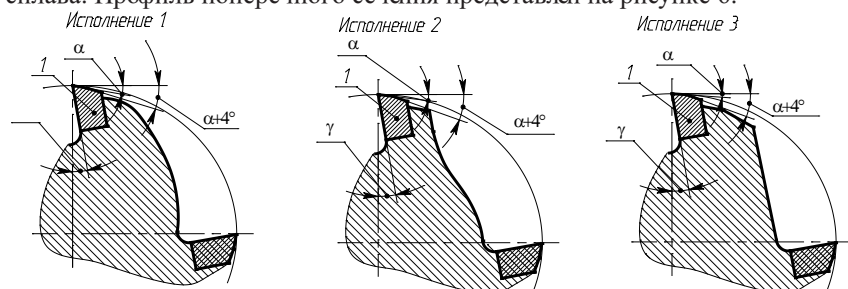
зубьев зенкера-протяжки может быть следующих исполнений: стандартный профиль зубьев зенкера (исполнение 2, 3), и равноширокий профиль зубьев (исполнение 1). Применение равноширокого профиля зубьев позволит увеличить стойкость зенкера-протяжки, количество переточек, а следовательно, и увеличить срок службы за счёт переточки по задней поверхности, в отличие, от протяжки с круглым зубом, по аналогии с протяжкой с винтовым зубом [14], и воссоздавать состояние задней поверхности после переточки до состояния нового инструмента, что приведёт к повышению качества обработки. Все 1, 2, 3 и 4 могут быть перетачиваемы по задней поверхности.



$\gamma$  – передний угол;  $\alpha$  – задний угол;  $\eta$  – угол на спинке зуба ( $\eta=\gamma$ )

Рисунок 5 – Профиль поперечного сечения зенкера-протяжки

Материалом режущей части зенкера-протяжки может быть как быстрорежущая сталь Р6М5, Р18, так и напаянные пластинки твёрдого сплава. Профиль поперечного сечения представлен на рисунке 6.



1 – пластинка твёрдого сплава;  $\gamma$  – передний угол;  $\alpha$  – задний угол;  $\eta$  – угол на спинке зуба ( $\eta=\gamma$ )

Рисунок 6 – Профиль поперечного сечения зенкера-протяжки с пластинками твёрдого сплава

Предлагаемая конструкция зенкера-протяжки включает в своей конструкции элементы зенкера и протяжки, сочетание которых создаёт более благоприятные

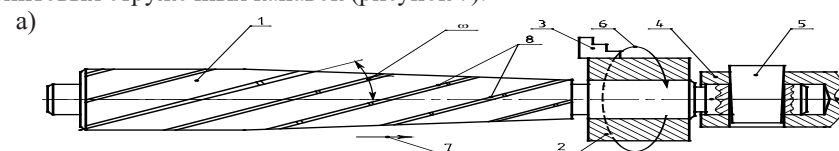
условия резания. Работа резания распределена по длинной режущей части, как у протяжки с винтовым зубом, форма зубьев в поперечном сечении с профилем стружечной канавки, а также рабочие движения (сочетание вращательного и поступательного движений) – как у зенкера.

В результате предлагаемый инструмент по конструктивным элементам сочетает в себе признаки протяжки с винтовыми зубьями и обеспечивает скорость резания, как при протягивании, и признаки зенкера (направление зубьев: правое или левое), при соответственно правом и левом резании, число и форма зубьев, вращение при резании: зенкера-протяжки или детали. Число канавок у зенкера может быть 2, 3, 4, 6. Если необходимо снять большой припуск, то для увеличения пространства для помещения стружки применяются зенкеры с 3 или с 2 канавками. Зенкеры мелких и средних диаметров (10–32 мм) выполняются с 3 канавками, крупных диаметров (58 мм и выше) с 6 канавками. Для предлагаемого зенкера-протяжки число канавок выбирается от 3 до 6 для обработки отверстий всего диапазона диаметров.

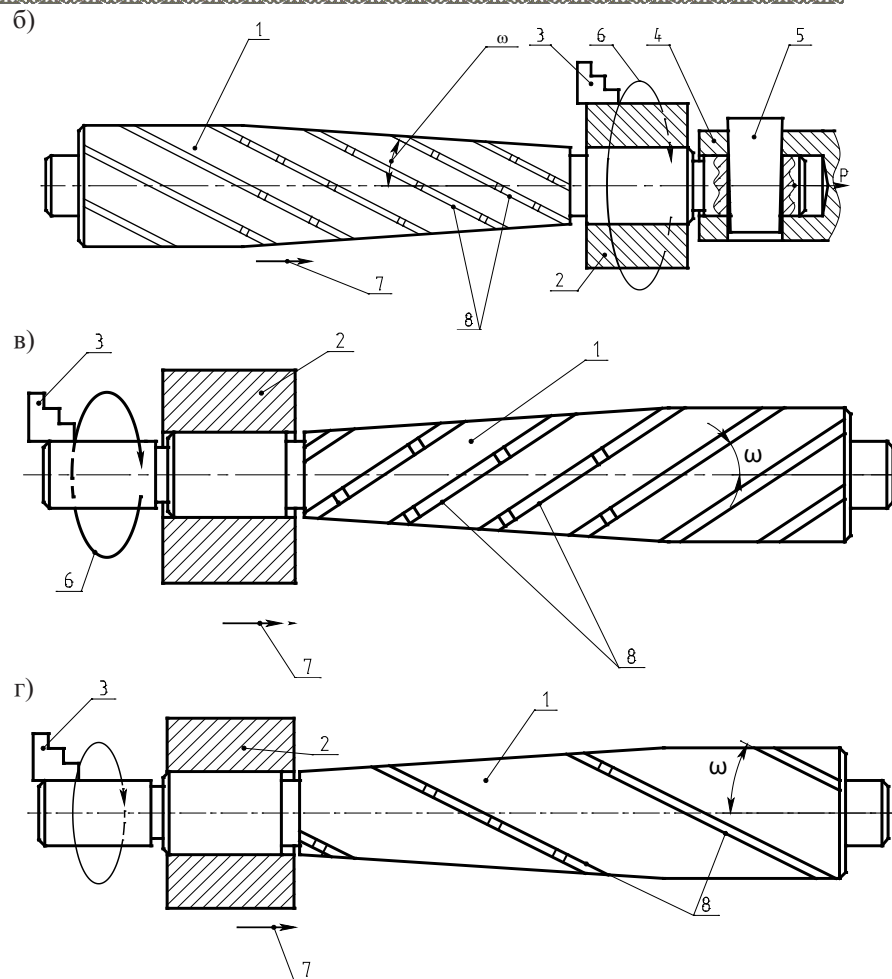
В новой конструкции режущего инструмента, зенкера-протяжки использованы преимущества протяжки: сравнительно невысокая скорость резания, качество обработки (точность размера, шероховатость, уменьшение истирания).

Обработка отверстий деталей машин зенкером-протяжкой осуществляется на токарном станке следующими способами: закреплением зенкера-протяжки в патрона или на суппорте токарного станка с левым или правым направлением винтовых стружечных канавок в зависимости от направления вращения шпинделя с режущим инструментом [13]. Для массового производства может быть применён станок типа агрегатного.

Обработка отверстий деталей машин зенкером-протяжкой осуществляется на токарном станке следующими способами: закреплением зенкера-протяжки в патроне и на суппорте токарного станка с левым или правым направлением винтовых стружечных канавок (рисунок 7).







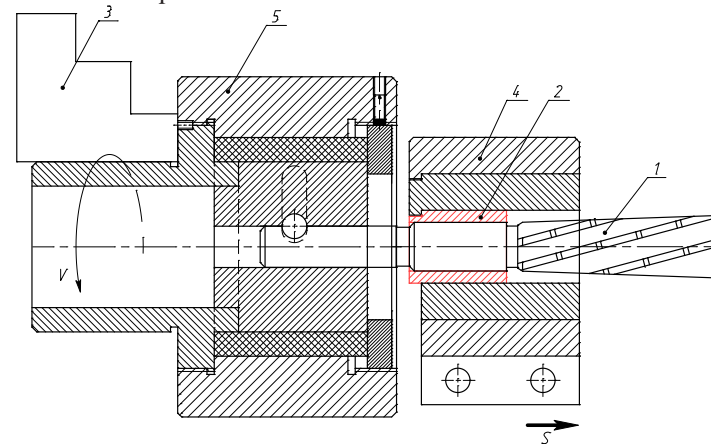
а, в – правое направление винтовых стружечных канавок;  
 б, г – левое направление винтовых стружечных канавок  
 1 – зенкер-протяжка; 2 – заготовка; 3 – патрон станка, в котором закрепляется заготовка; 4 – продольное перемещение зенкера-протяжки (заготовки); 5 – вращательное движение заготовки (зенкера-протяжки); 6 – тяговый патрон; 7 – чека-клин для закрепления зенкера-протяжки в тяговом патроне; 8 – режущие кромки зубьев в сечении, перпендикулярном к направлению зубьев; P – осевое усилие протягивания;  $\omega$  – угол наклона винтовой стружечной канавки.

Рисунок 7 – Схема обработки зенкером-протяжкой

Схема обработки зенкером-протяжкой при установке заготовки на суппорте токарного станка (рисунке 7 в, г) более приемлема, т.к., исключается погрешность от сил зажима патрона токарного станка, что оказывает влияние на форму обрабатываемого отверстия.

Для исключения влияния геометрических погрешностей станка (радиального биения шпинделя, износа направляющих станины и т.п.) разработан плавающий патрон, устанавливаемый в патрон станка, также разработано приспособление для установки заготовки в резцедержателе на суппорте. На рисунке 8 представлена схема обработки зенкером-протяжкой цилиндрического отверстия на токарно-винторезном станке.

Формообразование отверстия производится на всей длине длинной режущей части на более мягких режимах с меньшим тепловым воздействием на заготовку и плавным переходом режущей в калибрующую часть (малый угол конуса режущей части), что способствует повышению качества обработанной поверхности.



1 – зенкер-протяжка, 2 – обрабатываемая деталь, 3 – патрон токарно-винторезного станка, 4 – приспособление для установки, обрабатываемой детали, 5 – плавающий патрон, V – направление вращения зенкера-протяжки, S – направление подачи, обрабатываемой детали.

Рисунок 8 – Схема обработки зенкером-протяжкой с установкой заготовки на суппорте токарного станка и инструмента в специальном патроне

Исполнения передних хвостовиков для закрепления в патроне токарного станка цилиндрический (рисунок 9, а) и в тяговом патроне с помощью чеки-клина (рисунок 9, б) и чеки-штифта (рисунок 9, в).

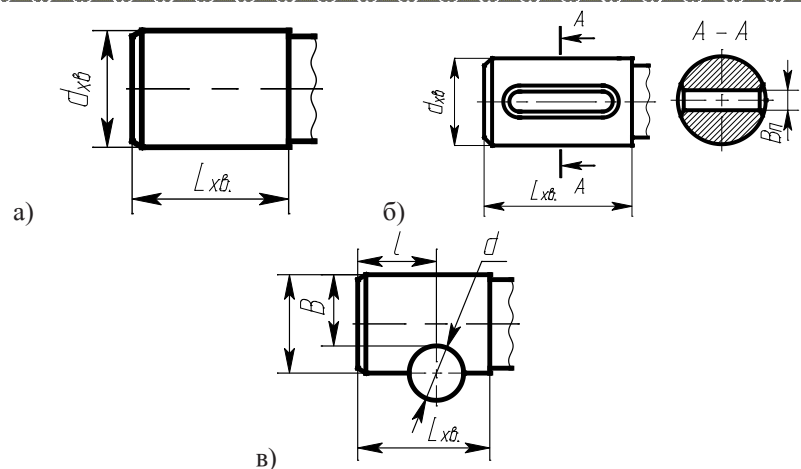


Рисунок 9 – Исполнения передних хвостовиков

Режущая часть зенкера-протяжки коническая и форма и число зубьев в поперечном сечении, как у зенкера (рисунок 5 и 6). Для плавного начала процесса обработки отверстия и лучшего центрирования зенкера-протяжки на режущей части зенкера-протяжки предусмотрена фаска  $1 \times 30^\circ$ .

Ширина зубьев зенкера-протяжки в поперечном сечении определяется графо-аналитическим методом (рисунок 10). От нулевой точки (вершина режущего клина, зубьев зенкера-протяжки) строятся вертикальные линии с шагом 0,5мм. Через нулевую точку проводится линия, соответствующая величине заднего угла,  $\alpha=7^\circ$  и окружность радиус, которой равен диаметру режущей части зенкера-протяжки,  $R=8,95$ мм. Точка пересечения линии и окружности, точка 5 на рисунке, соответствует максимально возможной ширине зуба,  $g=2,17$ мм, при данном радиусе окружности. Такая ширина зуба неприемлема, т.к. будет происходить истирание обработанной поверхности заготовки, потому принята ширина зуба равной 1,75мм. Как видно из рисунка 10, остаётся зазор между обработанной поверхностью и шириной спинки зуба равный 0,04мм, точка 4.

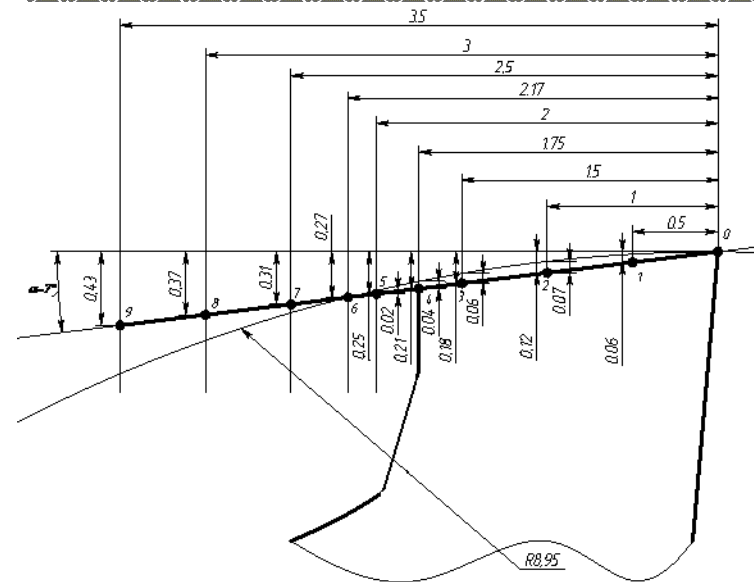


Рисунок 10 – Схема определения ширины спинки зуба зенкера-протяжки

Ширина среза оказывает значительное влияние на силу резания, условия стружкообразования, размещение стружки в канавке и шероховатость обрабатываемой поверхности.

Стружкоделительные канавки предназначены для деления широкой стружки на отдельные части; это облегчит работу зенкера-протяжки и создаст лучшие условия размещения стружки во впадине зуба и отвода стружки. Число стружкоделительных канавок для круглых протяжек при диаметре протяжки 16...20мм – 10; при – 20...25мм – 12 [3].

Для исключения несогласования скорости вращения зенкера-протяжки и продольной подачи заготовки, а также затирания по боковым сторонам стружкоделительных канавок принимается угол между боковыми сторонами канавки, равный  $30^\circ$ .

Протяжки затачиваются по передней поверхности, а зенкер-протяжку затачиваем по задней поверхности, что увеличит количество переточек по сравнению с традиционными инструментами и общий ресурс.

Опытные образцы зенкера-протяжки изготовлены на машиностроительном предприятии города Павлодара ТОО «Format Mach Company» (бывший инструментальный завод) и испытаны в учебно-производственных мастерских факультета металлургии, машиностроения и транспорта ПГУ им. С. Торайгырова на кафедре «Машиностроения и стандартизации» (рисунок 11).



Производственные испытания опытных образцов осуществлялись на ТОО «Заводе нестандартизированного оборудования» при условиях, приведённых в таблице 1.



Рисунок 10 – Опытные образцы зенкера-протяжки

Таблица 1

Условия проведения испытаний

Оборудование	Материал	Длина обработки, L, мм	Диаметр обработки, D, мм	Частота вращения, n, об/мин.		Подача, S, мм/об.	
Вертикально-сверлильный станок мод. 2Н135	Сталь ст3	15; 30; 45	14	275	140	0,32	0,15
		20; 40; 60	20	195	100	0,32	0,15
		30; 60; 90	30	140	68	0,32	0,15
Токарно-винторезный станок мод. 1А616	Сталь ст3	15; 20; 30	13,8	280	140	0,3	0,08
		20; 30; 40	19,8	224	112	0,3	0,08
		20; 30; 40	29,8	180	90	0,3	0,08

После обработки отверстий цилиндрическим зенкером и зенкером-протяжкой исследовали точность диаметрального размера отверстия и шероховатость. Для измерения точности обработки отверстия применяли инструментальный горизонтальный микроскоп ИКГ 3 и индикаторные нутромеры со вставками. Для измерения шероховатости поверхности отверстия применяли профилограф-профилометр мод. 259.

Результаты производственных испытаний образцов, обработанных металлорежущими инструментами:

1) цилиндрическим стандартным зенкером:

- точность диаметральных размеров отверстий составляет 0,027-0,13мм (8-11 квалитет точности);

- шероховатость поверхности отверстий находится в пределах  $R_a=1,25\dots 2,5\mu\text{м}$ , что соответствует 6 и 7 классам шероховатости.

2) новым режущим инструментом – зенкером-протяжкой:

- точность диаметральных размеров отверстий составляет 0,018-0,033мм (7-8 квалитет точности);

- шероховатость поверхности отверстий находится в пределах  $R_a=0,16\dots 0,32\mu\text{м}$ , что соответствует 9 и 10 классам шероховатости;

Анализ результатов показывает, что точность диаметральных размеров отверстий после обработки зенкером-протяжкой увеличилась на 1, 2 квалитета по сравнению с цилиндрическим зенкером; шероховатость уменьшилась на 2, 3 класса. При этом подача на зуб при необходимости может быть уменьшена и уменьшен общий припуск на обработку зенкером-протяжкой.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Металлорежущие инструменты: Учебник для вузов. /Г.Н. Сахаров, О.Б. Арбузов, Ю.Л. Боровой и др. – М.: Машиностроение, 1989. – 328 с.
2. Родин П.Р. Металлорежущие инструменты: Учебник для вузов. – 3-е изд., перераб. и доп. – К.: Вища шк. Головное изд-во, 1986. – 455 с.
3. Аршинов В.А., Алексеев Г.А. Резание металлов и режущий инструмент. – 3-е изд., перераб. и доп. - М.: Машиностроение, 1976. – 440 с.
4. Справочник инструментальщика/ И.А. Ординарцев, Г.В. Филиппов, А.Н. Шевченко и др.; Под общ. Ред. И.А. Ординарцева. – Л.: Машиностроение. Ленингр. отд-ние, 1987. – 846 с.
5. Дыков А.Т., Ясинский Г.И. Прогрессивный режущий инструмент в машиностроении. - Л.: Машгиз, 1963. – 156 с.
6. Кацев П.Г. Обработка протягиванием. - М.: Маш., 1986. – 272 с.
7. Грановский Г.Н., Грановский В.Г. Резание металлов: Учебник для вузов. – М.: Высш. шк., 1985. – 304 с.
8. Шатин В.П., Шатин Ю.В. Справочник конструктора-инструментальщика. М.: Машиностроение, 1975. - 465 с.
9. Алексеев Г.А., Аршинов В.А., Кричевская Р.М. Конструирование инструмента. - М.: Маш., 1979. -384 с.
10. Семенченко И.И., Матюшин В.М., Сахаров Г.Н. Проектирование металлорежущего инструментов. -М.: Государственное научно-техническое издательство машиностроительной литературы, 1963. – 952с.
11. Предварительный патент РК № 20384 от 25.09.2008г. Зенкер-протяжка для обработки цилиндрических отверстий. Авторы: Дудак Н.С., Итыбаева Г.Т.
12. Предварительный патент РК № 20206 от 25.08.2008г. Зенкер-протяжка с пластинками твердого сплава для обработки цилиндрических отверстий. Авторы: Дудак Н.С., Итыбаева Г.Т., Мусина Ж.К., Касенов А.Ж., Тастенов Е.К.

13. Предварительный патент Республики Казахстан № 20973 от 25.12.2008г. «Способ обработки цилиндрических отверстий зенкером-протяжкой». Авторы: Дудак Н.С., Итыбаева Г.Т.

14. Предварительный патент Республики Казахстан №16167 от 15.06.2005г. на изобретение «Протяжка для обработки цилиндрических отверстий среднего и большого диаметров». Авторы: Дудак Н.С., Шерниязов М.А.

#### **Түйіндеме**

*Кесу шарттарын, тесіктерді ондеу дәлдігін арттыру және металкескіш құралдардың шыдамдылығын жоғарлату үшін үңгі-тартажонғыштың конструкциясы жасап шығарылды.*

#### **Resume**

*The vertical drill-protjazhki design is developed for improvement of conditions of cutting, accuracy of processing of apertures and increase of firmness of metal-cutting tools.*

УДК: 621.314.2.001.4

## **ЭФФЕКТИВНОСТЬ ДИАГНОСТИКИ ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ ИЗНОШЕННОГО ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ**

**Т.Г. Кадкина, М.В. Кунцевич**

*Павлодарский государственный университет им. С. Торайгырова*

**О.В. Говорун**

*ТОО «ПавлодарТехЭнерго»*

**Д.В. Говорун**

*Аккусский завод ферросплавов ОАО ТНК «Казхром»*

Проблема эксплуатации электрооборудования, срок службы которого превышает нормированные значения, является наиболее актуальной. Изношенное электрооборудование обладает повышенной восприимчивостью к повреждениям и возникновению отказов ввиду того, что его номинальные параметры при длительной эксплуатации могут не соответствовать нормируемым значениям. В связи с этим возникает необходимость своевременного обнаружения и устранения дефектов путем диагностирования оборудования и, соответственно, применения мероприятий в случае необходимости.

По данным АО КЕГОС на балансе филиалов МЭС находится 74 электрических подстанций напряжением 35 – 1150 кВ с установленной мощностью

трансформаторов 32209,05 МВА, в том числе: 1150 кВ - 3 шт. мощностью 9384,1 МВА; 500 кВ - 15 шт. мощностью 11828 МВА; 220 кВ - 53 шт. мощностью 10971,25 МВА; 110 кВ - 1 шт. мощностью 2,5 МВА; 35кВ - 2 шт. мощностью 23,2 МВА. Из них примерно половина уже отработала номинальный ресурс (25 лет), а около 10 % проработали более 40 лет. Еще хуже положение по длительности эксплуатации трансформаторов в РЭК. Также положение таит в себе опасность увеличения числа отказов, обусловленных процессами старения.

Оперативная замена всего оборудования с большим сроком эксплуатации невозможна, прежде всего, по экономическим причинам. В таких условиях экономически целесообразные очередность, объемы и сроки замены старого оборудования могут быть установлены только на основании достоверных оценок остаточных ресурсов индивидуально для каждого из рассматриваемых объектов. Такой подход к замене старого оборудования новым по результатам оценки остаточного ресурса, а не по соотношению фактической и нормированной длительности эксплуатации даст существенный экономический эффект.

Надежность энергетических систем, работающих в условиях большого количества оборудования с большим сроком эксплуатации или выработавшего нормативный ресурс, в значительной степени определяется уровнем диагностики. Своевременное выявление и устранение дефектов в таком оборудовании позволяет продлить срок службы старого, но работоспособного оборудования, снизить стоимость его ремонта, исключить аварийные отказы и в конечном итоге повысить надежность работы энергетической системы. Одним из наименее надежных элементов мощного высоковольтного энергетического оборудования является его изоляция. Диагностика изоляции энергетического оборудования основывается на измерении ряда физико-химических величин, характеризующих процессы, развивающиеся в изоляции (контрольных параметров), и анализе на основе полученных данных состояния изоляции.

Как правило, в большинстве случаев причинами повреждений электрооборудования являются: несвоевременное принятие мер по устранению дефектов, восстановления изоляционных характеристик, а также несоблюдение персоналом требований нормативно-технических документов, инструкций заводов-изготовителей, местных эксплуатационных инструкций, а также невысокое качество диагностики оборудования или его отсутствие [1].

Из-за отсутствия полных и систематических сведений о контролируемых параметрах специалистами служб изоляции не ведется качественное прогнозирование состояния трансформаторов на основе анализа динамики их изменения, либо не освоена методика такого прогнозирования, позволяющего намечать превентивные меры по обеспечению надежной эксплуатации трансформаторов, либо избегать неоправданных затрат на

их преждевременный ремонт или замену. Причинами неполных испытаний трансформаторов являются отсутствие на предприятиях современной приборной и методической базы, а также дефицит на местах специалистов соответствующего профессионального уровня. Недостаточно уделяется внимания контролю уровня масла в трансформаторах и маслонаполненных вводах, состоянию устройств его защиты от увлажнения и окисления, контроля и анализа температурных режимов работы трансформаторов, не оценивается эффективность работы элементов систем их охлаждения. Не везде поставлены на специальный контроль вопросы защиты трансформаторов от атмосферных и коммутационных перенапряжений и систематических превышений допустимых рабочих напряжений, не ведется учет и анализ динамических воздействий сквозных токов короткого замыкания (к.з.).

Не проводится анализ условий (режимов) работы контролируемого оборудования в предшествующий период эксплуатации (рабочие напряжения, токи, температуры, число и уровни перенапряжений, внешних к.з. и др.); без такого анализа во многих случаях невозможно или крайне сложно определить причины появления и развития дефектов. Оценка состояния оборудования или его элементов выполняются в основном путем сравнения результатов измерений с нормами, при этом нет требований, учитывающих анализ динамики изменения во времени контролируемых величин, не предусматривается анализ корреляционных связей между результатами измерений величин, имеющих общие физические основы (например, сопротивление и тангенс угла диэлектрических потерь).

Стандартный набор обследования трансформаторов под номинальным напряжением, как правило, должен включать: анализ данных технических архивов, эксплуатационной документации, результатов испытаний и измерений; хроматографический и физико-химический анализ масла; тепловизионное обследование; определение уровня частичных разрядов в оборудовании двумя методами – электрическим и акустическим; определение вибрационных характеристик оборудования; диагностика маслонасосов и системы охлаждения; диагностика переключающего устройства трансформатора (РПН).

Техническое состояние объекта может быть оценено по наличию совокупности дефектов его элементов, зарегистрированных в процессе технического обслуживания - осмотров, проверок, испытаний и измерений.

Осмотр является диагностическим мероприятием, но фактически не решает диагностических заданий, так как с его помощью не всегда возможно предупредить аварийный отказ, сделать прогноз о работоспособности оборудования. Оценить состояние оборудования при осмотрах возможно только по внешним, доступным признакам через установленные интервалы времени (смена, сутки и т. п.). Диагностика состоит из комплекса

диагностических испытаний и делится на оперативную диагностику и диагностическое обследование.

Диагностические мероприятия могут выполняться как на работающем электрооборудовании, так и на неработающем. Оперативная диагностика использует неразрушительные методы контроля, которые не приводят к расходам ресурсов и выполняются одновременно с функционированием электрооборудованием, т. е. это диагностика физико-химическая; тепловизионная; акустическая; электротехническая.

Мониторинг, как и оперативная диагностика, предусматривает использование неразрушительных методов контроля, т. е. методов, которые не приводят к уменьшению ресурса. Мониторинг, т. е. непрерывное наблюдение за установленными параметрами с целью их контроля и восстановления, осуществляется одновременно с выполнением электрооборудованием своих функций. При наличии системы мониторинга сигнал о необходимости более углубленного диагностического обследования должен поступать от нее.

Результатами диагностики являются [2]:

1. Определение состояния обследуемого оборудования;
2. Выявление вида дефекта или повреждения, его масштабы, место расположения, причины появления, что служит основой для принятия решения о восстановительном ремонте (составе ремонта, объемах, сроках проведения, т.п.) или полной замене оборудования;
3. Прогноз о сроках (длительности) сохранения рабочих качеств и свойств в течение последующей эксплуатации. Без прогноза диагностика не может считаться полноценной. Применительно к технологически сложному оборудованию трансформаторной подстанции диагностика означает контроль работоспособности каждого функционального узла или элемента оборудования, каждой его системы.

Комплексное диагностическое обследование подразумевает формирование итогового результата на основании предыдущих 3-х форм диагностики. Принятие решения о состоянии оборудования является наиболее полным, однако период формирования результатов состояния является слишком продолжительным и не позволяет своевременно реагировать на динамику изменения состояния оборудования.

Ни одна из форм диагностики не обладает абсолютным преимуществом для максимально точного и эффективного определения развивающегося дефекта, прогнозирования безотказной работы при заданных условиях эксплуатации, для расчета рисков и эффективности использования оборудования при превышении номинальных эксплуатационных характеристик.

Для повышения точности и достоверности оценки технического состояния оборудования требуются интегрированные системы диагностики, которые могли бы использовать как данные мониторинга, так и данные, полученные

при всех измерениях на протяжении жизненного цикла объекта: под нагрузкой, на отключенном оборудовании, при комплексных обследованиях и т.д.

Конечная цель диагностического контроля – определение типа и объема ремонта для возобновления работоспособности электрооборудования и для увеличения остаточного ресурса.

Для оценок остаточных ресурсов высоковольтного оборудования можно использовать элементы теории вероятности [3].

Полный ресурс  $\tau$  оборудования любого вида по ряду причин есть величина случайная. Имеющиеся экспериментальные данные свидетельствуют о том, что наиболее точно свойства случайной величины для оборудования электрических сетей высокого напряжения описывает функция распределения Вейбулла, которая имеет вид

$$F(\tau) = 1 - \exp(-\tau / b)^c),$$

где  $b$  – параметр масштаба;  $c$  – параметр формы.

Эти параметры связаны с основными характеристиками случайной величины следующим образом:

•  $m_x = b\gamma(1 + 1/c)$  – математическое ожидание (среднее значение);

•  $\sigma = b \left\{ (1 + 2/c) - [\gamma(1 + 1/c)]^2 \right\}^{1/2}$  – среднее квадратичное отклонение

где,  $\gamma(1 + 1/c)$  и  $\gamma(1 + 2/c)$  – гамма функции соответствующих аргументов.

Значения параметра формы находится в пределах  $c = 6 - 12$ .

Нормированное значение ресурса  $\tau_{\text{норм}}$  обычно равно 25 лет.

Принимая  $c = 9$  и  $\rho_{\text{норм}} = 0,95$  и используя приведенные выше формулы для  $F(\tau)$  и  $m_x$  получим  $b = 38$  лет, средний ресурс (срок службы)  $m_x = 35$  лет. Вероятности того, что оборудование проработает более заданного времени (при  $\tau_{\text{норм}} = 25$  лет) приведены в таблице 1.

Таблица 1

Оценка форм диагностики.

т. лет	25	30	35	40
Вероятность работы	0,954	0,822	0,455	0,115

Из таблицы следует, что более 10 % оборудования способно работать более 40 лет. Разумеется, это приближенные оценки вероятности нормальной длительной работы оборудования. Для точных результатов необходимы достоверные сведения о функциях распределения ресурса и параметрах этих функций, которые можно получить анализируя базы данных эксплуатируемого оборудования.

Выводы:

1. Оценка состояния оборудования посредством систем автоматического on-line контроля состояния оборудования является наиболее перспективным видом диагностики, обладающим значительными возможностями качественного измерения первичной информации, но требующей методологической доработки с учетом современных мировых тенденций, нормативных документов.

2. При эксплуатации изношенного электрооборудования необходимо применять индивидуальный подход к планированию режима его работы и осуществлять постоянный контроль над его техническим состоянием, что обеспечит устойчивое функционирование такого оборудования сверх нормированного срока службы.

3. Для эффективного внедрения и дальнейшего развития систем мониторинга (СМ) необходимо менять идеологию их построения и требований, предъявляемых к данным системам. Большинство производителей СМ разработали свои системы с учетом того, что оперативный персонал имеет квалификацию эксперта-диагноста и способен по текущей диагностической информации от СМ делать какие-то заключения о состоянии эксплуатируемого оборудования для последующего принятия решения. В действительности получается так, что на оперативный персонал ложится дополнительная нагрузка по непрерывному контролю текущих параметров состояния трансформатора, не представляющих для него диагностическую ценность в связи с отсутствием соответствующей квалификации.

4. Необходима подготовка оперативного, ремонтного и инженерно-технического персонала по экспертно-диагностическому обследованию оборудования, соответствующего фактическим задачам эксплуатации.

5. Проведение ремонтов должны устанавливать руководители предприятий в зависимости от технического состояния оборудования, т.е. практически по результатам диагностики. Это обстоятельство предъявляет новые требования к методикам и техническим средствам диагностики.

6. Необходима разработка новых способов и методов on-line диагностики и современной нормативно-технической базы on-line диагностики, с учетом накопленной статистической информации и мирового опыта.

7. Востребована необходимость разработки и совершенствования системы удаленного контроля состояния оборудования трансформаторной подстанции.

8. Необходимо создание баз данных технического состояния оборудования как наиболее точного и объективного источника данных для формирования и исполнения ремонтов



## ЛИТЕРАТУРА

1. РД 153-34.3-46.304-00 - Положение об экспертной системе контроля и оценки состояния и условий эксплуатации силовых трансформаторов, шунтирующих реакторов, измерительных трансформаторов тока и напряжения. РАО "ЕЭС России", 2000. -17 с.

2. Хренников А.Ю., Шлегель О.А. Диагностика повреждений и методика обработки результатов измерений силовых трансформаторов при испытаниях и в эксплуатации// Электротехника, 1997.- №2. -С.32-34.

3. Рассальский А.Н. Диагностика состояния высоковольтного оборудования подстанции с помощью систем непрерывного контроля// www.energo-info.ru/images/pdf/travek 2009/39.pdf . – 7 с.

**Түйіндеме**

Электржабдықтарды пайдалану шарттары қарастырылды. Зақымдардың пайда болуын болжамдауға мүмкіндік беретін қол жеткізерлік факторлар айқындалды. Электржабдықтарды диагностикалау және мониторингтеу жүйесі ұсынылды.

**Resume**

Electric equipment service conditions are considered. The accessible factors are revealed, allowing to predict formation of defects. The system of diagnostics and electric equipment monitoring is offered..

УДК 621.919+621.951.7

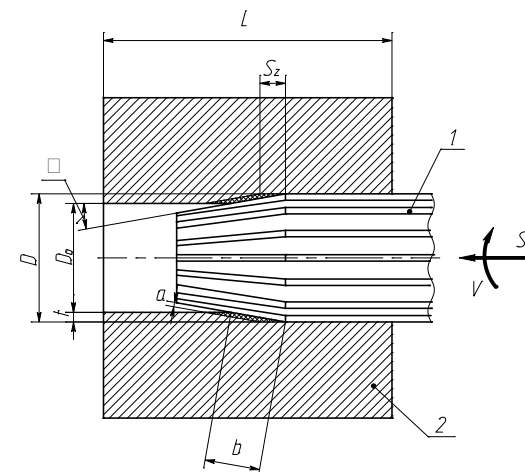
## РАЗВЁРТКА-ПРОТЯЖКА ДЛЯ ОБРАБОТКИ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ОТВЕРСТИЙ

**А.Ж. Касенов**

Павлодарский государственный университет им. С. Торайгырова

Обработка цилиндрических отверстий осуществляется следующими лезвийными металлорежущими инструментами: сверлом, зенкером, развёрткой и протяжкой, расточными резцами, блоками и расточными головками. В зависимости от требований к точности отверстий применяются соответствующие инструменты. Больше место при этом занимает развёртывание.

Сверление и зенкерование являются предварительными операциями. Разворачивание и протягивание являются чистовыми операциями. Общеизвестно, что развёртки имеют недостаток: работа резания сосредоточена на сравнительно короткой режущей части (рисунок 1). Развёртка не исправляет или плохо исправляет положение и форму оси.



1 – развёртка; 2 – заготовка;  $\phi$  – главный угол в плане; а – толщина среза; b – ширина среза; t – глубина резания; D – диаметр обрабатываемого отверстия;  $D_0$  – диаметр предварительного отверстия; L – длина обработки; S – осевая подача;  $S_z$  – подача на зуб; V – скорость резания

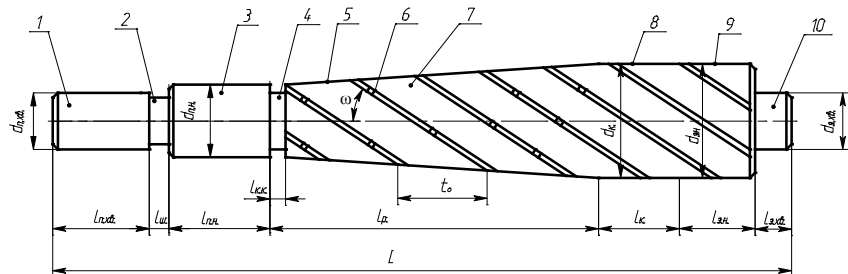
Рисунок 1 – Элементы резания при развёртывании

Неблагоприятные условия резания вызывают повышение механической нагрузки на участке лезвия, на котором происходит отделение стружки от основного слоя материала и его деформации, что сопровождается значительным тепловыделением, хотя и меньшим, чем при зенкерованием. Механические и термические напряжения приводят к сравнительно низкой стойкости режущих инструментов [1-10].

На кафедре машиностроения и стандартизации выполнен анализ методов и способов обработки цилиндрических отверстий, параметров срезаемого слоя при резании, геометрии и конструкций существующих металлорежущих инструментов (развёрток, протяжек, комбинированных инструментов) разработаны новые металлорежущие инструменты – развёртка-протяжка, получены предварительные патенты РК № 20210 от 25.08.2008г., № 20811 от 25.11.2008г. и положительное решение на изобретение по заявке №2006/0309.1 от 06.03.2007г. [11-13].

Развёртка-протяжка конструктивно построена по следующему принципу: в осевом сечении она имеет конструктивные признаки, соответствующие протяжке: передний хвостовик, шейку, переднюю и заднюю направляющие, режущую и калибрующую части (при работе она, как протяжка, протягивается через отверстие), а в поперечном сечении признаки развёртки:

форму и число зубьев, геометрию режущей части (рисунок 2), и при работе она вращается, как развёртка.

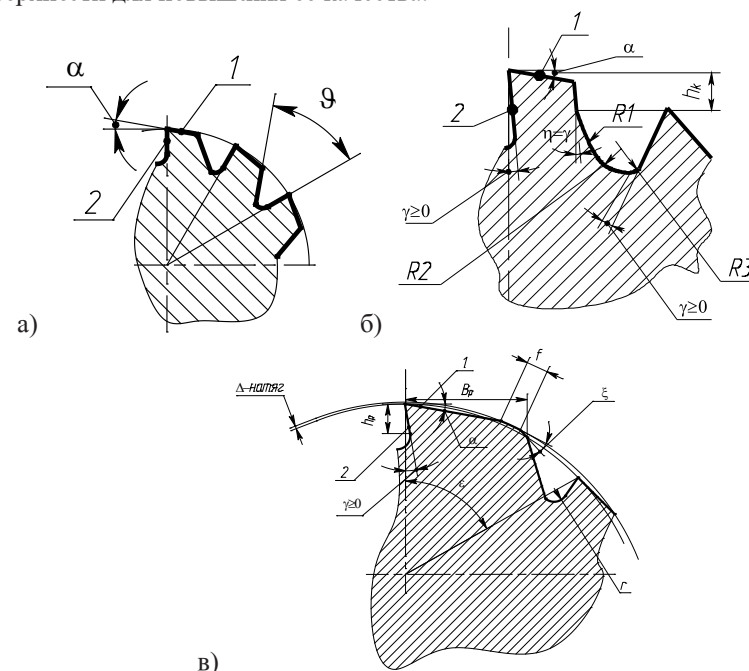


$d_{п.хв.}$  – диаметр переднего хвостовика;  $d_{п.н.}$  – диаметр передней направляющей;  $d_k$  – диаметр калибрующей части;  $d_{з.н.}$  – диаметр задней направляющей;  $d_{з.хв.}$  – диаметр заднего хвостовика;  $l_{п.хв.}$  – длина переднего хвостовика;  $l_{ш.}$  – длина шейки;  $l_{п.н.}$ ,  $l_{з.н.}$  – длина передней и задней направляющей;  $l_{к.к.}$  – длина кольцевой канавки;  $l_p$  – длина режущей части;  $l_k$  – длина калибрующей части;  $l_{з.хв.}$  – длина заднего хвостовика;  $L$  – длина развёртки-протяжки;  $\omega$  – угол винтовых стружечных канавок, направление  $\omega$  противоположно направлению резания;  $t_o$  – осевой шаг развёртки-протяжки; 1 – передний хвостовик; 2 – шейка; 3 – передняя направляющая; 4 – кольцевая канавка; 5 – режущая часть (коническая); 6 – стружкоделительная канавка; 7 – стружечная канавка; 8 – калибрующая часть (цилиндрическая); 9 – задняя направляющая; 10 – задний хвостовик

Рисунок 2 – Конструктивные элементы развёртки-протяжки

В поперечном сечении профиль винтовых зубьев развёртки-протяжки может быть следующих исполнений: стандартный профиль зубьев развёртки (рисунок 3, а), равноширокий профиль зубьев (рисунок 3, б), как у протяжки с винтовым равношироким зубом [14], режуще-деформирующий (рисунок 3, в). Применение равноширокого профиля зубьев позволяет увеличить стойкость развёртки-протяжки, количество переточек, а, следовательно, и увеличить срок службы за счёт переточки по задней поверхности, в отличие от протяжки с круговыми зубьями, и воссоздавать состояние задней поверхности после переточки до состояния нового инструмента, что обеспечивает повышение качества обработки. Применение режуще-деформирующего профиля позволяет осуществлять процесс резания и поверхностное пластическое деформирование. Формирование обрабатываемой поверхности цилиндра осуществляется выглаживающей ленточкой  $f$ , однако резкий переход от деформированного к недеформируемому состоянию может вызвать ухудшение качества обрабатываемой поверхности. Для исключения данного явления введён угол  $\xi \leq 10^\circ$  после ленточки, обеспечивающий плавный переход

от деформированного к недеформированному состоянию обрабатываемой поверхности для повышения её качества.

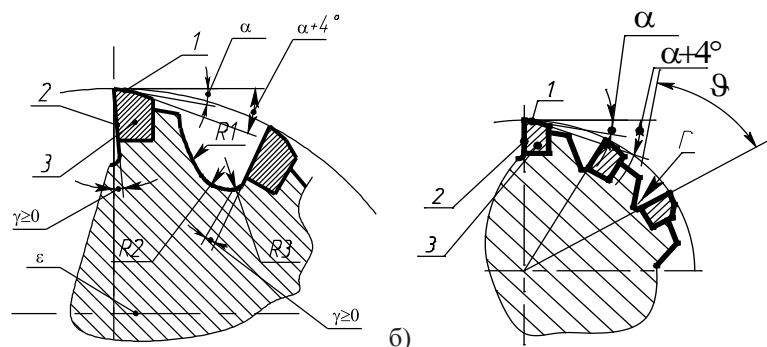


1 – задняя поверхность зубьев; 2 – передняя поверхность зубьев;  $\gamma \geq 0$  – передний угол;  $\alpha$  – задний угол;  $\nu$  – угол стружечной канавки;  $\eta = \gamma$  – угол на спинке равноширокого зуба;  $\xi$  – угловой шаг (постоянный и непостоянный) между зубьями;  $\xi$  – угол после ленточки  $f$ ;  $f$  – выглаживающая ленточка;  $h_p$  – размер прямолинейного участка равноширокого зуба на передней поверхности;  $B_p$  – размер прямолинейного участка равноширокого зуба на задней поверхности;  $R1, R2, R3$  – радиусы закругления стружечной канавки;  $r$  – радиус у основания стружечной канавки.

Рисунок 3 – Профиль поперечного сечения развёртки-протяжки

Материалом режущей части развёртки-протяжки может быть как быстрорежущая сталь Р6М5 и другие, так и напаянные пластинки твёрдого сплава. Профиль поперечного сечения представлен на рисунке 4.





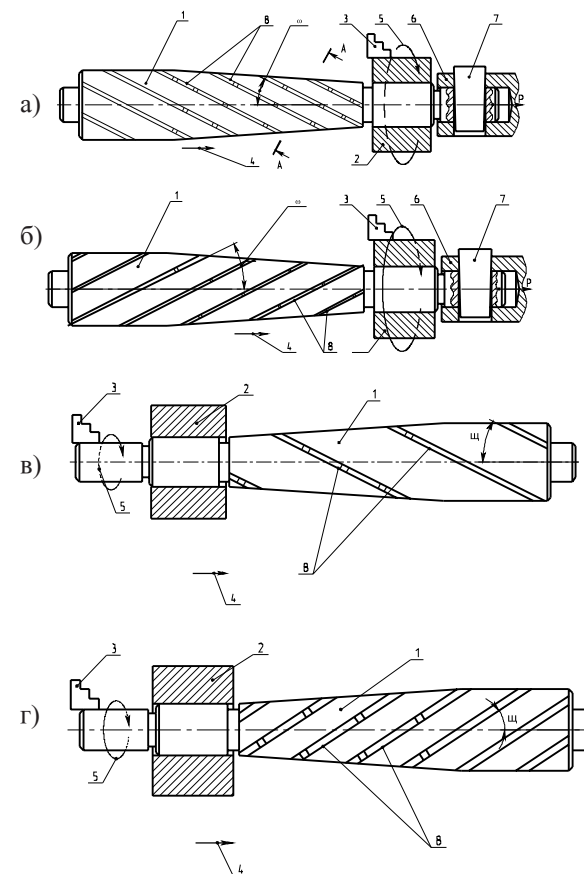
а) 1 – задняя поверхность зубьев; 2 – передняя поверхность зубьев; 3 – пластинка твёрдого сплава;  $\gamma \geq 0$  – передний угол;  $\alpha$  – задний угол;  $\nu$  – угол стружечной канавки;  $\eta = \gamma$  – угол на спинке равноширокого зуба;  $\varepsilon$  – угловой шаг (постоянный и непостоянный) между зубьями;  $R_1, R_2, R_3$  – радиусы закругления стружечной канавки;  $r$  – радиус у основания стружечной канавки.

Рисунок 4 – Профиль поперечного сечения развёртки-протяжки с пластинками твёрдого сплава

Предлагаемый новый инструмент развёртка-протяжка позволяет повысить эффективность обработки отверстий по сравнению с протягиванием и развёртыванием за счёт соединения в одном инструменте признаков развёртки и протяжки: повышения стойкости, общего ресурса инструмента, возможности переточки развёртки-протяжки по задней поверхности и повышения качества обрабатываемой поверхности, снижения температуры и удельной нагрузки на режущие кромки в зоне резания; исполнение с режущедоформирующими зубьями обеспечивает повышение качества обработки.

Обработка отверстий деталей машин развёрткой-протяжкой осуществляется на токарном станке следующими способами: закреплением развёртки-протяжки в патроне и на суппорте токарного станка с левым или правым направлением винтовых стружечных канавок (рисунок 5), получен предварительный патент РК № 20811 от 25.11.2008г. [13].

Схема обработки развёрткой-протяжкой при установке заготовки на суппорте токарного станка (рисунок 5 в, г) более приемлема, т.к., исключается погрешность от сил зажима патрона токарного станка, что оказывает влияние на форму обрабатываемого отверстия.



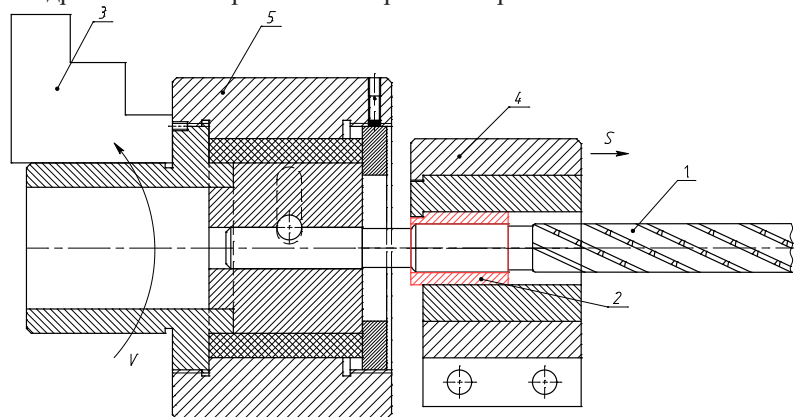
а, в – правое направление винтовых стружечных канавок;  
б, г – левое направление винтовых стружечных канавок

1 – развёртка-протяжка; 2 – заготовка; 3 – патрон станка, в котором закрепляется заготовка; 4 – продольное перемещение развёртки-протяжки (заготовки); 5 – вращательное движение заготовки (развёртки-протяжки); 6 – тяговый патрон; 7 – чека-клин для закрепления развёртки-протяжки в тяговом патроне; 8 – режущие кромки зубьев в сечении, перпендикулярном к направлению зубьев;  $P$  – осевое усилие протягивания;  $\omega$  – угол наклона винтовой стружечной канавки.

Рисунок 5 – Схема обработки развёрткой-протяжкой

Для исключения влияния геометрических погрешностей станка (радиального биения шпинделя, износа направляющих станины и т.п.)

разработан плавающий патрон, устанавливаемый в патрон станка, также разработано приспособление для установки заготовки в резцедержателе на суппорте. На рисунке 6 представлена схема обработки развёрткой-протяжкой цилиндрического отверстия на токарно-винторезном станке.



1 – развёртка-протяжка, 2 – обрабатываемая деталь, 3 – патрон токарно-винторезного станка, 4 – приспособление для установки, обрабатываемой детали, 5 – плавающий патрон, V – направление вращения развёртки-протяжки, S – направление подачи, обрабатываемой детали.

Рисунок 6 – Схема обработки развёрткой-протяжкой

При оснащении массового производства может быть использован более простой специальный агрегатный станок для данной операции.

Передние хвостовики для закрепления в патроне токарного станка могут применяться различные исполнения: цилиндрический (рисунок 7,а) и в тяговом патроне с помощью чеки-клина (рисунок 7,б) и чеки-штифта (рисунок 7,в).

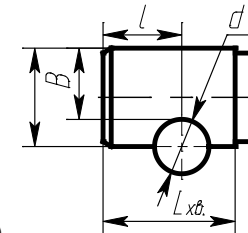
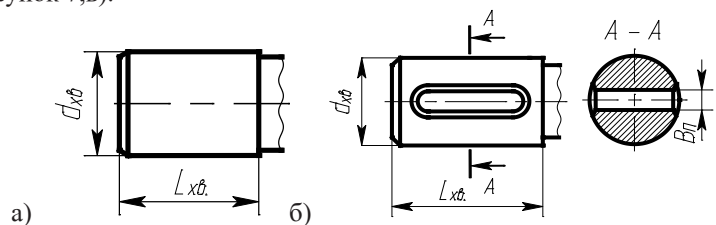


Рисунок 7 – Исполнения передних хвостовиков

Наибольшая ширина зубьев развёртки-протяжки в поперечном сечении определена графо-аналитическим методом (рисунок 8). От нулевой точки (вершина режущего клина, зубьев развёртки-протяжки) построим вертикальные линии с шагом 0,5мм. Проведем через нулевую точку линию, соответствующую величине заднего угла,  $\alpha=7^\circ$  и окружность радиус, которой равен диаметру режущей части развёртки-протяжки,  $R=9,9$ мм. Точка пересечения линии и окружности, точка 5 на рисунке, соответствует максимально возможной ширине зуба,  $g=2,4$ мм, при данном радиусе окружности. Такая ширина зуба неприемлема, т.к. будет происходить истирание обработанной поверхности заготовки. Принимаем ширину зуба равной 2мм. Как видно из рисунка 8, остается зазор между обработанной поверхностью и шириной зуба равный 0,04мм, точка 4.

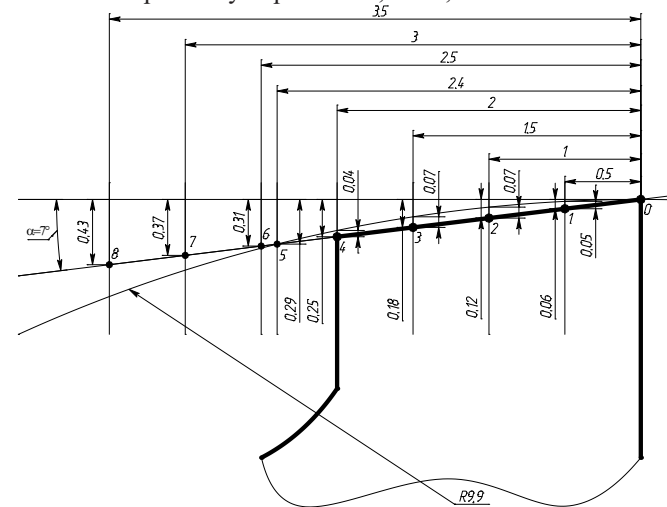


Рисунок 8 – Схема определения ширины спинки зуба развёртки-протяжки

На кромке тыльной стороны зуба можно выполнить фаску и не уменьшать ширину зуба, если это необходимо, но выполненная фаска на каждом зубе увеличивает трудоёмкость изготовления развёртки-протяжки.

Ширина среза по режущей кромки вдоль его длины в пределах длины детали оказывает значительное влияние на силу резания, условия стружкообразования, размещение стружки в канавке и шероховатость обрабатываемой поверхности. Для облегчения стружкообразования на режущей части зубьев выполнены стружкоделительные канавки для деления широкой стружки на отдельные части; это облегчит работу развёртки-протяжки и создаст лучшие условия размещения стружки во впадине зуба и отвода стружки. Число стружкоделительных канавок для круглых протяжек при диаметре протяжки 16...20мм – 10; при – 20...25мм – 12, что приводит к длине срезаемой стружки по окружности от 5...7 мм (3).

Исходя из условий стружкообразования, длина режущего элемента лезвия между стружкоделительными канавками зуба, выбираем по следующему соотношению

$$b = (1 \dots 1,5) \times \sqrt{D},$$

где  $D$  – диаметр развёртки-протяжки (6).

Для исключения несогласования скорости вращения развёртки-протяжки и продольной подачи заготовки, а также затирания по боковым сторонам стружкоделительных канавок принимаем угол между боковыми сторонами канавки равный  $30^\circ$  (рисунок 9).

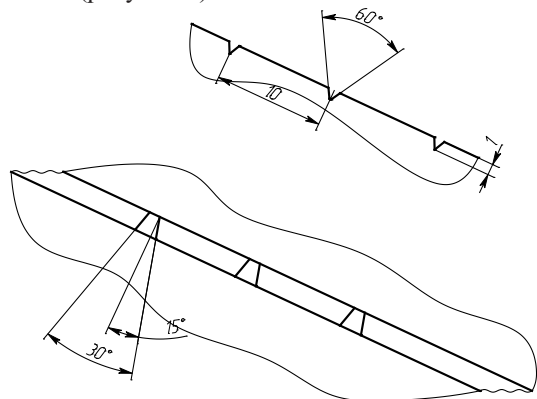


Рисунок 9 – Стружкоделительные канавки

При обработке развёрткой-протяжкой необходимо согласовать её вращение, подачу детали и угол наклона стружечных канавок. Режимы

резания развёрткой-протяжкой теоретически принимать затруднительно, и поэтому оптимальные значения будут определены экспериментальным путём. В результате будут разработаны номограммы и рекомендации режимов резания для различных материалов и условий обработки.

Протяжки перетачиваются по передней поверхности. При этом величина стачивания по передней поверхности получается значительной, что уменьшает общее количество переточек, а следы износа по задней поверхности могут частично оставаться. Следствием этого является ухудшение качества инструмента и, естественно качество обработки отверстия. Для повышения качества протяжки после заточки (переточки) последнюю заточку (переточку) необходимо выполнять по задней поверхности. Потому развёртка-протяжка перетачивается по задней поверхности, что увеличивает количество переточек по сравнению с традиционными протяжками и общий ресурс, запас на переточку – удлинение калибрующей части.

Опытные образцы развёртки-протяжки изготовлены на машиностроительном предприятии города Павлодара ТОО «Format Mach Company» (бывший инструментальный завод) и испытаны в учебно-производственных мастерских факультета металлургии, машиностроения и транспорта ПГУ им. С. Торайгырова на кафедре «Машиностроения и стандартизации» (рисунок 10).

Производственные испытания осуществлялись на ТОО «Заводе нестандартизированного оборудования» при условиях приведённых в таблице 1 путем сравнения результатов обработки отверстий машинной стандартной развёрткой и – развёрткой-протяжкой.



Рисунок 10 – Опытные образцы развёртки-протяжки

Таблица 1

## Условия проведения испытаний

Оборудование	Материал	Длина обработки, L, мм	Диаметр обработки, D, мм	Частота вращения, n, об/мин.		Подача, S, мм/об.	
Вертикально-сверлильный станок мод. 2Н135	Сталь ст3	15; 30; 45	14	275	140	0,32	0,15
		20; 40; 60	20	195	100	0,32	0,15
		30; 60; 90	30	140	68	0,32	0,15
Токарно-винторезный станок мод. 1А616	Сталь ст3	15; 20; 30	14	280	140	0,3	0,08
		20; 30; 40	20	224	112	0,3	0,08
		20; 30; 40	30	180	90	0,3	0,08

После обработки отверстий машинной стандартной развёрткой и развёрткой-протяжкой исследовали точность диаметрального размера отверстия и шероховатость. Для измерения точности обработки отверстия применяли инструментальный горизонтальный микроскоп ИКГ 3 и индикаторные нутромеры со вставками. Для измерения шероховатости поверхности отверстия использовался профилограф-профилометр мод. 259.

Результаты производственных испытаний образцов, обработанных металлорежущими инструментами:

1) машинной стандартной развёрткой:

- точность диаметральных размеров отверстий составляет 0,018-0,033мм (7-8 классы точности);

- шероховатость поверхности отверстий находится в пределах  $R_a=0,16...0,32\text{мкм}$ , что соответствует 9 и 10 классам шероховатости.

2) развёрткой-протяжкой:

- точность диаметральных размеров отверстий составляет 0,011-0,021мм (6-7 классы точности);

- шероховатость поверхности отверстий находится в пределах  $R_a=0,08...0,16\text{мкм}$ , что соответствует 10 и 11 классам шероховатости;

Анализ результатов показывает, что точность диаметральных размеров отверстий после обработки развёрткой-протяжкой увеличилась на 1, 2 класса по сравнению с машинной стандартной развёрткой; шероховатость уменьшилась на 1, 2 класса.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Металлорежущие инструменты: Учебник для вузов. /Г.Н. Сахаров, О.Б. Арбузов, Ю.Л. Боровой и др. – М.: Машиностроение, 1989. – 328 с.

2. Родин П.Р. Металлорежущие инструменты: Учебник для вузов. – 3-е изд., перераб. и доп. – К.: Вища шк. Головное изд-во, 1986. – 455 с.

3. Аршинов В.А., Алексеев Г.А. Резание металлов и режущий инструмент. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1976. – 440 с.

4. Справочник инструментальщика/ И.А. Ординарцев, Г.В. Филиппов, А.Н. Шевченко и др.; Под общ. Ред. И.А. Ординарцева. – Л.: Машиностроение. Ленингр. отд-ние, 1987. – 846 с.

5. Дыков А.Т., Ясинский Г.И. Прогрессивный режущий инструмент в машиностроении. –Л.: Машгиз, 1963. – 156 с.

6. Кацев П.Г. Обработка протягиванием. –М.: Маш., 1986. – 272 с.

7. Грановский Г.Н., Грановский В.Г. Резание металлов: Учебник для вузов. – М.: Высш. шк., 1985. – 304 с.

8. Шатин В.П., Шатин Ю.В. Справочник конструктора-инструментальщика. –М.: Машиностроение, 1975. –465 с.

9. Алексеев Г.А., Аршинов В.А., Кричевская Р.М. Конструирование инструмента. –М.: Маш., 1979. –384 с.

10. Семенченко И.И., Матюшин В.М., Сахаров Г.Н. Проектирование металлорежущего инструмента. –М.: Государственное научно-техническое издательство машиностроительной литературы, 1963. – 952с.

11. Предварительный патент РК №20210 от 25.08.2008г. Развёртка-протяжка с пластинками твердого сплава для обработки цилиндрических отверстий. Авторы: Дудак Н.С., Итыбаева Г.Т., Мусина Ж.К., Касенов А.Ж., Тастенов Е.К.

12. Положительное решение №2006/0309.1 от 06.03.2007г. Развёртка-протяжка для обработки цилиндрических отверстий. Авторы: Дудак Н.С., Касенов А.Ж.

13. Предварительный патент Республики Казахстан № 20811 от 25.11.2008г. «Способ обработки цилиндрических отверстий развёрткой-протяжкой». Авторы: Дудак Н.С., Касенов А.Ж.

14. Предварительный патент Республики Казахстан №16167 от 15.06.2005г. на изобретение «Протяжка для обработки цилиндрических отверстий среднего и большого диаметров». Авторы: Дудак Н.С., Шерниязов М.А.

**Түйіндеме**

*Кесу шарттарын, тесіктерді өндеу дәлдігін арттыру және металкескіш құралдардың шыдамдылығын жоғарлату үшін ұңғылағыш-тартажонғыштың конструкциясы жасап шығарылды.*

**Resume**

*The development-protjashki design is developed for improvement of conditions of cutting, accuracy of processing of apertures and increase of firmness of metal-cutting tools.*

## АНАЛИЗ КОЭФФИЦИЕНТОВ ВЛИЯНИЯ МАГНИТОПРОВОДА И ЗАГРУЗКИ НА ИНДУКТОР В ЦИЛИНДРИЧЕСКОЙ СИСТЕМЕ НАГРЕВА

А.П. Кислов, А.Н. Бергузинов, С.И. Игонин

Павлодарский государственный университет им. С.Торайгырова

Структурный анализ коэффициентов влияния магнитопровода и загрузки на индуктор показывает, что величина их в значительной степени зависит от электрофизических свойств электротехнической стали, применяемой для выполнения пакетов магнитопровода, и геометрических соотношений в системе нагрева. Последнюю зависимость определяет коэффициент взаимосвязи между индуктором и магнитопроводом, показывающий часть общего магнитного потока индуктора, проходящую через магнитопровод. Эта зависимость может быть представлена в следующем виде.

Рассмотрим систему, в которой магнитопровод расположен коаксиально индукционной системе. Предположим, что влияние вихревых токов, индуцированных в магнитопроводе на поле воздушного зазора, можно не учитывать. Векторный потенциал магнитного поля в воздушном зазоре может быть для двух измерений определен из уравнения:

$$\frac{1}{R} \cdot \frac{\partial}{\partial R} \left( R \frac{\partial A}{\partial R} \right) + \frac{1}{R^2} \cdot \frac{\partial^2 A}{\partial \alpha^2} = 0 \quad (1)$$

При граничных условиях:

$$-\frac{1}{\mu_0} \cdot \frac{\partial A}{\partial R} = H\tau (R = R_m) \quad R = R_m \quad (2)$$

$$-\frac{1}{\mu_0} \cdot \frac{\partial A}{\partial R} = 0 \quad (3)$$

Решение уравнения (1) относительно тангенциальной и радиальной составляющих напряженности магнитного поля имеет вид [1]:

$$\dot{H}_\tau = -\frac{\partial A}{\mu_0 \partial R} = \frac{\dot{H}\tau_n \left( \frac{R_n}{R} \right)^2}{1 - \left( \frac{R_m}{R_n} \right)^2} \left[ \left( \frac{R}{R_n} \right)^2 - \left( \frac{R_m}{R_n} \right)^2 \right] \sin \frac{\pi}{l_n} \alpha \quad (4)$$

$$\dot{H}_R = \frac{1}{\mu_0 R} \cdot \frac{\partial A}{\partial \alpha} = -\frac{\dot{H}\tau_n \left( \frac{R_n}{R} \right)^2}{1 - \left( \frac{R_m}{R_n} \right)^2} \left[ \left( \frac{R}{R_n} \right)^2 - \left( \frac{R_m}{R_n} \right)^2 \right] \cos \frac{\pi}{l_n} \alpha$$

Максимальный магнитный поток на единицу длины магнитопровода, проходящий в магнитном зазоре, определится

$$\dot{\Phi}_{ИМ} = \mu_0 \int_0^{2\pi} \left| \dot{H}_\tau \right|_{R=R_m} R_m \cdot d\alpha \quad (5)$$

Полученное выражение определяет взаимосвязь только магнитопровода и индуктора. Пользуясь принципом наложения задача определения напряженности магнитного поля и соответствующих потоков сводится к определению напряженности магнитного поля от загрузки и индуктора, представленных как однослойные цилиндрические катушки.

Для вычисления напряженности магнитного поля однослойной цилиндрической катушки Кунно Фоельш дает следующую формулу для области вне катушки.

$$H_\tau = \frac{Jw}{2\pi l} [B_2(n, \beta_2)' B_1(n, \beta_1)] \quad (6)$$

$$H_R = \frac{Jw}{2\pi l} \sqrt{\frac{R}{\rho}} \left\{ \left[ \frac{2}{K_1} (F_1 - E_1) - K_1 F_1 \right] - \left[ \frac{2}{K_2} (F_2 - E_2) - K_2 F_2 \right] \right\} \quad (7)$$



где

$$B(n, \beta) = 2F_1 \sqrt{1-\beta} - A(n\beta),$$

$$A(n, \beta) = \frac{\pi}{2} + F_1 \sqrt{1-\beta} \left( 1 + \sqrt{1-n} \right) + F(b, \varphi) \cdot [F - E] - F \cdot E(b, \varphi),$$

$$K^2 = n \cdot \beta \quad b^2 = 1 - K^2 \quad \sin \varphi = \frac{1-n}{1-K^2};$$

$$n = \frac{4R\rho}{(R+\rho)^2} \quad \beta_1 = \frac{(R+\rho)^2}{(R+\rho)^2 + x_1^2} \quad \beta_2 = \frac{(R+\rho)^2}{(R+\rho)^2 + x_2^2};$$

$F_1, E_1$  - полные эллиптические интегралы первого и второго рода;

$F(b, \varphi), E(b, \varphi)$  - эллиптические интегралы первого и второго рода;

$R$  - радиус катушки;

$J_w$  - ампервитки катушки;

$x_1, x_2$  - расстояния от концов катушки до рассматриваемой точки;

$l$  - высота катушки;

$\rho$  - расстояние от оси катушки до рассматриваемой точки.

В связи с тем, что радиальная составляющая напряженности магнитного поля в нижней и верхней частях магнитопровода равны друг другу и противоположно направлены [2], эти составляющие могут не приниматься при рассмотрении. Такое допущение целесообразно с точки зрения упрощения расчета и, как показывают эксперименты, не вносит значительной погрешности в результаты аналитических расчетов.

Принимая это, определение необходимых коэффициентов для расчета напряженности магнитного поля свелось к определению значений коэффициентов  $B_1, B_2, n$  и  $\beta$ . Величина коэффициентов  $B_1$  и  $B_2$  по вычисленным  $n$  и  $\beta$  для каждой интересующей нас точки может быть найдена с помощью графиков рис. 1, где приведены кривые изменения указанных коэффициентов. Эти зависимости даны в диапазоне изменения аргументов, охватывающих всю возможную область геометрических соотношений в индукционных системах нагрева.

Расчетные значения напряженности магнитного поля вне индуктора при различных геометрических соотношениях в системе нагрева приведены на рис. 2-4.

Графическое интегрирование зависимостей рис. 2-4 на основании выражения (5) позволило получить зависимости рис.5,

показывающие величину магнитного потока, проходящего через магнитопровод, в зависимости от его расположения относительно индуктора при различных диаметрах загрузки. Точками на рисунке показаны экспериментальные величины, полученные при поведении экспериментального исследования ферромагнитного экранирования.

Зависимости коэффициента взаимосвязи между индуктором и магнитопроводом от геометрических соотношений в системе нагрева неоднозначно определяют коэффициент влияния магнитопровода и загрузки на индуктор. Как уже указывалось, коэффициент влияния в равной мере зависит от электрофизических свойств электротехнической стали, используемой для магнитопровода. Однако здесь представляет интерес рассмотреть частный случай зависимости коэффициентов влияния от геометрических соотношений в системе для определенного сорта стали – электротехнической стали Э-42. Такие зависимости при постоянном сечении магнитопровода приведены на рис. 6.

Как видно из сопоставления зависимостей рис. 5 и 6, при отсутствии зазора между магнитопроводом и индуктором основная часть магнитного потока индуктора (95-100%) замыкается по ферромагнитным участкам магнитопровода. Возможное появление потоков утечки (до 5%) объясняется наличием паразитных зазоров между витками индуктора, т.е. отличием коэффициента заполнения индуктора по высоте от единицы и возникающих вследствие этого местных разностей магнитных потенциалов на соответствующих участках. Этим объясняются наиболее значительные различия расчетных и экспериментальных данных, полученных при исследовании данного вопроса.



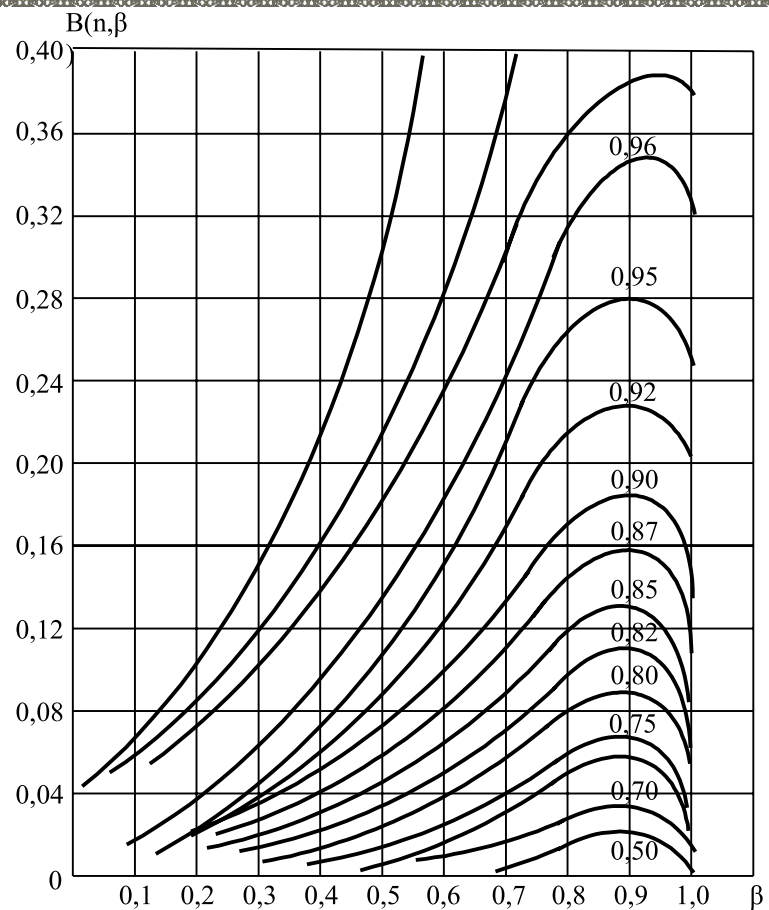


Рисунок 1 - Значение коэффициента  $B$  для расчета напряженности магнитного поля цилиндрической катушки на основании (6)

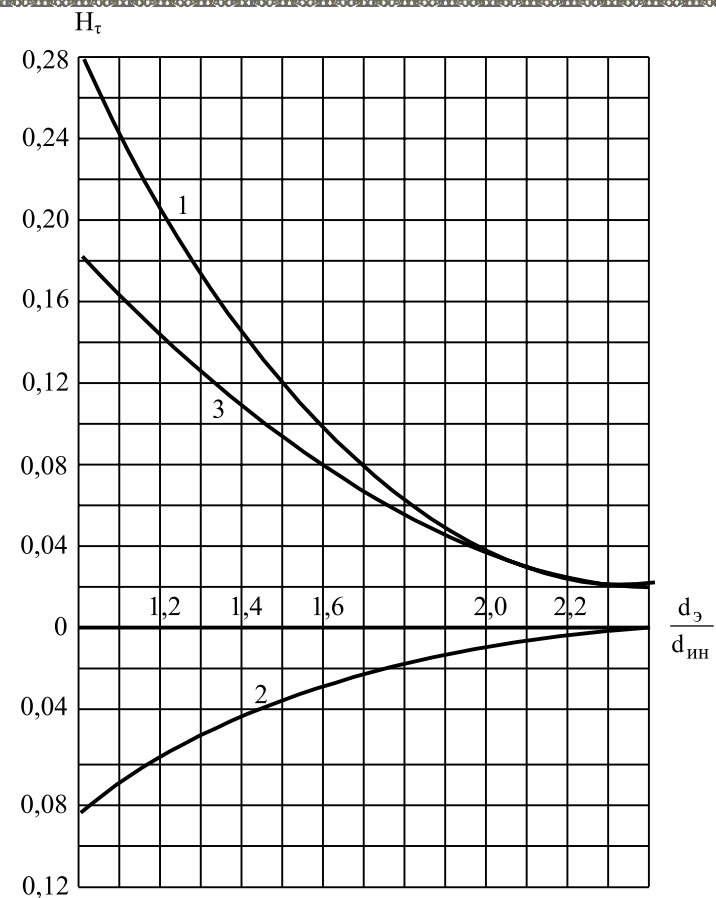


Рисунок 2 - Распределение напряженности магнитного поля вне индуктора

при  $\frac{d_3}{d_{ин}} = 0,6$  (расчетные): 1 – составляющая напряженности от тока индуктора; 2 – составляющая напряженности от токов в нагрузке; 3 – результирующая напряженность магнитного поля

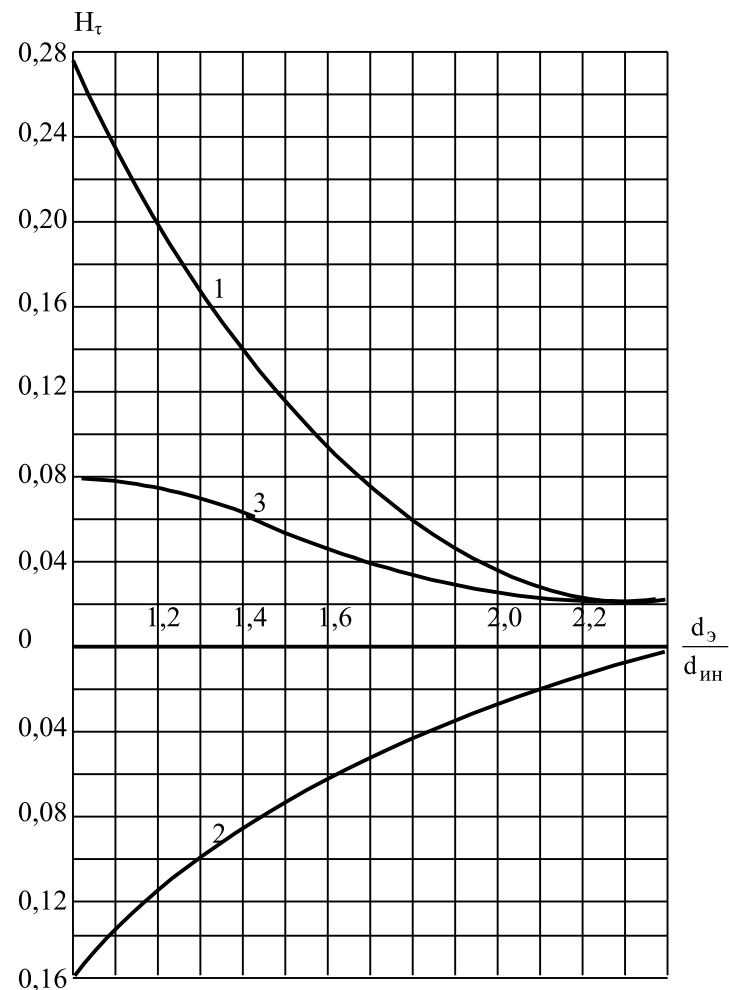


Рисунок 3 - Распределение напряженности магнитного поля вне индуктора при  $\frac{d_3}{d_{ин}} = 0,7$  (расчетные зависимости): 1 – составляющая напряженности от тока индуктора; 2 – составляющая напряженности в загрузке; 3 – результирующая напряженность магнитного поля

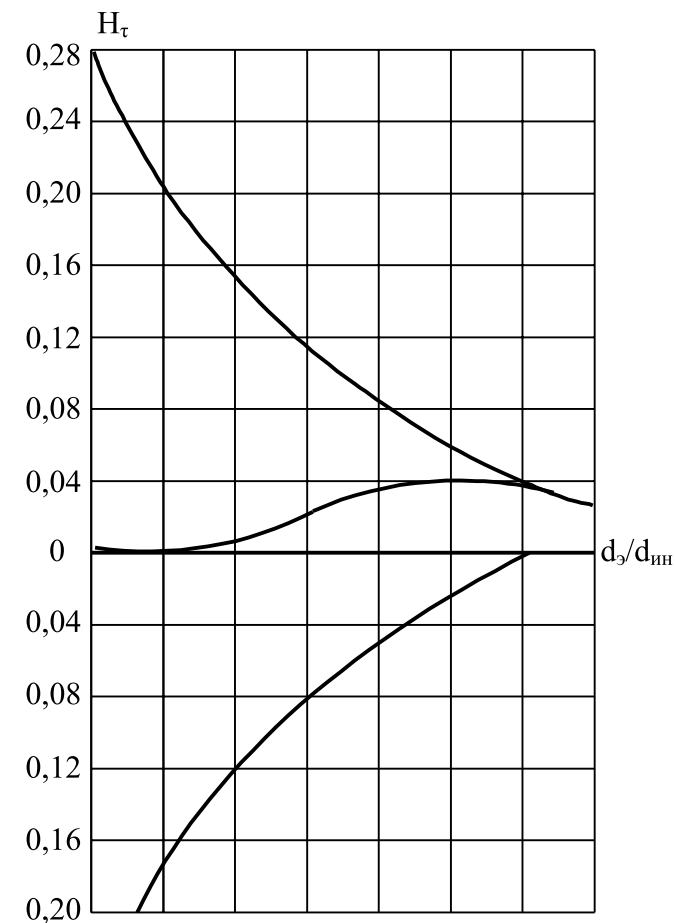


Рисунок 4 - Распределение напряженности магнитного поля вне индуктора при  $\frac{d_3}{d_{ин}} = 0,8$  (расчетные зависимости): 1- составляющая напряженности от тока индуктора; 2 – составляющая напряженности от токов в загрузке; 3 – результирующая напряженность магнитного поля

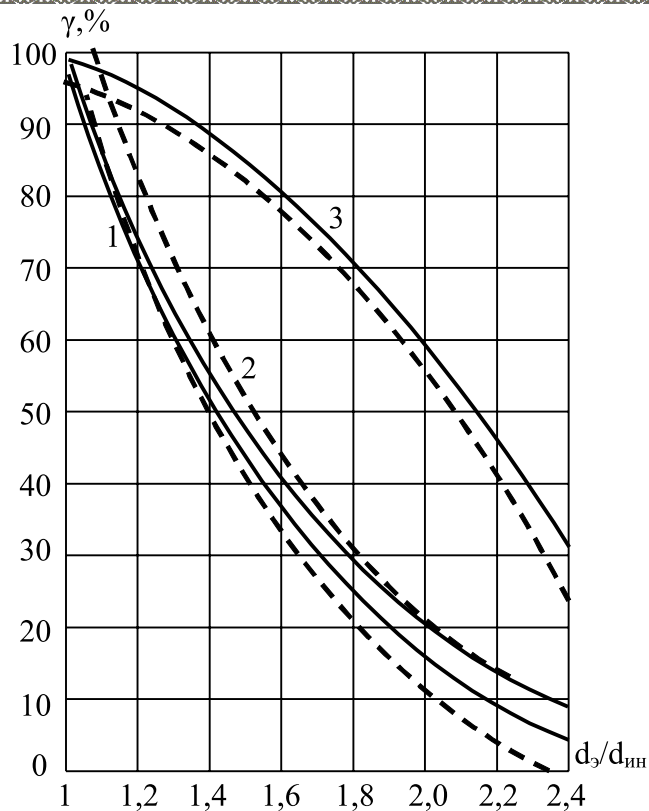


Рисунок 5 - Величина магнитного потока в % от общего потока индуктора, проходящая через магнитопровод, в зависимости от диаметра

расположения пакетов при  $1 - \frac{d_3}{d_{ин}} = 0,6$ ;  $2 - \frac{d_3}{d_{ин}} = 0,7$ ;  $3 - \frac{d_3}{d_{ин}} = 0,8$ .

Пунктиром показаны экспериментальные значения

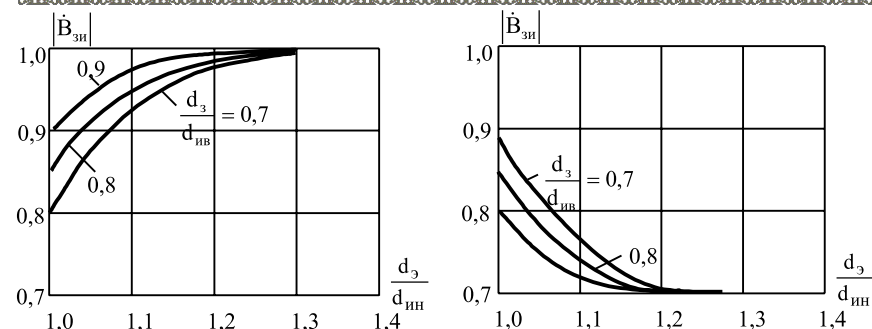


Рисунок - 6. Зависимость коэффициентов влияния загрузки и магнитопровода на индуктор от геометрических соотношений в системе нагрева

При помещении пакетов магнитопровода на расстоянии  $\frac{d_m}{d_{ин}} > 1$  от индуктора внешний магнитный поток разделяется на два параллельных потока, среди которых наибольший по величине проходит по ферромагнитным участкам. Естественно, что при расположении пакетов непосредственно возле индуктора без зазора коэффициент взаимосвязи  $\gamma$  увеличивается, что не всегда играет положительную роль. В случае, когда  $\gamma$  максимален, расчет активного сечения магнитопровода необходимо вести по потоку, мало отличающемуся от потока индуктора, и, как следствие, потребуются значительное количество электротехнической стали, чтобы обеспечить допустимую рабочую индукцию в пакете. Расположение пакетов непосредственно около индуктора хотя и может обеспечить улучшение охлаждения магнитопровода, прилегающего пусть даже через изоляционное покрытие витков к водоохлаждаемому индуктору, но одновременно и осложнит в определенной мере конструирование индуктора, в частности, приведет к затруднениям в оформлении устройств, обеспечивающих осевую стяжку индуктора. Кроме этого, зависимость коэффициента влияния (ВЗИ) от геометрических соотношений в системе

(рис. 6) показывает, что при изменении  $\frac{d_m}{d_{ин}}$  от 1,0 до 1,2 влияние магнитопровода на энергетический режим работы оказывается существенно, что выражается в увеличении числа витков индуктора, изменении сопротивления и увеличении потерь активной энергии в индукторе. Все это свидетельствует за то, что пакеты магнитопровода необходимо располагать

на некотором отдалении от индуктора так, чтобы  $\frac{d_m}{d_{ин}} > 1,2$ .

Удаление магнитопровода от индуктора влечет за собой увеличение длины окружности расположения пакетов и увеличения или количества пакетов при постоянной ширине или увеличения ширины пакетов при постоянном

их количестве. При этом в любом случае произойдет уменьшение ширины шихтованных пластин, что обеспечит лучший отвод тепла от внутренних частей пакета и увеличения общей поверхности пакетов, участвующей в отдаче тепла в окружающее пространство. Однако, увеличение зазора между индуктором и магнитопроводом накладывает требование увеличения длины пакетов, что увеличивает вес магнитопровода. Поэтому вопрос о выборе рационального положения пакетов должен решаться параллельно с расчетом экономических затрат на различное исполнение экранирующих элементов электропечи.

Выводы

1. Проведен анализ коэффициента взаимосвязи магнитопровода и индуктора при различных геометрических соотношениях в системе нагрева.
2. Получены количественные соотношения для характеристики влияния магнитопровода на индуктор.
3. Внесение в систему нагрева ферромагнитного экрана производит изменение энергетических соотношений в системе.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Круг К.А. и др. Основы электротехники.- 1952.
2. Торопов И.А. «Экранирование индукционных тигельных печей».- Научно-технический сб. «Электротермия», 1964., вып. 31.

### Түйіндеме

*Қыздыру жүйелердің әртүрлі геометриялық сипаттамаларына индукторға байланыс жасау және магниттік сым мен индуктордың өзара тәуелділік магниттік коэффициентінің мөлшерін анықтап шығуына талдау көрсетілген.*

### Resume

*The quantitative ratio for characteristic of influence of magnetic circuit on the inductor was obtained and the analysis of intercommunication coefficient of magnetic circuit and inductor at different geometrical ratio in the system of heating.*

УДК 621.365.5:66.021.4

## ВОПРОСЫ УПРАВЛЕНИЯ ТЕПЛОБМЕНОМ В СОПРЯЖЕННЫХ ЗАДАЧАХ ИНДУКЦИОННОГО НАГРЕВА И ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ДЛИННОМЕРНЫХ ПОЛИМЕРНЫХ ПОКРЫТИЙ

**А.П. Кислов, К.М. Дюсенов, А.Н. Бергузинов, С.И. Игонин**  
Павлодарский государственный университет им. С. Торайгырова

Одной из главных задач современного производства является разработка высокотехнологичных и управляемых термических процессов при одновременном решении вопросов энергосбережения и высокого качества производимой продукции. Практический анализ состояния технологии изготовления обмоточных проводов с фторопластовой изоляцией на ряде предприятия кабельной промышленности показал, что имеются значительные резервы в повышении качества термообработки и производительности труда. В связи с ростом уровня требования к конструкциям проводов с высокими электротехническими свойствами, к которым относятся провода с фторопластовой изоляцией, актуальной становится задача обеспечения качественных эксплуатационных характеристик данных изделий [1].

Фторопластовая изоляция представляет собой многослойную конструкцию, состоящую из соединенных между собой двух или нескольких пленочных полимерных лент, обмотанных вокруг токоведущих жил. Соединение полимерных лент между собой осуществляется различными методами. Один из таких методов это спекание слоев изоляции. Под термином спекание фторопласта подразумевается процесс полимеризации длинных молекул фторопласта. Фторопласт обладает высокими диэлектрическими свойствами, стойкостью к химическому и температурному воздействию. Однако спекание изоляции должно производиться в строго определенном температурном режиме, а именно так, чтобы температура по всей толщине изоляции была не менее 330 °С и не более 450 °С. Более высокая температура спекания приведет к растрескиванию изоляции, а более низкая к её плохой спекаемости. В настоящей работе рассматриваются тепловые и электротехнические аспекты управления и распределения потоков энергии в индукционных нагревателях косвенного нагрева, работающие на промышленной частоте 50 Гц, для получения эффективного промышленного образца нагревателя.

В ходе экспериментальных исследований авторами решались задачи: определения рациональных размеров индуктора, его электрических параметров и энергетических показателей, обеспечение технологически



необходимого распределения температур в индукционном нагревателе, а также согласование параметров электромагнитной системы «индуктор – нагрузка» с напряжением питающей сети [2].

Основными технологическими циклами изготовления проводов на предприятиях кабельной промышленности являются обжиг медной или посеребренной проволоки, скрутка токопроводящей жилы, обмотка сырой фторопластовой пленкой и термообработка с целью формирования сплошной монолитной изоляции. Например, на Семипалатинском кабельном заводе применялась сырая каландровая лента из фторопласта, представляющая собой не подвергнутую спеканию двухосно ориентированную пленку. Особенностью её являлось то, что она накладывалась на жилу в сыром (не запеченном) виде, а последующая термообработка провода позволяла получить герметичную изоляцию. Термообработка проводов осуществлялась в среде инертного газа, как правило, углекислого газа. При этом медная жила не окислялась при повышенной температуре.

Анализ зависимости времени спекания от температуры на поверхности изоляции показал, что при условии сохранения оптимального времени термообработки, единственным резервом производительности явилось увеличение длины зоны действия технологических температур. В действующих 52 индукционных нагревателях был реализован равномерный шаг намотки, недостатком которого являлся довольно короткий участок необходимой температуры спекания (Рис. 1). Стало очевидным, что для увеличения зоны термообработки целесообразно было осуществить перераспределением мощности, разбив индуктор или печь на участки с различным шагом намотки. После серии экспериментов, оказалось, что для достижения приемлемого распределения температур достаточно было реализовать три участка с различными шагами намотки.

Известно, что стационарный режим нагрева любой электротермической установки или наступает при равенстве выделяемой мощности  $P$  и тепловых потерь  $Q$ . Для расчета коэффициентов теплопередачи на горизонтальном участке индуктора (изоляция), и вертикальном фланцевом были использованы известные зависимости для вертикальных и горизонтальных труб при естественной конвекции [3]:

$$Nu = C \cdot (Gr \cdot Pr)^n \cdot e \quad (1)$$

А тепловые по участкам индуктора определялись по соотношениям:

$$Q_{ст} = ((T_m - T_0) / (\sigma_{из} / \lambda_{из} + 1 / \alpha_v)) \cdot S_{\phi},$$

для горизонтального

$$Q_{ст} = ((T_m - T_0) / (\sigma_m / \lambda_m + 1 / \alpha_v)) \cdot S_{\phi}, \quad (2)$$

для вертикального участков печи,

где  $T_m$  – температура металла полого цилиндра печи;  $T_0$  – температура окружающей среды;  $\sigma$  – толщина изоляции и материала, соответственно;  $\lambda$  – коэффициент теплопроводности металла и изоляции, соответственно;  $\alpha$  – коэффициенты теплоотдачи;  $S$  – площадь горизонтального и вертикального (фланцевого) участков печи.

Изменение температуры на поверхности провода  $T_{r=0}$  определялась по формуле:

$$T_{r=0} = P (B_i) \exp(-\mu_i \cdot F_o), \quad (3)$$

где  $F_o$  – число Фурье;  $B_i$  – число Био; значения  $P$  и  $\mu_i$  определялись также согласно [3].

Данные расчетов по этим зависимостям явились исходными для электрического расчета индукционной установки, т.е. по необходимой тепловой мощности на её участках определялись: шаг намотки, напряжение, которые необходимо было приложить к каждому участку, а также параметры электромагнитного поля. Спроектированная индукционная печь должна была обеспечивать одностадийный нагрев в продольном магнитном поле полой загрузки круглого сечения. Для нагрева использовался секционный индуктор, питающийся от сети с номинальным напряжением равным 220 В и промышленной частотой 50 Гц.

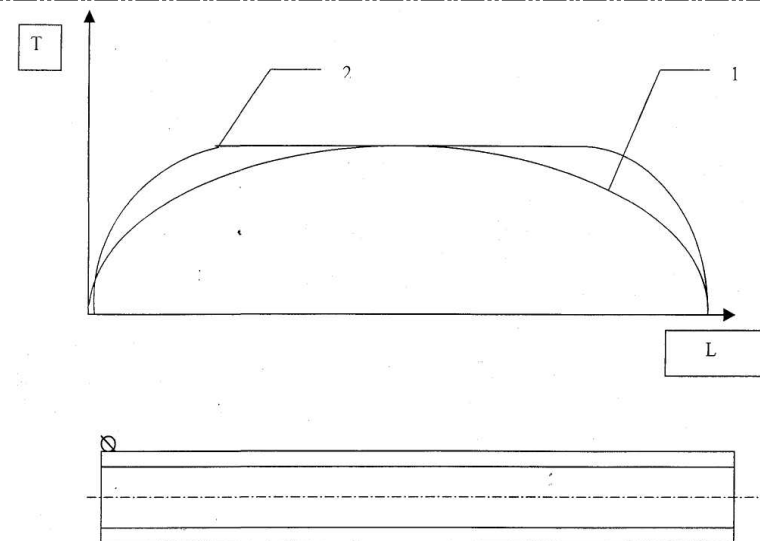
Известно, что энергетические характеристики индукционных нагревательных установок [4,5] зависят от конфигурации, геометрических размеров и электрофизических параметров нагреваемого проводника и индуктора, а также глубины проникновения электромагнитной волны в данный проводник. Методика расчетов полого цилиндра, внутри индуктора представлены в работах [6,7]. Однако расчет усложнялся наличием нелинейности участков печи с различными шагами намотки индуктора. Авторами был реализован алгоритм расчета со следующей последовательностью. Производилась оценка напряженности магнитного поля ( $H$ ), исходя из конкретных условий работы индуктора: силы тока, приложенного напряжения, а также шага намотки участков. Далее производились следующие операции: определение электрических параметров, участков в пределах изменения  $H$ ; распределение напряжения на этих участках; сравнение выделяемой мощности на участках печи с мощностями, полученными из теплового расчета. Итерационный процесс

расчета с изменением длины и плотности намотки индукционного провода производились до равенства  $P_i$  и  $Q_i$  на всех участках.

Увеличение скорости прохождения проволоки внутри печи привело к значительному росту производительности изготовленного опытно-промышленного образца индуктора. Расчет параметров теплообмена для движущегося длинномерного материала, также был реализован проект промышленной модернизации индукционной печи для термообработки фторопластовых покрытий и решена сопряженная техническая задача равномерного распределения тепловых и электромагнитных энергетических потоков. Результаты проведенных исследований могут быть использованы и на других производствах, где есть технологическая необходимость получения равномерного температурного поля в установках индукционного нагрева.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Дюсенов К.М., Кравчук С.Ю., Тухфатуллин Р.А. Повышение эффективности работы теплотехнологического оборудования для термообработки длинномерных полимерных покрытий электрических кабелей, Тезисы докладов Всесоюзной научно-технической конференции «Современное состояние, проблемы и перспективы энергетики и технологии в энергостроении» т. 1, Иваново, 1989. -с. 47 – 48.
2. Дюсенов К.М., Кислов А.П., Кислова В.П., Тухфатуллин Р.А., Электрохимическая нагревательная установка, Тезисы докладов Всесоюзной научной конференции «Электрохимическая энергетика». -Москва, 1989. -с. 33 – 34.
3. Григорьев В.А., Зорин В.М., Теоретические основы теплотехники. Теплотехнический эксперимент. Справочник, т.2 – М., 1988. -с. 560.
4. Слухоцкий А.Е., Установки индукционного нагрева. -Л.: Энергоиздат, 1981. -с. 326.
5. Кувалдин А.Б., Индукционный нагрев ферромагнитной стали. -М.: Энергоатомиздат, 1988. -с. 198.
6. Вайнберг А.Н., Индукционные плавильные печи. -М.: Государственное энергетическое издательство, 1960. -340 с.
7. Немков В.С., Демидович В.Б. Теория и расчет устройств индукционного нагрева. -Л.: Энергоиздат, 1988. -280 с.
8. Адомавичюс А.А., Белоглазова В.П., Дюсенов К.М., Расчет элементов оборудования термической обработки полимерных покрытий длинномерных материалов, Механика XX, материалы конференции «Интенсификация производства создания новых технологий, изделий и материалов». -Каунас, 1989. -с. 25- 27.



Риснок 1 - а) распределение температур до (1) и после (2) модернизации  
б) общее устройство печи

### Түйіндеме

Индукциялық қыздыру және ұзынолиемді полимер қапталуды технологиялық оңдеу жылыуалмасуды басқару сұрақтары түйіндес есептерде қарастырылған.

### Resume

The article considers questions of management by heat exchange of interfaced induction heating problems and technological processing of lengthy polymeric coverings.

## СТУДЕНТТЕРДІҢ КӘСІПТІК БІЛІМДЕРІНІҢ ЖӘНЕ ІС - ӘРЕКЕТТЕРІНІҢ ҚАЛЫПТАСУЫНА ӘДІСТЕМЕЛІК ЖӘНЕ ДИДАКТИКАЛЫҚ МАТЕРИАЛДАРДЫҢ МАҢЫЗЫ

**О. Құрманұлы**

*Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия Ұлттық Университеті*

Педагог ғалымдар мен оқытушылардың ұстаздық қызметінің басты міндеті – студент жастардың бойындағы шығармашылық қабілетін тани білу, олардың қабілетін дамыту жолдарын қарастыру, ынталандыру, мүмкіндік жасау, шығармашылыққа тәрбиелеу болмақ [1, 6].

Студенттерде шығармашылық қабілеттілікті қалыптастыру үшін мамандығына қатысты базалық пәннен сабақ беретін оқытушы-ұстаз, ең алдымен оларды шығармашылыққа икемдеу керек. Ол үшін:

- студенттердің пәнге қызығушылығын тудыру;
  - ізденпаздыққа баулу, моральдық ынталандыру;
  - пәннің ғылыми практикалық маңызынан хабардар ету;
  - сол пәннің оның болашақ кәсіби мамандықты игеруіне, нақты әсері болатындығына сендіру;
  - теориялық білімсіз, ғылыми жетістікке жетпейтінін нақты мысалдар арқылы дәлелдеу;
  - пәнге қатысты ғылым саласының бүгінгі жетістіктері мен болашағы туралы және де басқа ғылым салаларымен ара байланысы туралы ақпараттармен қамтамасыз ету;
  - ұлы ғалымдардың еңбек жолдарымен, ашқан жаңалық шығармаларымен таныстыру;
  - сенде жаңалықтар ашасың, оны қоғам сенен жаңалықтар күтіп отыр, оған сенің мүмкіндігің бар деген сенім жүктеу;
  - мамандыққа қатысты жаңа технологиялар мен құралдарды игеруге көмектесу;
  - кәсіби шығармашылықтың маңызын түсіндіру, шығармашылық көзқарас және үміт қалыптастыру;
  - ең бастысы студенттерді шығармашылыққа жетектейтін педагогикалық негіздегі оқу-әдістемелік нұсқаулар мен пәндік әдіснамамен қамтамасыз ету.
- Мамандардың шығармашылық қабілеттілігі, оның маңызы, мазмұны, құрылымы, қалыптасуы мен дамуының шарттылығы мен мүмкіндіктерінің тұтас сипатын педагогикалық, психологиялық тұрғыда қарастыру керек

[ 2, 6]. Демек, студент жастарды шығармашылыққа баулу қолданбалы педагогиканың оның теориялық әдіснамасының және практикалық әдіс-тәсілдерінің маңызы өте зор.

Қазіргі жас мамандарға қойылатын талап та өте жоғары. Себебі, ғылымның шарықтай дамуына байланысты өндірістік техника мен технология күн сайын өзгеріске ұшырауда. Техника мен технологияның жетістігі бір жағынан алып қарағанда педагогикалық әдіснаманы жүзеге асыруды жеңілдетеді, ал бұл өз кезегінде педагогикалық зерттеу саласында жаңаша ізденістерді талап етеді.

Кредиттік жүйе бойынша оқыту ең алдымен, студенттердің өз бетінше жұмыс жасауының сапалылығын қамтамасыз ете отырып, оқытушының жұмысын түбегейлі өзгертеді, олардың білімін үнемі жетілу үстінде болуын қажет етеді [3,4]. Әсіресе, дәрісханалық сабақтарда студенттердің танымдық іс-әрекеттерін ұйымдастырып, басқаруда әдістемелік және дидактикалық нұсқаулардың арнайы жинағы маңызды міндет атқарады. Оған мына бақылау жұмыстарының нәтижесі дәлел болады.

Алдымен, дәрісте берілген, бірақ, арнаулы әдістемелік және дидактикалық материалдар берілмеген студенттердің мамандық пәндерінің теориялық бөліміне қатысты қиындық деңгейі әр түрлі есептер мен сұрақтар бойынша жүргізілген бақылау жұмыстарының нәтижелеріне назар аударыңыз (1- және 2-кесте). Бұдан студенттердің теориялық дайындығы есеп шығаруға деген ынтасы төмен екендігі байқалады.

Тәжірибе 2005-жылы Алматы қаласында Қ.И. Сәтбаев атындағы ҚазҰТУ- інде жүрілді, оған 50 студент қамтылды.

1 - кесте

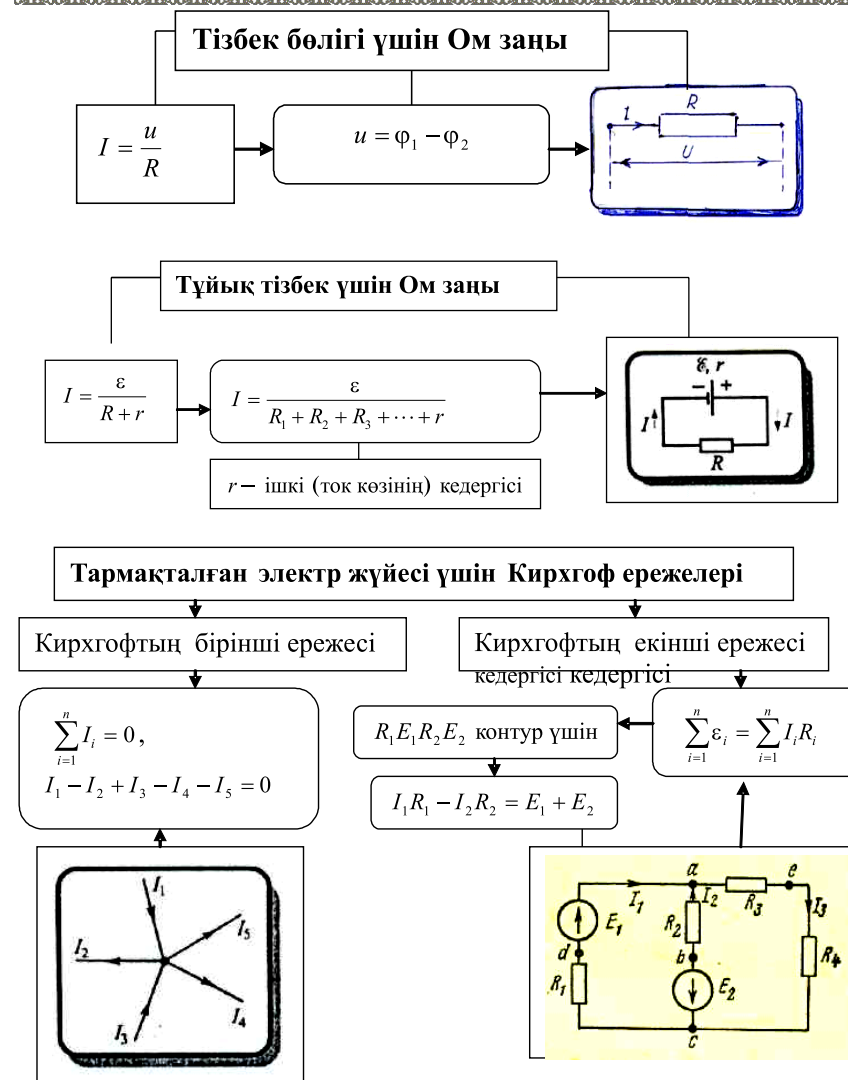
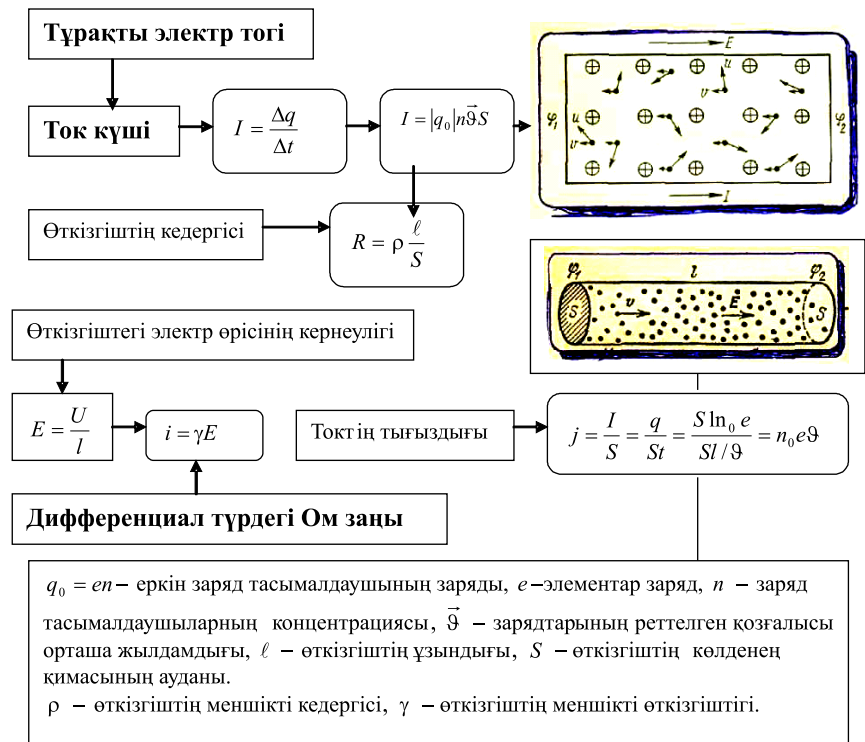
Қиындық деңгейі төмен		Қиындық деңгейі орташа		Қиындық деңгейі жоғары	
78%		30%		6%	
Өте жақсы	12 %	Өте жақсы	2 %	Өте жақсы	1%
Жақсы	32 %	Жақсы	12 %	Жақсы	2 %
Қанағатанарлық	34%	Қанағатанарлық	16%	Қанағатанарлық	3%
Қанағасыз	22%	Қанағасыз	70%	Қанағасыз	94%

Бұл тәжірибе кейіннен 2006-жылы Астанада Л.Н. Гумилев атындағы ЕҰУ-інде қайталанды. Тәжірибеге 43 студент қатысты.

2-кесте

Қиындық деңгейі төмен		Қиындық деңгейі орташа		Қиындық деңгейі жоғары	
68%		21%		2,5%	
Өте жақсы	9 %	Өте жақсы	1 %	Өте жақсы	0%
Жақсы	28 %	Жақсы	8 %	Жақсы	0,5 %
Қанағатанарлық	31%	Қанағатанарлық	12%	Қанағатанарлық	2%
Қанағасыз	32%	Қанағасыз	79%	Қанағасыз	97,5%

Осыдан кейін студенттерге арнап, оларды жалықтырмайтын қысқа да нұсқа дидактикалық сипаттағы материал дайындадық. Мұнда тізбек элементтері, олардың физикалық заңдылықтарын сипаттайтын математикалық модельдері көрнекті дидактикалық сипатта көрсетілген (1-сурет). Оны студенттер бір апта зерттеп, оқып үйренуіне мүмкіншілік жасаған едік.





**Видеман-Франц заңы:**  $\chi/\gamma = aT,$

Металдың  $\chi$  жылу өткізгіштігінің  $\gamma$  меншікті электр өткізгіштігіне қатынасы  $T$  термодинамикалық температураға пропорционал.

**Токтің жұмысы және қуаты:**  $A = IU\Delta t, N = \frac{A}{t} = IU, N = I^2 R = \frac{U^2}{R}.$

**Джоуль-Ленц заңы:**  $Q = I^2 R\Delta t, Q = IUt = \frac{U^2}{R}t.$

**Тұйық тізбектегі қуат:**  $N_0 = \frac{\varepsilon^2}{r + R}.$

Осыдан кейінгі бақылау жұмысының нәтижесі айтарлықтай жақсарғанын төменгі кестелерден көруге болады (3- және 4-кесте).

Тәжірибеге 2005-жылы Алматы қаласында Қ.И. Сәтбаев атындағы ҚазҰТУ-інде тағыда 50 студент қатысты.

3-кесте

Қиындық деңгейі төмен		Қиындық деңгейі орташа		Қиындық деңгейі жоғары	
90%		80 %		64%	
Өте жақсы	24 %	Өте жақсы	18 %	Өте жақсы	10 %
Жақсы	32 %	Жақсы	24 %	Жақсы	22 %
Қанағатанарлық	34%	Қанағатанарлық	38%	Қанағатанарлық	32 %
Қанағасыз	10%	Қанағасыз	20 %	Қанағасыз	36 %

2006-жылы Астанада Л.Н. Гумилев атындағы ЕҰУ-інде 40 студенттің қатысуымен қайталанған тәжірибе нәтижелерінен біздің әдісіміз айтарлықтай нәтижеге жеткенін көруге болады.

4-кесте

Қиындық деңгейі төмен		Қиындық деңгейі орташа		Қиындық деңгейі жоғары	
88%		77 %		41%	
Өте жақсы	20 %	Өте жақсы	15 %	Өте жақсы	9 %
Жақсы	33 %	Жақсы	25 %	Жақсы	22 %
Қанағатанарлық	35%	Қанағатанарлық	37%	Қанағатанарлық	30 %
Қанағасыз	12%	Қанағасыз	23 %	Қанағасыз	39 %

3 және 4-кестеден қысқа да нұсқа жасалған дидактикалық материалдар студенттердің білім сапасына ерекше әсер ететін көруімізге болады. Мысалы, дидактикалық материалдармен қамтамасыз етілгеннен кейінгі арнаулы өткізілген тестілік бақылауларда өте жақсы көрсеткішке ие болған студенттердің саны (3 және 4-кесте), алдыңғы бақылаулардың нәтижелеріне (1 және 2-кесте) салыстырғанда орташа есеппен  $40\% \div 52\%$  пайызға артқан.

Бұдан шығатын қорытынды СӨЖ сабақтарын логикалық тұрғыдан қарастырып, студенттердің пәнді оқуға деген қызығушылығын, белсенділігін арттыратын материалдармен қамтамасыз ету керек [2, 3].

Студенттердің пәнге қызығушылығын арттыру, білім деңгейін көтеру үшін және де теориялық білімін қорытып, қысқа мерзімде тақырып сұрақтарына талдау жасауына көмектесетін арнаулы оқу-әдістемелік дидактикалық сипаттағы материалдардың маңызы аса зор екеніне көзіміз жетті.

Мұнда мамандық пәндерінің ерекшеліктеріне байланысты, дидактикалық материалдардың үлгісіндегі СОӨЖ және СӨЖ сабақтарының тапсырмаларының мазмұнына қойылатын мынадай талаптар ескерілді:

– СОӨЖ сабақтарын орындау барысында студенттердің пәнге қызығушылығын арттыру, олардың арасында бәсекелестік тудыру, шығармашылық ізденпаздыққа бастау, білімдік қажеттіліктерін қамтамасыз ету;

– СОӨЖ сабақтарының тапсырмаларының мазмұнын әдебиетерді оқып реферат жазу, берілген есептерді шығарумен ғана шектелмей студенттердің ой өрісін кеңейтетін, ойланып толғанатын, нәтижесінде шығармашылыққа бет бұратын логикалық тұрғыда құру әдістері қарастырылды;

– электроника, электротехника және радио-телекоммуникация т.б. инженерлік пәндердің теориялық негізін қалайтын электрлік тізбектер теориясын кредиттік оқыту технологиясының талабына сәйкес оқытудың оқу-әдістемелік үлгісі қарастырылды: тізбек элементтерінің математикалық моделдері; тізбектер теориясының негізгі қағидаларын қысқаша тұжырымдаған математикалық-физика-техникалық моделдері.

Әрбір мамандық бойынша студенттер шығармашылыққа икемделудің өздік ерекшеліктері бар. Мұнда техникалық физика, электротехника электроника радиотелекоммуникация мамандықтары бойынша оқитын студенттер, олардың басты базалық пәндерінің біріне жататын электрлік тізбектер теориясы мен практикасын ұштастыру арқылы, өздерін шығармашылыққа тәрбиелеудің педагогикалық негіздегі әдіснамасы нақты оқу-әдістемелік нұсқаулардың негізінде ұсынылып отыр.

Мұнда студенттер электрлік тізбектердің сұлбаларын құрастырады, өздері құрастырған тізбектерге кешенді зерттеулер жасайды.

Мұнда электрлік тізбектерді тандап алудың басты себебі мынау:

- радиоэлектроникалық және электротехникалық құрылғылар көптеген түрлі электрлік тізбектерден құралады;

- радиоэлектроникалық және электротехникалық құрылғылардың конструктуралық жобаларын жасау үшін күрделі тізбектерді кешенді зерттеп үйрену қажет;

- жалпы электрлік тізбектердің теориясын практикамен ұштастырмайынша болашақ мамандардың кәсіби құзыреттілігін қалыптастыру мүмкін емес [3].

## ӘДЕБИЕТТЕР

1. Кенжебеков. Б.Т. Университет студенттерінің кәсіби құзыреттілігін қалыптастырудың теориясы мен практикасы. –Астана, ЕҰУ, 2001–270б.
2. Құрманұлы О., Абдула Ж. Электрлік тізбектер теориясы. –Астана, ЕҰУ, 2001. -220б.
3. Адольф В.А. Формирование профессиональной компетентности – будущего специалиста. – Москва: Высшая школа, 2000. –180с.
4. Мурзин Ю.М., Волков Ю.И. Электротехника. –Москва: Изд. программа. 300 лучших учебников для высшей школы, 2007. -440с.
5. Тарасевич Н.Н. Обретение педагогического мастерства. – Москва: Советская педагогика, 1999. –№11. – с. 11-15.
6. Андреев В.И. Диалектика воспитания и само воспитания творческой личности. Основы педагогически творчества. – Казань: Изд-во Казанского университета, 1988. -236с.
7. Сеитова Г.М. Содержание и методика организации самостоятельной работы студентов. Дисс...к.пед.н. -М., 1995.
8. Кузмина Н.В., Тихомиров С.А. Методологические проблемы вузовская педагогики. –Л.: ЛГУ, 1992. -23-13с.
9. Скаткин М.Н. Методология и методика педагогических исследований. – М.: Педагогика, 1986.-152с.
10. Скаткин М.Н. Проблемы современной дидактики. – 2-е изд. – М.: Педагогика, 1986. -150с.

**Резюме**

*Рассмотрены современные методы для формирования профессиональных знаний и умений студентов, разработаны учебно-методические и дидактические материалы.*

*Разработаны методы приготовления дидактических материалов.*

*Разработаны математические модели некоторых физических величин. Обсуждены результаты исследования.*

**Resume**

*Modern methods are considered for shaping the professional knowledge and skills of students, and designed scholastic - methodical and didactical materials.*

*Designed methods of the preparation didactic materials. Designed mathematical models of magnitudes of physical quantity. Discussed results of research.*

УДК 539.3

**РЕЗУЛЬТАТЫ СТАТИЧЕСКОГО РАСЧЕТА ЛИНЕЙНОЙ ЧАСТИ ТРУБОПРОВОДА С ЖИДКОСТЬЮ****А.М. Марасулов**Южно-Казахстанский государственный университет  
им. М. Ауезова, г. Шымкент

В процессе эксплуатации конструкций магистральных трубопроводов подвержены различного рода эксплуатационным статическим и динамическим воздействиям.

Целью настоящей работы является на основе оболочечных моделей деформаций трубопроводов проанализировать напряженно-деформированное состояние модели линейной части надземного трубопровода.

Модель трубопровода представляет собой фрагмент трубопровода длиной 4,0м, состоящего из трех равных пролетов равной 1,28м и диаметром 245мм, которые изготовлены из стального листа марки Ст8 с  $\sigma_{\text{в}}=320\text{МПа}$ ,  $\delta=24\%$ ,  $\psi=55\%$ .

Статическое состояние цилиндрической оболочки описывается следующими уравнениями [1]:

$$\frac{\partial N_x}{\partial x} + \frac{\partial S}{\partial s} + X = 0, \quad \frac{\partial N_s}{\partial s} + \frac{\partial S}{\partial x} - \frac{Q_s}{R} + Y = 0,$$

$$\frac{N_s}{R} + \frac{\partial Q_x}{\partial x} + \frac{\partial Q_s}{\partial s} - Z = 0, \quad \frac{\partial H}{\partial x} - \frac{\partial M_s}{\partial s} + Q_s = 0, \quad \frac{\partial H}{\partial s} - \frac{\partial M_x}{\partial x} + Q_x = 0 \quad (1)$$

где  $N_x$ ,  $N_s$  и  $S$  - тангенциальные усилия соответствующих напряжений;  $Q_x$  и  $Q_s$  - поперечные силы;  $M_x$  и  $M_s$  - моменты;  $X$ ,  $Y$  и  $Z$  - проекции внешних воздействий.

Из последних двух уравнений находим:

$$Q_x = \frac{\partial M_x}{\partial x} - \frac{\partial H}{\partial s}, \quad Q_s = \frac{\partial M_s}{\partial s} - \frac{\partial H}{\partial x} \quad (2)$$

Подставляя (2) в первые три уравнения (1), получим:

$$\frac{\partial N_x}{\partial x} + \frac{\partial S}{\partial s} + X = 0,$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial N_s}{\partial s} + \frac{\partial S}{\partial x} - \frac{1}{R} \frac{\partial M_s}{\partial s} + \frac{1}{R} \frac{\partial H}{\partial x} + Y = 0, \\ \frac{N_s}{R} + \frac{\partial^2 M_x}{\partial x^2} - 2 \frac{\partial^2 H}{\partial x \partial s} + \frac{\partial^2 M_s}{\partial s^2} - Z = 0. \end{aligned} \quad (3)$$

Связь между деформациями и перемещениями будет иметь вид:

$$\begin{aligned} \varepsilon_x = \frac{\partial u_x}{\partial x}, \quad \varepsilon_s = \frac{\partial u_s}{\partial s} + \frac{u_z}{R}, \quad \varepsilon_{xs} = \frac{\partial u_s}{\partial x} + \frac{\partial u_x}{\partial s}, \\ \chi_s = -\frac{\partial^2 u_z}{\partial x^2}, \quad \chi_x = \frac{\partial}{\partial s} \left( \frac{u_s}{R} - \frac{\partial u_z}{\partial s} \right), \quad \chi_{xs} = \frac{1}{2} \frac{\partial}{\partial x} \left( \frac{u_s}{R} \right) - \frac{\partial^2 u_z}{\partial x \partial s} \end{aligned} \quad (4)$$

где  $u_x, u_s, u_z$  - соответственно перемещения по направлениям  $x, s$  и  $z$ .

Усилия и моменты выражаются следующими формулами:

$$N_x = C \left[ \frac{\partial u_x}{\partial x} + \nu \left( \frac{\partial u_s}{\partial s} + \frac{u_z}{R} \right) \right], \quad N_s = C \left( \frac{\partial u_s}{\partial s} + \frac{u_z}{R} + \nu \frac{\partial u_x}{\partial x} \right), \quad S = \frac{1-\nu}{2} C \left( \frac{\partial u_s}{\partial x} + \frac{\partial u_x}{\partial s} \right), \quad (5)$$

$$\begin{aligned} M_x = -D \left[ \nu \frac{\partial}{\partial s} \left( \frac{u_z}{R} - \frac{\partial u_z}{\partial s} \right) - \frac{\partial^2 u_z}{\partial x^2} \right], \quad M_s = -D \left[ \nu \frac{\partial}{\partial s} \left( \frac{u_z}{R} - \frac{\partial u_z}{\partial s} \right) - \nu \frac{\partial^2 u_z}{\partial x^2} \right], \\ M_s = -D \left[ \nu \frac{\partial}{\partial s} \left( \frac{u_z}{R} - \frac{\partial u_z}{\partial s} \right) - \nu \frac{\partial^2 u_z}{\partial x^2} \right], \quad H = (1-\nu) D \frac{\partial}{\partial x} \left( \frac{u_z}{2R} - \frac{\partial u_z}{\partial s} \right). \end{aligned}$$

где  $s = R\varphi$ ,  $C = Eh/(1-\nu^2)$  - цилиндрическая жесткость оболочки на растяжение;  $D = Eh^3/12(1-\nu^2)$  - цилиндрическая жесткость оболочки на изгиб,  $\nu$  - коэффициент Пуассона,  $E$  - модуль упругости.

Подставляя (5) в (3) и полагая  $R = const$ , получим, следующие три уравнения:

$$\left( \frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{1-\nu}{2} \frac{\partial^2}{\partial s^2} \right) u_x + \frac{1+\nu}{2} \frac{\partial^2 u_s}{\partial x \partial s} + \frac{\nu}{R} \frac{\partial u_z}{\partial x} + \frac{X}{C} = 0 \quad (6)$$

$$\frac{1+\nu}{2} \frac{\partial^2 u_x}{\partial x \partial s} + \left( 1 + \frac{h^2}{12R^2} \right) \left( \frac{1-\nu}{2} \frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial s^2} \right) u_s + \frac{1}{R} \left[ \frac{\partial}{\partial s} - \frac{h^2}{12} \left( \frac{\partial^3}{\partial x^3 \partial s} + \frac{\partial^3}{\partial s^3} \right) \right] u_z + \frac{Y}{C} = 0,$$

$$\frac{\nu}{R} \frac{\partial u_x}{\partial x} + \frac{1}{R} \left[ \frac{\partial}{\partial s} - \frac{h^2}{12} \left( \frac{\partial^3}{\partial x^3 \partial s} + \frac{\partial^3}{\partial s^3} \right) \right] u_s + \left[ \frac{1}{R^2} + \frac{h^2}{12} \left( \frac{\partial^4}{\partial x^4} + 2 \frac{\partial^4}{\partial x^2 \partial s^2} + \frac{\partial^4}{\partial s^4} \right) \right] u_z - \frac{Z}{C} = 0,$$

Уравнения (6) являются симметричными относительно главной диагонали, что находится в согласии с основными теоремами теории упругости. Любая задача для круговой цилиндрической оболочки сводится к решению системы (6).

Рассмотрим деформацию модели трубопровода под своим собственным весом. В этом случае осесимметричные нагрузки ( $Y = 0$ )  $Q_s = S = H = u_s = 0$ , а величины  $u_x$  и  $u_z$ , как и другие, зависят лишь от координаты  $x$ . Система (6) в этом случае примет вид:

$$\frac{d^2 u_x}{dx^2} + \frac{\nu}{R} \frac{du_z}{dx} + \frac{X}{C} = 0; \quad \nu \frac{du_x}{dx} + \left( \frac{1}{R} + \frac{Rh^2}{12} \frac{d^4}{dx^4} \right) u_z - \frac{ZR}{C} = 0 \quad (7)$$

При  $X = 0$  интегрирование первого уравнения (7) дает:

$$\frac{du_x}{dx} + \frac{\nu}{R} u_z = C_5, \quad (8)$$

т.е., согласно (5),  $C_5 = N_x/C$ .

Второе уравнение (7) принимает вид:

$$\frac{d^4 u_z}{dx^4} + 4\gamma^4 u_z = \frac{Z}{D} - \frac{\nu N_x}{RD}, \quad (9)$$

где  $\gamma^4 = 3(1-\nu^2)R^2h^2$ .

Общее решение уравнения (9) будет иметь вид:

$$u_z = e^{-\gamma x} (C_1 \cos \gamma x + C_2 \sin \gamma x) + e^{\gamma x} (C_3 \cos \gamma x + C_4 \sin \gamma x) + f(x), \quad (10)$$

где  $C_k$  - произвольные постоянные;  $f(x)$  - частное решение неоднородного уравнения (9), которое содержит произвольную константу  $C_5$ .

Шестое уравнение получается из интегрирования уравнения (8):

$$u_x = C_6 + C_5 x - \frac{\nu}{R} \int_0^x u_z dx \quad (11)$$

Края трубы предполагаем закрепленными таким образом, чтобы нагрузка воспринималась опорами в форме сдвигающих сил. Такими опорами могут служить абсолютно жесткие в своей плоскости и подвижные в направлении  $Ox$  диафрагмы, на которые опирается оболочка. Ввиду подвижности опор в направлении  $Ox$ , очевидно, силы  $N_1$  на краях, перемещения  $v$  и  $w$  у опор должны быть равны нулю. Принимая, что прогиб  $w$  на опоре цилиндрической оболочки равен нулю, заранее можно утверждать, что у опоры без моментное напряженное состояние будет нарушено, так как нарушается одно из условий его существования.

Компоненты нагрузки от собственного веса для горизонтально расположенной цилиндрической оболочки имеют вид:

$$p_1 = 0, \quad p_2 = q \sin \theta, \quad p_3 = -q \cos \theta, \text{ м.е. } n=1, \quad p_{2n} = -p_{3n} = \text{const}, \quad (12)$$

где  $q$  - вес элемента оболочки единичной площади.

Для решения задачи можно воспользоваться выражениями:

$$N_1 = \left[ \frac{1}{R} (qx^2 - D_1 x) + D_2 \right] \cos \theta, \quad S = -[2qx - D_1] \sin \theta, \quad N_2 = -qR \cos \theta. \quad (13)$$

Произвольные постоянные определяем из статических граничных условий:

$$x = 0, \quad N_1 = 0; \quad x = l, \quad N_1 = 0. \quad (14)$$

Первое условие из (14) дает  $D_2 = 0$ . Из второго условия определяем  $D_1$ :

$$ql^2 - D_1 l = 0, \quad D_1 = ql. \quad (15)$$

Подставляя значение  $D_1$  в уравнения (13), получим окончательное решение задачи:

$$N_1 = \frac{qx}{R} (x-l) \cos \theta, \quad S = -q(2x-l) \sin \theta, \quad N_2 = -qR \cos \theta. \quad (16)$$

Это решение позволяет определить и упругие перемещения оболочки:

$$u = \frac{1}{Eh} \left( \frac{qx^3}{3R} - \frac{qlx^2}{2} + D_3 \right) \cos \theta,$$

$$\left. \begin{aligned} v &= \frac{1}{Eh} \left\{ 2q \left[ \frac{x^4}{24R^2} - x^2 \right] - ql \left[ \frac{x^3}{6R^2} - 2x \right] + \frac{1}{R} (D_3 x + D_4) \right\} \sin \theta, \\ w &= -\frac{1}{Eh} \left\{ qR^2 + 2q \left[ \frac{x^4}{24R^2} - x^2 \right] - ql \left[ \frac{x^3}{6R^2} - 2x \right] + \frac{1}{R} (D_3 x + D_4) \right\} \cos \theta. \end{aligned} \right\} (17)$$

Произвольные постоянные  $D_3$  и  $D_4$  определим из геометрических граничных условий:

$$x = 0, \quad v = 0; \quad x = l, \quad v = 0. \quad x = l, \quad w = 0. \quad (18)$$

Приравняв нулю  $v$  при  $x = 0$  получим:  $D_4 = 0$ . Из второго условия (18) получаем  $D_3 = -ql^3 / 12R$ .

Определив постоянные  $D_3$  и  $D_4$ , вычислим значения упругих смещений на одном из краев, например, при  $x = 0$ :

$$u_k = -\frac{ql^3}{12EhR} \cos \theta, \quad v_k = 0, \quad w_k = -\frac{R^2 q}{Eh} \cos \theta, \quad (19)$$

Результаты расчетов приведены на рис.2. Из рисунка видно, что максимальные усилия достигаются в середине пролета цилиндрической оболочки.

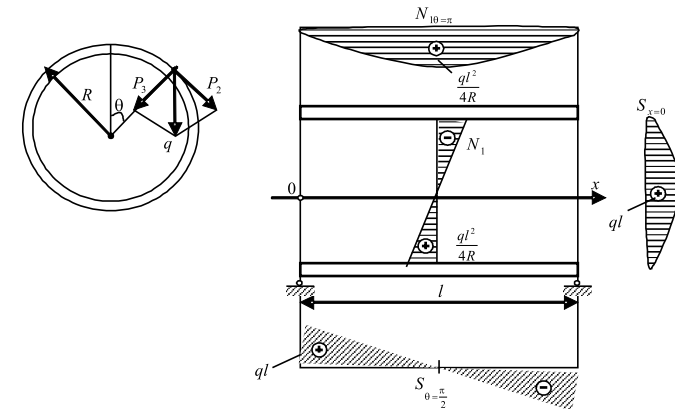


Рисунок 2 - Эпюры усилий в цилиндрической оболочке от собственного веса



Рассмотрим замкнутую круговую цилиндрическую оболочку постоянной толщины  $h$ , жестко защемленную по краям и частично наполненную жидкостью с объемным весом  $g$ .

Краевые условия задачи имеют вид: при  $x=0$  и  $x=l$   
 $u_s = u_z = N_x = M_x = 0$ .

Эти условия вместе с условиями симметрии деформаций относительно плоскости  $Oxz$  удовлетворяются, если составляющие перемещения задать в виде рядов:

$$u_x = \sum_{m=1}^{\infty} \sum_{n=0}^{\infty} A_{mn} \cos n\varphi \cdot \cos \frac{m\pi x}{l}, u_s = \sum_{m=1}^{\infty} \sum_{n=0}^{\infty} B_{mn} \sin n\varphi \cdot \sin \frac{m\pi x}{l},$$

$$u_z = \sum_{m=1}^{\infty} \sum_{n=0}^{\infty} C_{mn} \cos n\varphi \cdot \sin \frac{m\pi x}{l}.$$

Интенсивность давления  $Z$  выразится следующим образом:

$$Z = gR(\cos\varphi - \cos\alpha) \text{ при } 0 \leq \varphi \leq \alpha; \quad Z = 0 \text{ при } \alpha < \varphi \leq \pi.$$

Последние выражения представляются в форме следующего ряда Фурье:

$$Z = \sum_{m=1}^{\infty} \sum_{n=0}^{\infty} D_{mn} \cos n\varphi \cdot \sin \frac{m\pi x}{l}.$$

где коэффициенты  $D_{mn}$  вычисляются по следующим формулам:

$$D_{mn} = \frac{8gR}{m\pi^2(n^2-1)} (\cos\alpha \cdot \sin n\alpha - n \cos n\alpha \cdot \sin\alpha),$$

где  $m = 1, 3, 5, \dots$  и  $n = 2, 3, 4, \dots$ , причем

$$D_{m0} = \frac{4gR}{m\pi^2} (\sin\alpha - \alpha \cos\alpha), \quad D_{m1} = \frac{2gR}{m\pi^2} (2\alpha - \sin 2\alpha).$$

В случае цилиндра, заполненного жидкостью, обозначая через  $gd$  давление на уровне оси оболочки, получим:

$$Z = g(d + R \cos\varphi).$$

Коэффициенты разложения нагрузки

$$D_{m0} = \frac{4gd}{m\pi}, \quad D_{m1} = \frac{4gd}{m\pi}, \quad D_{mn} = 0 \text{ при } n > 1 \quad m = 1, 3, 5, \dots$$

Пренебрегая во втором уравнении (6) величиной  $h^2/12R^2$  после подстановки в них соответствующих рядов для перемещений и нагрузки получим уравнения в следующем виде:

$$A_{mn} [2m^2\pi^2 + (1-\nu)\lambda^2 n^2] - B_{mn} (1+\nu)\lambda m n \pi + C_{mn} 2\nu\lambda m \pi = 0,$$

$$A_{mn} 3(1+\nu)\lambda m n \pi - B_{mn} [3(1-\nu)m^2\pi^2 + 6\lambda^2 n^2] - C_{mn} 2\lambda^2 n [3 + \eta^2(m^2\pi^2 + \lambda^2 n^2)] = 0,$$

$$A_{mn} 3\nu\lambda m \pi - B_{mn} \lambda^2 n^2 [3 + \eta^2(m^2\pi^2 + \lambda^2 n^2)] - C_{mn} 2\lambda^2 n [\lambda^2 + \eta^2(m^2\pi^2 + \lambda^2 n^2)] = -\frac{D_{mn} l^2 h}{2D}$$

$$\text{где } \lambda = l/R, \quad \eta = h/2l.$$

Пользуясь этими уравнениями, можно вычислить величины  $A_{mn}$ ,  $B_{mn}$  и  $C_{mn}$  при любых значениях  $m$  и  $n$ , подсчитать составляющие перемещения и усилия по формулам (5).

Числовые расчеты показывают [1], что коэффициенты  $A_{mn}$ ,  $B_{mn}$  и  $C_{mn}$  быстро затухают и при расчете можно ограничиться первыми 2–3 членами рядов.

Проведенный расчет показал, что граничное условие относительно прогиба  $w$  не выполняется. Так как в действительности опорные диафрагмы не дают возможности оболочке прогибаться на контуре, то происходит изгибание оболочки у опоры.

Если оболочку рассчитывать по безмоментной теории, тогда уравнения равновесия и перемещения принимают следующий вид:

$$\frac{dN_x}{d\varphi} + RP_x = 0, \quad N_s + RP = 0, \quad w = \frac{R}{Eh} (N_s - N_x \nu), \quad \varphi_x = \frac{1}{R} \frac{dw}{d\varphi}. \quad (20)$$

При воздействии внутреннего давления жидкости из (20) можно найти

$$N_x = \frac{p_{жс} R}{2}; \quad N_s = p_{жс} R; \quad w = \frac{p_{жс} R}{Eh} \left(1 - \frac{\nu}{2}\right), \quad \varphi_x = 0 \quad (21)$$

При давлении жидкости с удельным весом  $\gamma$  при  $0 < \alpha < \frac{\pi}{2}$  моменты и усилия принимают следующий вид:

$$N_s^0 = \left( -\frac{1}{\pi} + \frac{\cos \alpha + \alpha \sin \alpha}{4} \right) \gamma R^2 \quad (22)$$

$$Q_s^0 = -\frac{\alpha \cos \alpha \gamma R^2}{4}; \quad N_s^0 = \left( \frac{\alpha \sin \alpha + 3 \cos \alpha}{4} \right) \gamma R^2$$

Результаты расчета цилиндрической оболочки приведены в таблицах 1-3, где  $N_1$  и  $N_2$  - усилия,  $M_1$  и  $M_2$  - моменты.

Таблица 1

Изменение усилий в зависимости от длины оболочки

$l$	$N_1 / P_0$	$N_2 / P_0$	$M_1 / P_0 e$	$M_2 / P_0 e$
$0,10532 \cdot 10^{-2}$	$0,35327 \cdot 10$	$0,50345 \cdot 10$	$0,31079 \cdot 10^{-2}$	$0,93238 \cdot 10^{-3}$
$0,11532 \cdot 10^{-2}$	$0,35327 \cdot 10$	$0,94658 \cdot 10$	$0,87092 \cdot 10^{-2}$	$0,26128 \cdot 10^{-2}$
$0,12532 \cdot 10^{-1}$	$0,35327 \cdot 10$	$0,10598 \cdot 10$	$0,35980$	$-0,10794$

Таблица 2

Изменение напряжений в оболочке в зависимости от давления жидкости

$p$ кг/см <sup>2</sup>	$\sigma_z$	$\varepsilon_{\parallel} \cdot 10^3$	$\varepsilon_{\perp} \cdot 10^3$
12	271,8	3,78	5,72
20	294,1	6,5	8,44
30	300,2	7,86	9,16
60	304,1	9,24	10,52
80	312,1	11,95	13,90
85	318,3	14,66	16,61

Таблица 3

Изменение радиального перемещения трубопровода в зависимости от внутреннего давления жидкости

$p$ кг/см <sup>2</sup>	44	50	70	80	90
$w$ , мм	0,037	0,051	0,092	0,12	0,19

Результаты расчета стального трубопровода с  $E=2 \cdot 10^5$ ,  $R=40$  см с толщиной стенки  $h=2$  мм находящегося под действием равномерного внутреннего давления  $p=2,5$  МПа. приведены в таблице 6, где  $\sigma_1$  - кольцевые и  $\sigma_2$  - продольные напряжения.

Максимальные значения продольных и кольцевых напряжений составили 50.....55 МПа.

Таблица 6

Результаты расчета модели трубопровода с жидкостью.

$x$ , м	$\xi$	$e^{-\xi} \cos \xi$	$e^{-\xi} \sin \xi$	$\sigma_1$ , МПа	$\sigma_2$ , МПа
0,76	1,1	0,151	0,297	52,7	22,4
1,04	1,5	0,016	0,222	47,9	11,9
1,32	1,9	-0,048	0,141	46,2	4,7
1,60	2,3	-0,067	0,075	46,2	0,4
1,88	2,7	-0,061	0,029	47,0	-1,6
2,15	3,1	-0,045	0,002	48,1	-2,2
2,43	3,5	-0,028	-0,011	49,0	-2,0
2,71	3,9	-0,015	-0,014	49,5	-0,5
2,99	4,3	-0,005	-0,013	50,0	-0,9
3,27	4,7	0,000	-0,009	50,1	-1,2
3,54	5,1	0,002	-0,005	50,0	-1,1
3,82	5,5	0,003	-0,003	50,2	2,0
4,10	5,9	0,003	-0,001	50,2	2,1

## ЛИТЕРАТУРА

1. Колкунов Н.В. Основы расчета упругих оболочек. - М.: 1987. - 256с.
2. Власов В.З. Общая теория оболочек и ее приложение в технике. - М: Гостехиздат, 1958. - 657с.

## Түйіндеме

Бұл мақалада әр түрлі жүктемеде жұмыс істейтін құбырдың сызықты бөлігі конструкциясын есептеудің нәтижелері келтірілген. Есепті шығару алгоритмі мен санық есептеу нәтижелері талданған.

## Resume

In clause the results of settlement experiment of a design of model of a linear part of the pipeline are discussed at various loadings. Are submitted algorithm of the decision of a task and numerical data of account.

УДК 681.51

## РАЗРАБОТКА МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ

С.А. Мендыбаев, Н.И. Глухова, Л.И. Кривко

Павлодарский государственный университет им. С Торайгырова

Технологический процесс получения глинозема, содержащегося в ископаемой руде (боксите), является трудоемким производством и осуществляется поэтапно. Предварительно, глинозем, содержащийся в боксите, превращается в щелочной алюминат, который подвергается дальнейшей обработке (отделение алюминатного раствора от красного шлама, фильтрации, промывке и т.д.).

Для реализации эффективного протекания технологического процесса, он должен быть управляемым. Применительно к технологическим объектам это означает, что в процессе их функционирования необходимо осуществлять непрерывное поддержание заданных параметров процесса, с применением исполнительных механизмов, на требуемом уровне, чтобы при внешних возмущениях обеспечить минимальное отклонение этих параметров от их установленных значений. При этом, чем совершеннее автоматизированная система управления технологическим процессом (АСУТП), тем точнее будет приближение фактического результата к требуемому.

С целью создания эффективной автоматизированной системы управления технологическим процессом, было проведено исследование объектов автоматизации и разработана математическая модель системы автоматического регулирования (САР).

В качестве регулируемого параметра объекта автоматизации был выбран расход алюминатного раствора из сгустителя, представленный на рисунке 1.

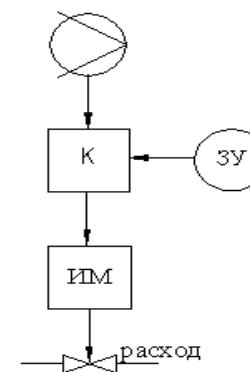


Рисунок 1 - Схема регулирования расхода из сгустителя

Контроллер К - получает сигнал от датчика расхода - расходомера, установленного на трубопроводе из сгустителя, сравнивает полученный параметр с заданием, поступающим с задающего устройства ЗУ, и исполнительный механизм перемещает в нужном направлении диафрагму регулирующего органа, установленную на трубопроводе подачи алюминатного раствора на фильтрацию, таким образом изменяя расход.

Выбранный нами сгуститель (объект управления) представляет собой многемкостной объект. На рисунке 2 приведена кривая разгона, которая описывается аperiodическим (инерционным) звеном первого порядка, т.е. рассматриваемый объект управления является объектом с самовыравниванием.

Характеристика с самовыравниванием многемкостного объекта (рисунок 2) имеет точку перегиба **a**. На участке **oa** кривая вогнута, а на участке **cd** выпуклая. Точка перегиба лежит в центре линейного отрезка **ac**. К точке перегиба кривой проводят касательную. Касательная на оси времени отсекает отрезок, который обозначается  $\tau_{об}$  (время запаздывания объекта).

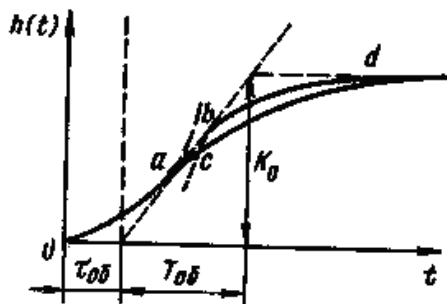


Рисунок 2 – Типовая кривая разгона многосекционного объекта управления

Постоянная времени объекта  $T_{об}$  определяется как проекция касательной на ось времени. Таким построением характеристика приводится к характеристике двух последовательно соединенных звеньев — транспортного запаздывания и инерционного звена. Таким образом, характеристика объекта аппроксимируется характеристикой транспортного запаздывания и инерционного звена.

Значения координат разгонных характеристик снимаются диаграммой ленты (время  $t$  и соответствующие ему значения, и для каждого значения вычитается начальное, т. е. значение параметра в момент нанесения возмущения).

Полученные значения приращений  $\Delta X$  характеристики делятся на величину возмущения  $\Delta f$ , при котором снималась данная характеристика, таким образом, получают координаты временной характеристики

$$h(t) = \frac{\Delta X}{\Delta f} \quad (1)$$

Передаточная функция  $W_{об}(s)$  аperiodического (инерционного) звена первого порядка

$$W_{об}(s) = \frac{k_{об}}{T_{об}s + 1} \quad (2)$$

где  $T_{об}$  – постоянная времени объекта;

$k_{об}$  – коэффициент усиления объекта.

Передаточная функция звена транспортного запаздывания

$$W_{об}(s) = k_{об} e^{-\tau_{об}s} \quad (3)$$

где  $\tau_{об}$  – время запаздывания объекта.

Передаточная функция аperiodического звена и звена транспортного запаздывания

$$W_{об}(s) = \frac{k_{об} e^{-\tau_{об}s}}{T_{об}s + 1} \quad (4)$$

Для того, чтобы рассчитать коэффициент усиления, мы переведем имеющиеся значения расхода из  $\text{м}^3/\text{ч}$  в  $\text{м}^3/\text{с}$ :

$$377 \text{ м}^3/\text{ч} = \frac{377}{3600} = 0,105 \text{ м}^3/\text{с};$$

$$314 \text{ м}^3/\text{ч} = \frac{314}{3600} = 0,087 \text{ м}^3/\text{с}.$$

Коэффициент усиления  $k_{об}$  для объекта мы определим как

$$k_{об} = \frac{0,105 - 0,087}{2100} = 0,85 \cdot 10^{-5}.$$

Таким образом, по разгонной характеристике (рисунок 3.3) объекта управления мы определили следующие параметры:

$$k_{об} = 0,85 \cdot 10^{-5};$$

$$\tau_{об} = 300\text{с};$$

$$T_{об} = 1620\text{с}.$$

Передаточная функция объекта управления имеет вид

$$W_{об}(s) = \frac{0,85 \cdot 10^{-5} \cdot e^{-300s}}{1620s + 1}.$$

Структурная схема типовой системы автоматического регулирования приведена на рисунке 3. Регулирующее устройство РУ с исполнительным механизмом ИМ, задающим ЗУ и суммирующими устройствами образуют автоматический регулятор 1. Регулирующий орган РО, собственно объект регулирования ОР и измерительное устройство ИУ образуют обобщенный объект регулирования 2.

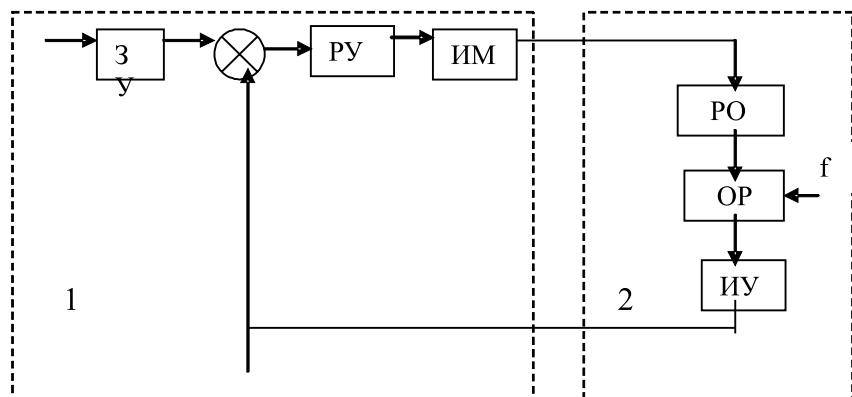


Рисунок 3– Структурная схема типовой САР

Таким образом, автоматическая система регулирования (САР) состоит из регулятора (Р) и объекта (О), взаимодействующих между собой по замкнутому контуру (рисунок 4).

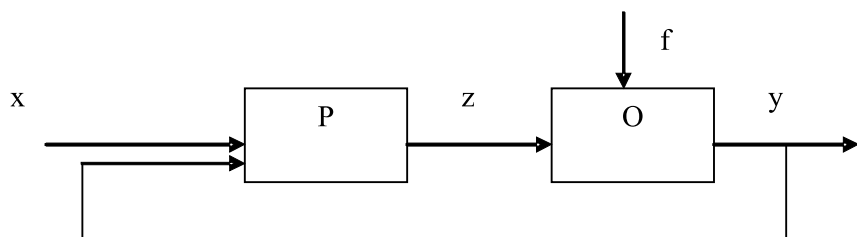


Рисунок 4 – Структурная схема типовой САР

## ЛИТЕРАТУРА

1. Лайнер А.И., Еремин Н.И., Лайнер Ю.А., Певзнер. Производство глинозема. 2-е изд. - М.: Металлургия.
2. Технологическая инструкция по производству глинозема методом “Байер-спекание”. -Павлодар.
3. Каганов В.Ю., Блинов О.М., Беленький А.М. Автоматизация управления металлургическими процессами. -М.: Металлургия.
4. Теория автоматического управления. Ч. 1, 2. Под ред. А.А. Воронова Учеб. пособие для вузов. -М.: Высшая школа.

5. Наладка средств автоматизации и автоматических систем регулирования: Справочное пособие. Под ред. А.С. Клюева.-М.: Энергоатомиздат.

6. Техника чтения схем автоматического управления и технологического контроля. Под ред. А.С. Клюева. -М: Энергоатомиздат.

7. Ищенко А.Д., Моля Г.М., Бенсман Л.Г., Зевин С.П., Греков В.В. Автоматизированная система управления технологическим процессом получения глинозема.

8. Цымбал В.П. Математическое моделирование металлургических процессов. - М.: Металлургия.

9. Волкевич Л.И., Коваль М.П. Комплексная автоматизация производства. -М.: Машиностроение.

10. Проектирование систем автоматизации и технологических процессов, под ред. А.С. Клюева. Справочное пособие. – М.: Энергоатомиздат.

## Түйіндемe

*Мақалада автоматтандыруға объекті зерттеу атқарылған. Негізгі математикалық айтылуларда келтірілген, автоматты жоспа салу жүйе математикалық үлгісін суреттеушілер.*

## Resume

*In clause the research of object of automation is carried out (spent). The basic mathematical expressions describing mathematical model of system of automatic control are given.*

УДК 621.951

## ДВУХВЕРШИННЫЕ СВЕРЛА БЕЗ ПОПЕРЕЧНОЙ КРОМКИ

**Ж.К. Мусина**

*Павлодарский государственный университет им. С. Торайгырова*

Одной из актуальной проблем машиностроения является обработка отверстий, к которым предъявляются высокие требования по точности размера, формы и расположения. Чаще всего обработка отверстий осуществляется с помощью стержневых мерных инструментов. Это объясняется их следующими достоинствами: относительно высокой производительностью, низкими затратами на подготовку производства. Точность обработанных отверстий определяется в основном точностью применяемого режущего инструмента, станков и оснастки.

Обработку отверстий можно выполнять различными способами. Но чаще всего её выполняют с помощью мерных инструментов, так как этот



способ обладает высокой производительностью, невысокими требованиями к точности станков – точность обработанных отверстий, в основном, зависит от точности станка, инструмента и применяемой оснастки, и нет необходимости в высококвалифицированных работниках.

При сверлении отверстий существующими сверлами (спиральными, перовыми) поперечная кромка сверла воспринимает до 80% осевой силы, т.е. сопротивление осевой подаче создаётся областью контакта поперечной кромки с заготовкой.

Процесс сверления существующими свёрлами протекает в тяжелых условиях резания: затруднён отвод стружки и подвод СОЖ из-за значительного трения стружки о поверхность канавок сверла и самого сверла об обработанную поверхность. Задний угол  $\alpha$  не является величиной постоянной – он возрастает по мере приближения к центру. Очень неблагоприятной является величина переднего угла на поперечной кромке. У стандартных спиральных свёрл передний угол  $\gamma$  на поперечной кромке составляет значение до минус  $57^\circ - 60^\circ$ . Ввиду этого на поперечной кромке вместо резания имеет место смятие, выдавливание и скобление металла.

Для улучшения условий резания существуют способы заточки стандартных свёрл и подточки поперечной кромки, а также их новые более прогрессивные конструкции (рисунок 1) [3].

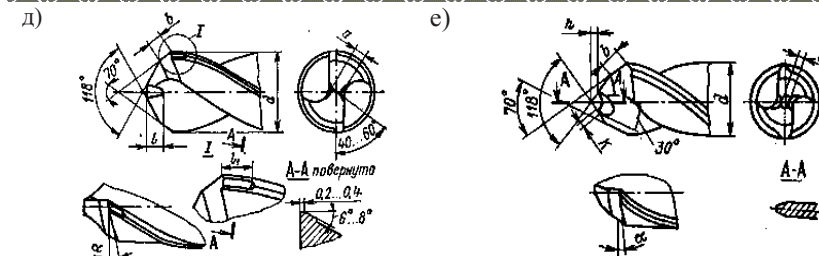
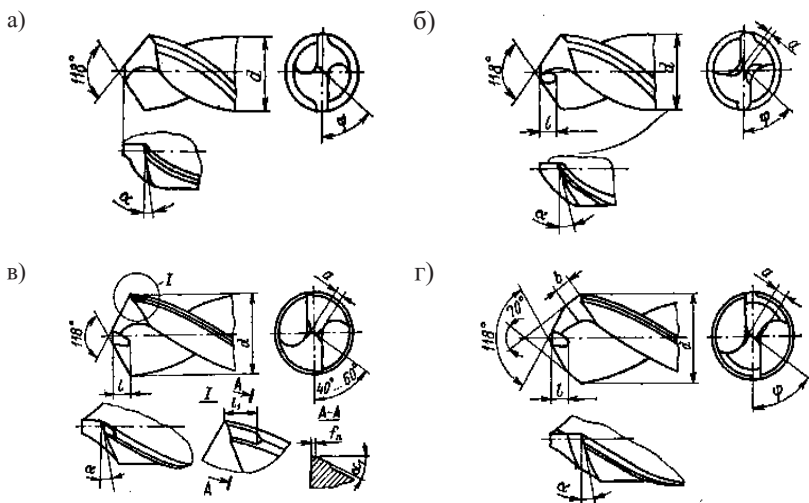


Рисунок 1 – Формы заточки свёрл

Форма Н (рисунок 1, а) – нормальная заточка, применяется для свёрл диаметром до 12 мм для всех материалов. Последующие формы применяются для сверл диаметром от 12 до 80 мм.

Форма НП (рисунок 1, б) предусматривает подточку поперечной кромки с двух сторон, в результате чего уменьшается её длина. Подточка снижает усилие резания, что позволяет увеличивать подачу и стойкость инструмента. Применяется она при обработке стали и стального литья при  $\sigma_b < 500$  МПа. Форма НПЛ (рисунок 1, в) также имеет подточку поперечной кромки и, кроме того, подточку ленточки, создающую дополнительный задний угол в зоне резания, что уменьшает трение ленточки об обрабатываемый материал. Такая заточка исключает усиленное трение ленточки на глубине врезания, равной половине осевой подачи; применяется она в тех же условиях, что и заточка по форме НП, но не позволяет вести работу по корке, из-за ослабления режущего клина на вспомогательной режущей кромке сверла (на  $1/2 S_{oc}$  кромки ленточки, являющейся режущей).

Формы ДП (рисунок 1, г), ДПЛ (рисунок 1, д) и ДП2 (рисунок 1, е) отличаются наличием двойной заточки, которая предусматривает улучшение условий работы периферийных участков режущих кромок за счёт уменьшения угла между ними до  $70 - 75^\circ$ . Этим достигается улучшение теплоотвода от сверла, увеличение его стойкости за счёт уменьшения износа в местах пересечения режущих кромок с разными углами.

Особенности форм заточки ДП и ДПЛ те же, что и форм НП и НПЛ (без двойной заточки). Форма ДП применяется для работы по корке на чугуном и стальном ( $\sigma_b > 500$  МПа) литье, а форма ДПЛ — для тех же условий, но при ранее снятой корке. Форма ДП2 имеет более глубокую подточку, срезающую поперечную кромку. Эта форма предназначена только для обработки чугуна со снятой коркой. Однако по сути заточка ДП2 не устраняет, а образует новую поперечную кромку, хотя и с несколькими улучшенными условиями резания.

Для уменьшения осевого усилия при сверлении поперечная кромка прорезается специальной двойной подточкой, но она остаётся на сверле в изменённом виде, с меньшими передними углами (на каждой из двух

половинок поперечной кромки создаётся передний угол  $\gamma=0^\circ$ ). Такие сверла хорошо зарекомендовали себя при обработке чугуна. Увеличение стойкости сверла достигается при использовании заточек по Клемму, Менцелю, Дреззу, Фельдштейну, Глушенко, которые предусматривают подточку поперечной кромки до 0,1 – 0,2мм (рисунок 3) [4].

Для снижения неравномерной загрузки на рабочей части применяют сверла с криволинейными режущими кромками, которые могут иметь либо радиусный профиль, либо радиусный профиль, сопряжённый с прямолинейным участком (рисунок 4, а). Ввиду сложности заточки таких сверл иногда заменяют криволинейную кромку ломанной, состоящей из двух участков с углом при вершине  $116 - 120^\circ$ , и дополнительной режущей кромкой на периферии под углом  $2\phi'=70...75^\circ$ , на участке длиной 0,2 диаметра сверла (рисунок 4, б).

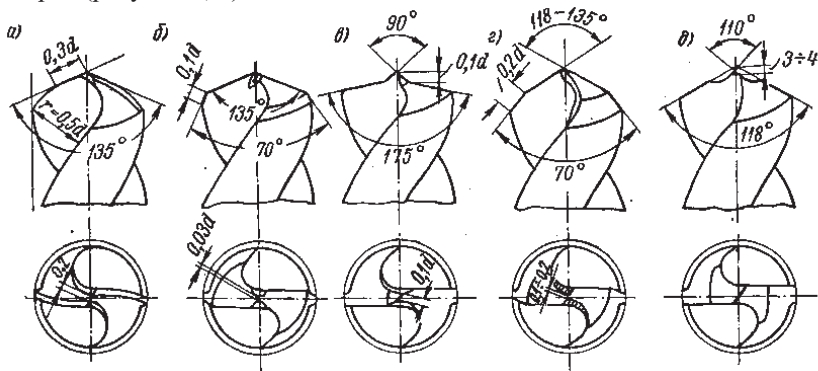


Рисунок 3 – Усовершенствованные формы заточки сверл

Для облегчения отвода стружки, уменьшения теплообразования в зоне резания и повышения стойкости сверла на его передней или задней поверхности делают стружкоразделительные канавки (рисунок 4, в, г). Выполнение стружкоразделительных канавок по передней поверхности (рисунок 4, в) более трудоёмко, однако в этом случае не требуется их периодического восстановления в процессе эксплуатации сверла [4].

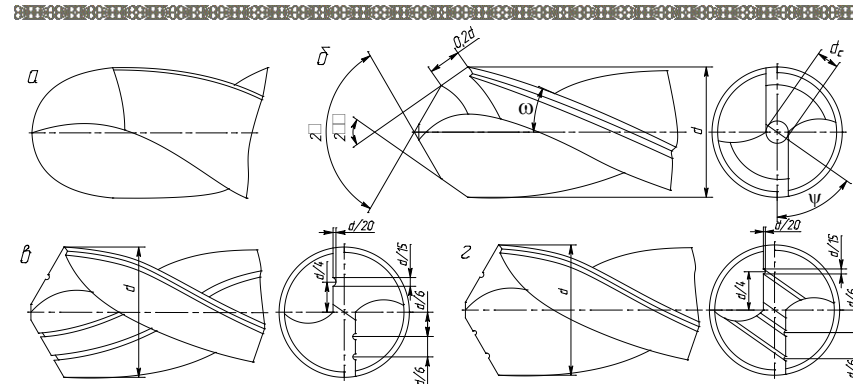
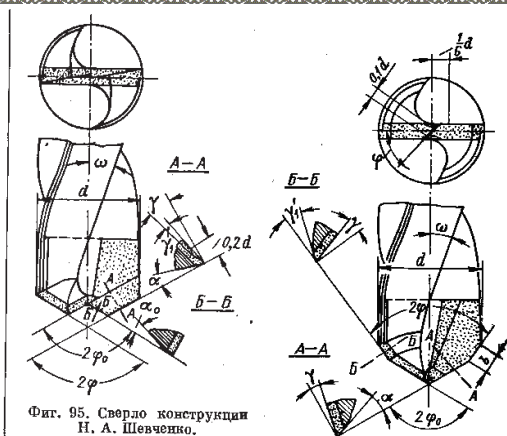


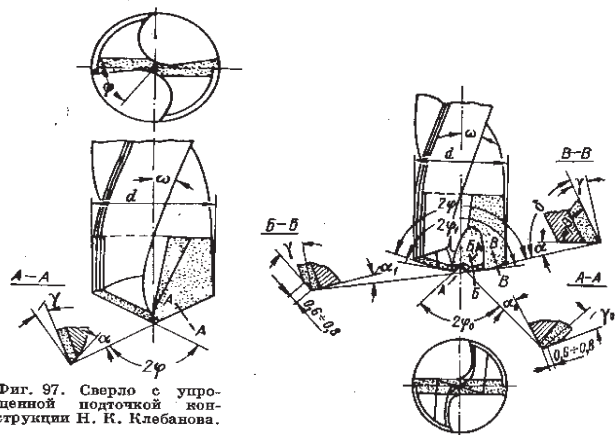
Рисунок 4 – Существующие методы улучшения геометрических параметров рабочей части сверла

Для сверл, оснащённых твёрдым сплавом, были разработаны конструкции со специальной подточкой: бесперемычное сверло конструкции КМГ, сверло конструкции Н.А. Шевченко, сверло конструкции Н.К. Клебанова. Таким образом, проведённые ими экспериментальные исследования показали, с точки зрения производительности, уменьшения осевой силы на поперечной кромке и изнашивание сверла лучшие результаты обеспечивают бесперемычные сверла с радиальным расположением главных режущих кромок на всей их длине или на части длины кромок, прилегающих к центру сверла (рисунок 5) [4].

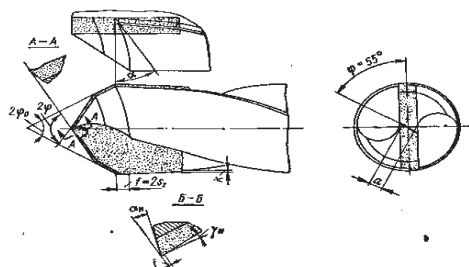
Однако на этих сверлах поперечная кромка не устранена, а остаётся в несколько изменённом виде. Не в полной мере устраняются силы, действующие на поперечную кромку, передний угол на поперечной кромке уменьшается, но всё-таки остаётся отрицательным. Указанные условия работы поперечной кромки значительно ухудшают условия обработки и качество обработанного отверстия. Для исключения поперечной кромки предложена новая конструкция спирального сверла – двухвершинное спиральное сверло без поперечной кромки, предварительный патент РК №19559 от 25.03.2008г. [1]. Устранение поперечной кромки на сверле позволяет резко уменьшить нагревание и износ сверла в процессе резания, повысить стойкость сверла.



Фиг. 95. Сверло конструкции Н. А. Шевченко.



Фиг. 97. Сверло с упрощенной подточкой конструкции Н. К. Клебанова.



Фиг. 99. Геометрические параметры твердосплавного сверла с двойной заточкой, рекомендуемые КНИ.

Рисунок 5 – Конструкции свёрл со специальной подточкой

Двухвершинное спиральное сверло без поперечной кромки имеет конструктивные признаки (элементы), совпадающие с признаками аналога: хвостовик, шейку, две спиральные канавки для отвода стружки, рабочую (калибрующую и режущую) части, диаметр сердцевины, ленточку на калибрующей части – и признаки, отличающие его от аналога: выполненный на участке половины диаметра в приосевой части срез вершины сверла с углом (вершина которого направлена к хвостовику), равным углу при вершине (общеизвестный диапазон угла при вершине сверла составляет 30-150°) с образованием двух вершин и двух внешних (на периферии сверла) и двух внутренних (на участке среза вершины) главных режущих кромок, разделённых прорезанной между ними канавкой, сдвинутой относительно оси сверла так, что одна её стенка располагается на оси в осевой плоскости, сверла и срезает образующую внутреннюю глухую впадину, препятствующую резанию, а также часть противоположной режущей кромки, которая короче режущей кромки, достигающей стенки канавки и оси; одна стенка канавки, таким образом, совмещена с продольной осью сверла, т.е. расположена в осевой плоскости; обе вершины сверла расположены на одной линии, перпендикулярной оси сверла, на расстоянии четверти диаметра, и в одной осевой плоскости сверла; в одной осевой плоскости сверла расположены и внутренние главные режущие кромки; указанная конструкция приосевой режущей части сверла исключает поперечную кромку, которая присуща всем видам существующих свёрл и является причиной неблагоприятных условий резания. Сверло имеет, кроме калибрующей, одну выглаживающую (направляющую) ленточку на спинке каждого пера у затылка; заявленное сверло, как все свёрла, имеет два исполнения для правого и левого резания.

Предложенная конструкция режущей части создаёт благоприятные условия для работы сверла по условиям механической и тепловой напряжённости: когда угол при вершине равен 120° для сверления стали и чугуна (общий диапазон углов при вершине для обработки разных материалов составляет 30-150°), то угол между внешними режущими кромками равен 120°; углы между внешними и внутренними режущими кромками и торцевыми стенками канавки, срезающей поперечную кромку, равны 120°, что примерно в два раза больше, чем при срезании поперечной кромки традиционного сверла, принятого в качестве аналога, и создаёт лучшие условия для отвода тепла; при других значениях угла при вершине эти соотношения несколько отличаются.

На рисунке 5 показан общий вид сверла и его элементы: угол  $2\phi$  – при вершине у периферии и  $2\phi_0$  – угол, вершина которого направлена к хвостовику, срезавший переднюю приосевую часть – вершину; 1 – рабочая часть сверла с винтовыми стружечными канавками  $0 \leq \omega \leq 70^\circ$ ;  $\omega$  – угол наклона спиральной (винтовой) стружечной канавки; 2 – шейка; 3 – конический хвостовик с

конусом Морзе; 4 – лапка; а – толщина среза;  $l_1 = l_2$  – длина внешних режущих кромок с углом  $2\phi$  при вершине;  $l_4$  – длина неукороченной внутренней режущей

кромки с обратным углом  $2\phi$  при вершине;  $\frac{S_o}{2}$  ( $S_o$  – осевая подача на один оборот сверла) – длина режущих кромок на величине половины осевой подачи (как у традиционных сверл); для предотвращения увода оси сверла и отверстия из-за асимметрии режущих кромок  $l_3 < l_4$  на перьях сверла у стружечной канавки выполнены направляюще-выглаживающие ленточки 15; нормальная по длине обратная режущая кромка обеспечивает полное снятие стружки до оси обрабатываемого отверстия.

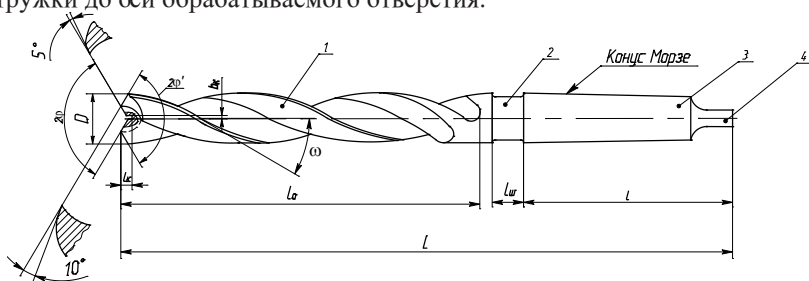


Рисунок 6 – Двухвершинное спиральное сверло без поперечной кромки

На рисунке 7 показана конструкция режущей части; 1 – рабочая часть с винтовыми стружечными канавками; 5 – две внешние режущие кромки с углом при вершине  $2\phi$ ; 6 – две внутренние режущие кромки с обратным углом  $2\phi$  при вершине; 8 – угол  $2\phi$  между внешней режущей кромкой и касательной к ленточке в точках E и G; 9 – угол  $2\phi$  между внешними и внутренними режущими кромками, пересекающимися в точках F и C; 10 – угол  $2\phi$  между внутренними режущими кромками и стенкой канавки 11 (осью сверла);  $b_k$  – ширина канавки для разделения плоскостей заточки по внутренним задним поверхностям двух перьев сверла, нарезанием которой удаляется «глухая» абсолютно неработоспособная поперечная вогнутая внутренняя «обратная» поверхность с кромкой (линией), разделяющая задние внутренние поверхности на участке сверла с обратным углом при вершине; на данной проекции поворот канавки относительно оси условно не показан; 12 – чашечный конический шлифовальный круг для плоской заточки сверла по внутренней задней поверхности; 13 – вращательное движение чашечного конического шлифовального круга при заточке внутренней задней поверхности; 14 – поступательное перемещение шлифовального чашечного конического круга для образования задней внутренней поверхности сверла в проекции на плоскость, перпендикулярную к оси сверла; F-E-H-Π-M-Л-F – задняя поверхность сверла на участке с внешней режущей кромкой, полученная

традиционной заточкой; в зависимости от величины угла  $2\phi$  при вершине при обработке различных материалов соотношения между углами  $2\phi$ , 8, 9, 10 (таблица 1); FOC =  $2\phi$  – обратно направленный угол в плане при вершине; Т – опорная точка для отсчета угла ТКФ между внутренней режущей кромкой и стенкой канавки для срезания поперечной неработоспособной «обратной» кромки; А – А, В – В – сечения для идентификации геометрических и конструктивных параметров сверла; 15 – направляюще-выглаживающая ленточка сверла для направления сверла в отверстии в условиях работы не равных по длине внутренних режущих кромок (хотя резание с образованием двух конусов – внутреннего внутренними, и внешнего внешними режущими кромками – и обеспечивает меньшую склонность к разбивке); F Л Ц К F – внутренняя задняя поверхность; O' – центр сверла;  $D_{F(F')}$  – диаметр окружности (траектории точки F(F') при работе сверла); F' - E' - H' - Π' - X' - M' - Л' - F' – задняя поверхность сверла на участке с внешней режущей кромкой, полученная традиционной заточкой; Б – Б – сечение для идентификации геометрических и конструктивных параметров сверла; D – диаметр сверла; f – ленточка на калибрующей части; 7 – задний боковой угол в поперечном сечении сверла, перпендикулярном оси, линия F' - C' - P - F' – линия окружности в сечении плоскостью, перпендикулярной оси сверла; линия F' – Л' – линия пересечения реальной плоской внутренней задней поверхности с реальной внешней задней поверхностью для образования бокового заднего угла в точке F' и других точках внутренней режущей кромки; F' - Л' - Ц' - K' - F' – внутренняя задняя поверхность; E' - F' и G' - C' – внешние режущие кромки сверла; F' - K' и C' - O' – внутренние режущие кромки.

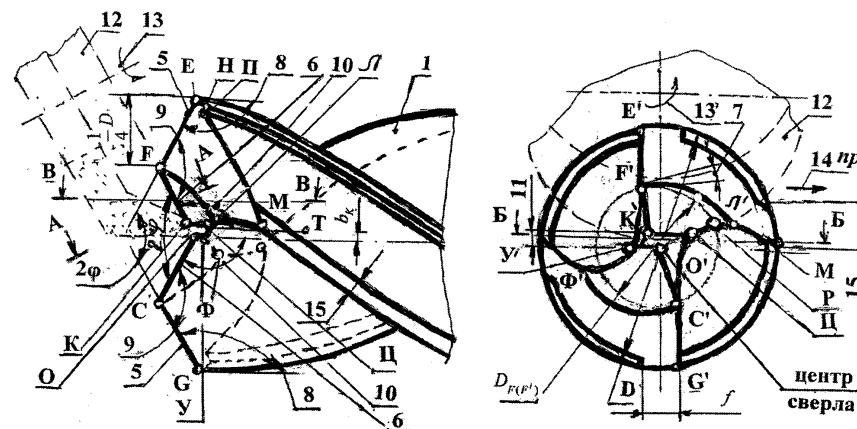


Рисунок 7 – Конструкция режущей части двухвершинного спирального сверла



На рисунке 8а показаны задний и передний углы сверла на внутренних режущих кромках в сечении А – А;  $\alpha_A$  – задний угол в сечении А-А,  $\gamma$  – передний угол. На рисунке 8б показан угол наклона торца чашечного конического круга 16 и движение 14 для образования внутренней задней поверхности; 17 – прoсeкция оси сверла. На рисунке 8в показан задний угол в осевой плоскости на внутренней задней поверхности  $\alpha_0$ ; геометрия на внешнем участке с внешними режущими кромками и задними поверхностями не показана, так как не отличается от таковой у традиционных сверл с поперечной кромкой.

Таблица 1

Соотношения между углами 2φ, 8, 9, 10 для различных материалов

2φ, °	8, °	9, °	10, °
150	105	150	105
140	110	140	110
120	120	120	120
100	130	100	130
90	135	90	135
60	150	60	150
40	160	40	160
30	165	30	165

При работе сверла каждое перо с отдельной вершиной последовательно срезает стружку, толщина которой соответствует половине осевой подачи; внешние режущие кромки С'- G' и Е'-F' полностью срезают стружку на внешней половине диаметра отверстия (одна четверть диаметра с каждой стороны); внутренняя режущая кромка F'-K', которая не доходит до оси сверла, срезает стружку в отверстии на участке от вершины до канавки; внутренняя режущая кромка С'-O', точка O' которой лежит на оси сверла, срезает стружку от вершины до оси; при этом внутренняя главная режущая кромка, которая достигает центра сверла, на участке, соответствующем ширине канавки, срезает стружку, не срезанную укороченной главной режущей кромкой, поэтому отверстие полностью обрабатывается режущими кромками с нормативными передним и задним углами, что резко облегчает условия резания и повышает стойкость сверла. Таким образом, материал, находящийся в пределах подлежащего обработке отверстия, полностью срезается внешними и радиально расположенными внутренними режущими кромками сверла, имеющими нормативные передний и задний углы; выглаживающие ленточки калибруют отверстие и окончательно формируют его диаметр и шероховатость; так как все режущие кромки сверла имеют заданную нормативную геометрию (передние и задние углы), то это обеспечивает нормальные условия резания и уменьшает нагревание и осевую

силу резания за счёт исключения поперечной кромки и неблагоприятных условий резания, сопровождаемых повышенным трением, нагреванием и износом сверла; повышается стойкость сверла.

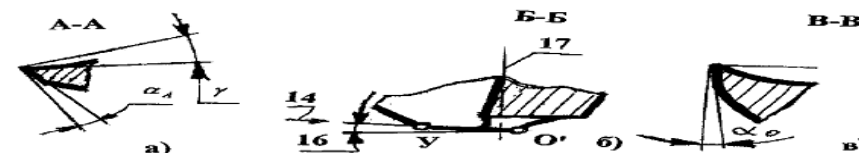


Рисунок 8 – Задний и передний углы сверла на внутренних режущих кромках

Как было показано, сверло спиральное двухвершинное без поперечной кромки значительно более эффективно спиральных сверл с поперечной кромкой; предлагаемое сверло имеет оптимальные благоприятные условия резания и повышенную стойкость сверла, снижается температура в зоне резания и износ сверла за счёт выравнивания условий резания (механических и термических напряжений, постоянства геометрических параметров) на разных участках режущих кромок (на всех участках режущих кромок положительные передние и задние углы); как результат – повышение скорости резания (стойкости сверла) и увеличение экономической эффективности. Рекомендуемые размеры прорезаемой канавки в зависимости от диаметра сверла представлены в таблице 2.

Таблица 2

Размеры прорезаемой канавки

Диаметр сверла, D, мм	Длина канавки, $l_k$	Ширина канавки, $b_k$ , мм
до 10	2-3	0,5-1
10-30	3-4	1-1,5
30-50	4-5	1,5-2
50-80	5-6	2-2,5

Опытные образцы двухвершинного спирального сверла без поперечной кромки изготовлены на машиностроительном предприятии города Павлодара ТОО «Format Mach Company» (бывший инструментальный завод) и



испытаны в учебно-производственных мастерских факультета металлургии, машиностроения и транспорта ПГУ им. С. Торайгырова на кафедре «Машиностроения и стандартизации» (рисунок 9).



Рисунок 9 – Опытные образцы двухвершинных спиральных свёрл без поперечной кромки

Производственные испытания опытных образцов осуществлялись на ТОО «Заводе нестандартизированого оборудования» при условиях, приведённых в таблице 3.

После обработки отверстий спиральными и двухвершинными спиральными свёрлами исследовалась точность диаметра отверстия и шероховатость. Для измерения точности обработки отверстия применялся инструментальный горизонтальный микроскоп ИКГ 3 и индикаторные нутромеры со вставками. Для измерения шероховатости поверхности отверстия применялся профилограф-профилометр мод. 259.

Результаты производственных испытаний образцов, обработанных металлорежущими инструментами:

- 1) спиральными свёрлами:
  - точность диаметральных размеров отверстий составляет 0,21-0,33мм (12-13 квалитет точности);
  - шероховатость поверхности отверстий находится в пределах  $Rz=20\dots 80\mu\text{м}$ , что соответствует 3 и 5 классам шероховатости.
- 2) двухвершинными спиральными свёрлами:
  - точность диаметральных размеров отверстий составляет 0,11-0,13мм (11 квалитет точности);

- шероховатость поверхности отверстий находится в пределах  $R_a=2,5\dots 10\mu\text{м}$ , что соответствует 4 и 6 классам шероховатости.

Таблица 3

## Условия проведения испытаний

Оборудование	Материал	Длина обработки, L, мм	Диаметр обработки, D, мм	Частота вращения, п, об/мин.		Подача, S, мм/об.	
Вертикально-сверлильный станок мод. 2Н135	Сталь 55С2	15; 30; 45	13,5	275	140	0,32	0,15
		20; 40; 60	19,5	195	100	0,32	0,15
		30; 60; 90	29,5	140	68	0,32	0,15
Токарно-винторезный станок мод. 1А616	Сталь 55С2	15; 30; 45	13,5	280	140	0,3	0,08
		20; 40; 60	19,5	224	112	0,3	0,08
		30; 60; 90	29,5	180	90	0,3	0,08

Анализ результатов показывает, что точность диаметральных размеров отверстий после обработки двухвершинными спиральными свёрлами увеличилась на 1, 2 квалитета по сравнению со спиральными сверлами; шероховатость уменьшилась на 1, 2 класса.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Предварительный патент РК №19559 от 25.03.2008г. Двухвершинное спиральное сверло без поперечной кромки с направляющими ленточками. Авторы: Дудак Н.С., Мусина Ж.К.
2. Предварительный патент РК № 19687 от 22.05.2008г. Двухвершинное перовое сверло без поперечной кромки. Авторы: Дудак Н.С., Мусина Ж.К.
3. Справочник инструментальщика/ И.А. Ординарцев, Г.В. Филиппов, А.Н. Шевченко и др.; Под общ. Ред. И.А. Ординарцева. – Л.: Машиностроение. Ленингр. отд-ние, 1987. – 846 с.
4. Дыков А.Т., Ясинский Г.И. Прогрессивный режущий инструмент в машиностроении. -Л.: Машгиз, 1963. – 156 с.

## Түйіндеме

*Кесу шарттарын, тесіктерді өндеу дәлдігін арттыру және металкескіш құралдардың шыдамдылығын жоғарлату үшін колденең жиексіз екіұшты спираль бұрғының конструкциясы жасап шығарылды.*

*Resume*

*The design of a two-topmost spiral drill is developed for improvement of conditions of cutting, accuracy of processing of apertures and increase of firmness of metal-cutting tools without a cross-section edge.*

УДК 338

## **ПРОБЛЕМЫ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ РЕГИОНОВ КАЗАХСТАНА**

**Р.М. Мустафина**

*Павлодарский государственный университет им. С.Торайгырова*

Энергетической безопасности регионов Казахстана свойственны те же проблемы, что возникли в странах с новой конкурентной системой организации электроэнергетики, но и есть свои особенности: еще не создана единая энергетическая система страны; практически в республике отсутствуют предприятия по производству энергетического оборудования, что еще более усугубляет проблему в условиях глобализации рынка энергоресурсов; резко снизились показатели надежности снабжения электрической энергией. Мощные электростанции севера республики (до 40% суммарной установленной мощности всех электростанций РК) были ориентированы во времена бывшего СССР по большей части на энергоснабжение близлежащих регионов РФ, в то время как электроснабжение предприятий западного региона страны (до 90%) зависело от поставок энергии из приграничных районов России, а одноцепная линия электропередачи север-юг (более 1500 км) на напряжении 500 кВ по своей пропускной способности не способна обеспечить электроснабжение южного региона, зависящего от поставок электрической энергии из стран Центральной Азии (прогнозируемый к 2015 году дефицит электрической энергии в южном регионе страны составит 1500-1700 МВт). Следовательно, проблемы энергетической безопасности были актуальны для отдельных регионов республики даже во время существования единого Советского государства, степень актуальности этой проблемы значительно возрастает при зависимости от поставок электроэнергии из других стран. Топливо-энергетические ресурсы распределены по территории Казахстана неравномерно не только в силу природных факторов, но и централизованной системы управления.

В период перестройки экономики существенно возрастает влияние топливо-энергетического комплекса (ТЭК) на экономику страны и ее регионов из-за проникновения энергетики во все сферы социальной системы, что приводит к все большей зависимости от ТЭК производства и общества в целом.

Следовательно, актуальной проблемой на современном этапе является задача создания системы мониторинга энергетической безопасности регионов и страны с целью обеспечения постоянной оценки ее состояния для своевременного принятия мер по противодействию выявленным угрозам энергетической безопасности. Кроме того, актуальность проблемы заключается в том, что угрозы энергетической безопасности на современном этапе развития страны – это угрозы процессам преобразования экономики, так как нестабильность в обеспечении энергетической безопасности может оказать негативное воздействие на начатые коренные преобразования экономики страны, тем самым затормозить их, либо значительно увеличить затраты для решения поставленных задач.

Современный этап развития экономики страны характеризуется ориентацией на стабильный экономический рост во всех отраслях народного хозяйства страны, который несколько затормозился из-за мирового финансового кризиса, при этом все большее внимание уделяется региональным аспектам этого процесса, вследствие того, что степень жизнеспособности отдельных регионов влияет и в целом определяет состояние экономики страны. Без существенных инвестиций в энергетическую отрасль не возможно дальнейшее ее развитие и обеспечение стабильного роста экономики страны, что в свою очередь влияет на повышение энергетической и экономической безопасности страны. Адекватные прогнозируемому спросу инвестиции в ТЭК – ключевой механизм обеспечения энергетической безопасности государства, особенно при очень высокой степени физического износа основных производственных фондов отрасли и опережающих темпах экономического развития страны.

Одним из кризисных и достаточно существенных явлений, угрожающих энергетической безопасности, является энергорасточительность экономики республики. В настоящее время в Казахстане крайне низкая эффективность использования энергоресурсов. Потери электроэнергии в республике достигают до 35%; продукция, производимая в стране одна из самых энергоемких по сравнению с другими странами СНГ: 25% себестоимости – это энергетическая составляющая. Закон РК «Об энергосбережении» «регулирует общественные отношения в области энергосбережения с целью создания экономических и организационных условий для эффективного использования топливно-энергетических ресурсов Республики Казахстан и охраны окружающей среды» [1]. В статье 4 этого Закона «Основные направления энергосбережения» в качестве одного из основных направлений выделяется развитие возобновляемых источников энергии.

Доля электрической энергии, вырабатываемой на основе возобновляемых источников энергии солнца, ветра, термальных вод в Казахстане составляет только 0,02 %. В стране есть 10 районов со средней скоростью ветра 8-10 м/с, в то время

как ветростанции в странах Европейского союза работают при средней скорости ветра 4-5 м/с. Ветрокоридор Джунгарских ворот имеет потенциал более 1000 МВт. час. Ведутся работы по обеспечению электроэнергией санатория «Алма-Арасан» в городе Алматы за счет использования ветроустановки с расчетной мощностью 24 Мвт. В Алматинском институте энергетики и связи под руководством профессора, д.т.н. А.В.Болотова в течение ряда лет ведутся работы по разработке и применению ветростанций для создания локальных электроэнергетических систем с использованием дизельных станций и аккумуляторных батарей с целью обеспечения электрической энергией отдаленных автономных объектов со значительным потреблением электропотреблением и наличием ответственных приемников электрической энергии. Для электроснабжения потребителей малой электрической мощности используются опытные образцы ветроэнергетических установок мощностью 1,5, 5 и 20 кВт [2].

Благодаря сухому климату и географическому расположению Казахстана количество солнечной радиации составляет 2200-3000 часов в год. Этот потенциал солнечной энергии служит основой для развития малой солнечной энергетики в отдаленных районах и отгонном животноводстве не только для снабжения электроэнергией, но теплом и горячей водой.

Использование энергии биологического газа, получаемого из отходов ферм домашних животных и птиц – одно из перспективных направлений использования неископаемого топлива. Кроме того, эти отходы – основа естественных удобрений для выращивания экологически чистой продукции сельского хозяйства [3].

Анализ и оценка уровней энергетической безопасности могут быть проведены с применением метода индикативного анализа, позволяющего решать задачи функционирования больших социально-техничко-экономических систем, к которым относится энергетическая система. Этим системам свойственны разнообразие свойств, параметров, сложность внутренних и внешних связей, неопределенность состояний и условий развития [4]. Состояние энергетических систем на современном этапе, динамику изменения состояния систем за ретроспективный период, ожидаемое развитие на прогнозируемое время можно определить по значениям индикаторов. Оценка уровня энергетической безопасности в целом и отдельно по тому или иному показателю проводится при сопоставлении значений индикаторов с индикаторами пороговых (граничных) уровней. Граничные или пороговые значения индикаторов служат для качественного разграничения состояний энергосистем, подразделяющихся на нормальное, предкризисное и кризисное [4].

По методу индикативного анализа проведено определение состояния энергетической безопасности областей Казахстана в 2006 году по блоку обеспеченности электрической энергией по следующим шести индикаторам:

- изменение душевого потребления электроэнергии;
- изменение душевого потребления энергии в коммунально-бытовом хозяйстве;
- доли собственных источников в балансе электроэнергии;
- изменение доли региона по отношению к стране в выработке электроэнергии;
- изменение доли региона по отношению к стране в потреблении электрической энергии;
- удельный вес наиболее крупной электростанции в регионе.

За базовый при проведении анализа и расчетов взят 1991 год, предшествовавший началу коренных общественно-политических, экономических и социальных преобразований в стране.

В связи с тем, что возрастающий рост дефицита электрической энергии отрицательно сказывается на электроэнергетической безопасности, ситуация в кризисной зоне подразделена на 4 подуровня:

- кризисная нестабильная ситуация состояния энергетической безопасности;
- кризисная угрожающая ситуация состояния энергетической безопасности;
- кризисная критическая ситуация состояния энергетической безопасности;
- кризисная чрезвычайная ситуация состояния энергетической безопасности [4].

Наихудшее значение индикатора душевого потребления электроэнергии в целом по Казахстану наблюдалось в 1999 году – 46,2%, что соответствует угрожающей стадии кризисного состояния. Начиная с 2000 года этот показатель улучшался, до 2005 года включительно оставался в зоне кризисного состояния, с 2006 года находится в зоне предкризисного состояния.

Данные расчетов показывают, что в Алматинской, Павлодарской, Актюбинской, Атырауской, Восточно-Казахстанской, Карагандинской, Кызылординской областях в 2006 году установилось нормальное состояние по индикатору душевого потребления электроэнергии. Хотя в 2005 году Кызылординская область находилась в зоне угрожающей стадии кризисного состояния, а Актюбинская область – в зоне предкризисного состояния. Ввод на Кызылординской ТЭЦ-6 когенерационной ГТЭС, мощностью 50МВт, дал положительный результат; увеличение коэффициента эффективности использования установленной мощности электростанций также способствовало улучшению ситуации. Начиная с 2000 года Южно-Казахстанская, Жамбылская области вступили в угрожающую зону кризисного состояния по индикатору душевого потребления электроэнергии энергетической безопасности. В зоне кризисного состояния по данному индикатору находятся Акмолинская,

Западно-Казахстанская, Костанайская, Мангистауская, Северо-Казахстанская области. Только 50% регионов Казахстана имеют нормальное состояние по индикатору душевого потребления электроэнергии.

Показатели индикатора изменения душевого потребления электрической энергии в коммунально-бытовом хозяйстве, соответствующие нормальному состоянию, наблюдаются в Алматинской, Актюбинской, Атырауской, Карагандинской и Павлодарской областях. Следовательно, в 5 из 14 областей, что составляет 35,7%, этот показатель соответствует норме. В целом по республике индикатор изменения душевого потребления в коммунально-бытовом хозяйстве находится в зоне кризисного состояния. В этой зоне находятся Акмолинская, Восточно-Казахстанская, Западно-Казахстанская и Костанайская области. Угрожающее положение по исследуемому индикатору в Жамбылской, Мангистауской, Северо-Казахстанской и Южно-Казахстанской областях. Кызылординская область находится в зоне предкризисного состояния.

В 1990 году из проанализированных территорий (Казахстан, все области) к зависимым от источников электроэнергии, находящихся вне региона, относились Акмолинская область (доля собственных источников электрической энергии составляла только 32,6 %), Актюбинская (13%), Западно-Казахстанская область (11%), Костанайская (7,37%), Кызылординская (43%), Южно-Казахстанская (16%). Но в условиях стабильной работы единой энергетической системы бывшего СССР и всей экономики страны эта зависимость от внешних источников электрической энергии не представляла особой угрозы. Улучшение ситуации в 2005-2006 годах по данному индикатору в сравнении с 1990 годом в этих регионах связано прежде всего с уменьшением потребления электроэнергии, вызванного резким спадом производства во всех сферах хозяйства республики. Кроме Атырауской области повсеместно наблюдается спад, несмотря на то, что в последние годы идет подъем экономики страны по сравнению со второй половиной 90-х годов XX века и началом 2000-х годов.

Нормальная ситуация по индикатору изменения доли области в выработке электрической энергии по отношению к объему электрической в стране в 2006 году наблюдалась в 9 областях. В кризисной зоне находится Северо-Казахстанская область; угрожающая ситуация в Жамбылской (21,99%), Кызылординской (72,33%), Мангистауской (74,4%), Южно-Казахстанской областях (85,11%). В целом по Казахстану по отношению к 1991 году также наблюдается угрожающая стадия кризисного состояния (77% – 2005 год, 81,9% - 2006 год).

Пороговые уровни изменения доли области по отношению к республике в потреблении электроэнергии следующие: 96-94% – предкризисная ситуация, 92-90% – кризисная ситуация. Анализ показал, что этот индикатор

в 8 областях расположен в зоне нормального состояния. В кризисной ситуации находится Акмолинская область. В зоне угрожающего кризиса – Жамбылская, Костанайская, Мангистауская, Северо-Казахстанская и Южно-Казахстанская области. Территория страны по отношению к 1991 году, как и по предыдущему показателю, находится в зоне угрожающего кризисного состояния (2005 год – 77,3%, 2006 год – 82,1%).

Для предкризисного состояния пороговый уровень индикатора доли мощности наиболее крупного источника электроэнергии в области определяется в диапазоне 35-45%, для кризисного – 50-60%.

Наихудшее положение по данному индикатору в Мангистауской и Северо-Казахстанской областях; в каждой из них действует одна электростанция. В предкризисной зоне находятся Алматинская, Актюбинская, Восточно-Казахстанская, Карагандинская области, в других областях кризисная ситуация. Наличие нескольких электростанций обеспечивают более надежное электроснабжение приемников региона.

Результаты индикативного анализа состояния энергетической безопасности по блоку обеспеченности электрической энергией показывают, что, несмотря на стабилизацию ситуации в экономике страны и рост производства электроэнергии, в последние годы 2 области (14,3% от областей страны) республики (Жамбылская, Южно-Казахстанская) находятся в зоне кризисного и угрожающей стадии кризисного состояния по всем 6 индикаторам.

Акмолинская, Костанайская, Кызылординская, Мангистауская и Северо-Казахстанская области только по одному из 5 показателей имеют нормальное состояние (35,7% от регионов республики).

Восточно-Казахстанская область имеет отклонения от нормы по 2 индикаторам, остальные области – отклонения от нормы только по одному индикатору. В целом по стране 4 из 6 индикаторов электроэнергетической безопасности (индикатор удельного веса наиболее крупной электростанции не определяется) не соответствуют норме.

Проверка проведенных расчетов методом скаляризации [4] подтвердила полученные результаты [5].

Энергетическая безопасность – существенная, если не главная составляющая экономической безопасности страны. Следовательно, для обеспечения энергией дальнейших экономических преобразований в стране необходимо создание системы мониторинга энергетической безопасности страны. Кроме того, необходимо проводить политику диверсификации источников энергетических ресурсов, отдавая предпочтение отвечающим экологическим требованиям.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Закон РК «Об энергосбережении». Указ Президента Н.А.Назарбаева от 25.12.97г. №210-13 РК.



2. Болотов А.В., Уткин Л.А., Бакенов К.А. Электроснабжение удаленных объектов с использованием автономных источников энергии (международный опыт и перспективы Республики Казахстан). Труды 3-й международной научно-технической конференции «Энергетика, телекоммуникации и высшее образование в современных условиях». - Алматы, 2002. - С. 28-31.

3. Садырбаева Г.А. Применение экологически чистых источников энергии. // Экологическое образование в Казахстане, № 2, 2005. -С. 15-17.

4. Влияние энергетического фактора на экономическую безопасность регионов Российской Федерации / В.Г.Благодатских и др.; под ред. А.И.Татаркина. Екатеринбург: Изд-во Уралун-та, 1998. – 197 с.

5. Мустафина Р.М., Мустафина Г.М., Танат А.Х. Исследование электроэнергетической безопасности регионов Казахстана методом скаляризации. // Вестник ПГУ. Серия энергетическая. - Павлодар: Издательство «Кереку» ПГУ им. С.Торайгырова, № 3, 2008.

#### *Tүйіндеме*

*Бұл мақалада энергетикадағы энергетикалық қауіпсіздік мәселелері қарастырылған.*

#### *Resume*

*The article covers the problems of security in energetic sphere.*

УДК 629.114.2.002

## **РАСЧЕТ ОСТАНОВОЧНЫХ ТОРМОЗОВ ГУСЕНИЧНОГО ПРОМЫШЛЕННОГО ТРАКТОРА В ФАЗЕ S-ОБРАЗНОГО ПОВОРОТА**

**В.И. Пархоменко**

*Павлодарский государственный университет им. С. Торайгырова*

**С.Е. Козориз**

*Инновационный Евразийский университет, г. Павлодар*

Отличительной особенностью промышленного трактора оборудованного бульдозерным агрегатом (БА) в соответствии с исследованиями [1, 2, 3] является работа в резко нестационарном режиме, основными характеристиками которого являются:

- изменение в процессе работы сцепного веса за счет изменяющейся вертикальной нагрузки на ноже бульдозера;
- изменение тягового усилия;
- изменение положения центра давления гусениц.

Все это объективно усложняет определение момента сопротивления повороту и нагрузки на тормозах механизма поворота (МП) трактора. Очевидно, что для оценки работоспособности тормозов с приемлемой точностью необходимо знание характера изменения тормозных моментов во времени, который может быть получен только на основе современных представлений теории поворота гусеничных машин.

Характерной чертой рассмотренных ранее методов расчета [4, 5, 6] тормозов поворота и остановочных тормозов МП гусеничных тракторов является необоснованное принятие расчетных режимов, ограниченных, в основном, знанием максимально возможных реализуемых тормозных моментов, не соответствующих основному функциональному назначению тормозов как элементов системы управления поворотом. В рассматриваемых работах за расчетный предлагается принимать режим экстремального использования остановочного тормоза, не определяющий степени его силовой и тепловой напряженности при нормальной эксплуатации трактора.

Функционально характерный для остановочного тормоза режим поворота или вообще не рассмотрен [4, 5], или рассмотрен односторонне без каких-либо рекомендаций по выбору параметров режима [8]. Отмечается, что даже поверхностный анализ причин затянувшейся отработки характеристик фрикционного материала и конструкции тормозов показал не столько трудность самого процесса его создания, сколько на незнание и сугубо ориентировочное назначение расчетных режимов тормоза и режимов использования фрикционных материалов.

Учитывая, что основной работой БА является бульдозирование и как следствие рытье траншей и транспортирование грунта, при этом возникает необходимость возврата к исходной позиции задним ходом. В этом случае интенсивно используются остановочные тормоза, потому что трактор движется с максимальной скоростью холостого хода с поднятым отвалом. Остановочный тормоз создает отрицательную силу тяги на отстающей гусенице трактора и включается для осуществления поворота трактора при малых или нулевых тяговых усилиях с необходимым по условию движения радиусом поворота. В распоряжении водителя имеются два регулирующих фактора: величина тормозной силы и характер ее изменения по времени. Эти два фактора определяют параметры установившегося этапа поворота. Согласно выводам работы [7, с. 169] энергонагруженность остановочного тормоза при единичном торможении в 6...30 раз по мощности и в 45...300 раз по работе трения выше, чем у тормоза поворота.

Анализируя рабочий процесс работы остановочного тормоза МП гусеничного промышленного трактора, оборудованного БА, были выявлены основные режимы, на которых они используются наиболее часто. К таким



режимам можно отнести: фазу движения задним ходом и фазу S – образного поворота при переходе БА следующую траншею.

Фаза движения задним ходом характеризуется отсутствием тягового усилия на ноже бульдозера, смещением центра давления вперед вследствие вывешивания бульдозера и наиболее длинным путем движения. Именно в этот период интенсивно работают остановочные тормоза МП.

Как показывают экспериментальные исследования автора [9], в этой фазе наблюдается наибольшая нагрузка на остановочные тормоза.

Наибольший интерес для исследования представляет определение механических параметров работы тормозов: тормозных моментов  $M_0$ , угловой скорости  $\omega_0$ , работы  $W_0$  и мощности трения  $P_0$  тормозных механизмов для оценки нагруженности остановочного тормоза в фазе S – образного поворота.

Режим работы тормозов в фазе S – образного поворота характеризуется неравномерным поворотом с изменяющимся направлением поворота, делящимся на две одинаковые фазы. Угол поворота делится на два этапа:

- I – этап – вход в поворот – неравномерный поворот с изменяющимся радиусом поворота от  $\rho=\infty$  до  $\rho=R_{on}$  и угловой скоростью – от  $\omega=0$  до  $\omega=\omega_{on}$ ;
- II – этап – установившийся поворот с  $\rho=R_{on}$  и  $\omega=\omega_{on}$ .

При этом бульдозерный агрегат получает поперечное смещение  $S = \frac{2}{3} B_6$  в соответствии с рисунком 1.

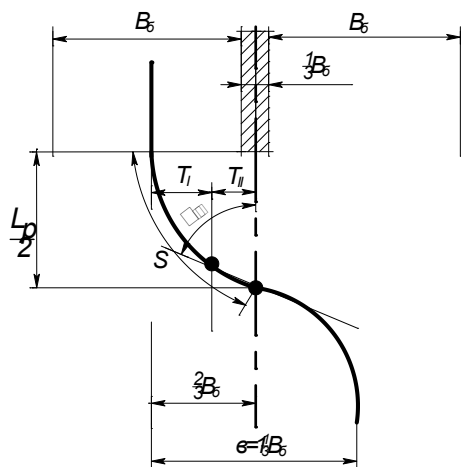


Рисунок 1 – Схема S – образного поворота

В зависимости от величины поперечного смещения время общего поворота в каждой фазе может быть равно:

$$\begin{cases} T_{\Sigma} \leq T_I + T_{II} \\ T_{\Sigma} \geq T_I + T_{II} \\ T_{\Sigma} \leq T_I \end{cases} \quad (1)$$

При  $T_{\Sigma} = T_I + T_{II}$  агрегат повернется на суммарный угол  $\alpha_{\Sigma} = \alpha_I + \alpha_{II}$ . (2)

При этом предельный угол поворота будет равен

$$\alpha_{\Sigma \max} = 90^\circ = \frac{\pi}{2}. \quad (3)$$

Угол поворота  $d\alpha_I$  – на I – этапе фазы

$$d\alpha_I = \omega \cdot dt. \quad (4)$$

Имея в виду, что текущая угловая скорость поворота трактора

$$\omega_I = \omega_{on} - \varepsilon_{on} \left[ \frac{(T_I - t)^2}{T_I} \right], \quad (5)$$

получим

$$\begin{aligned} \alpha_I = \int \omega_{on} \cdot dt - \varepsilon_{on} \cdot T_I \int dt + 2\varepsilon_{on} \int t \cdot dt - \frac{\varepsilon_{on}}{T_I} \int t^2 dt = \omega_{on} \cdot t - \varepsilon_{on} \cdot T_I \cdot t + \\ + 2\varepsilon_{on} \frac{t^2}{2} + \frac{\varepsilon_{on}}{T_I} \cdot \frac{t^3}{3}. \end{aligned} \quad (6)$$

Решая интеграл  $\int d\alpha_I$  в пределах  $0 - T_I$ , получим

$$\alpha_I = \frac{2}{3} \omega_{on} \cdot T_I, \quad (7)$$

с другой стороны в любой точке траектории поворота поперечная скорость перемещения трактора в соответствии с рисунком 2 равна

$$V_{nI} = V_I \cdot \sin \alpha, \quad (8)$$

где  $V_I$  – скорость трактора на повороте.

$$V_I = \frac{R_k \cdot (\omega_{02} + \omega_{01})}{2 \cdot i_{\delta n}}. \quad (9)$$

При этом угловая скорость вала остановочного тормоза отстающего борта

$$\omega_{01} = \omega_{02} - \frac{i_{\delta n} \cdot B}{R_k} \left[ \omega_{on} + \varepsilon_{on} \frac{(T_I - t)^2}{T_I} \right]$$

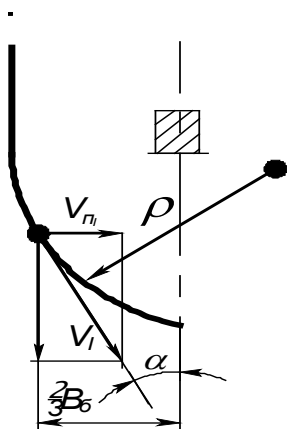


Рисунок 2 – Определение скорости перемещения БА

Тогда

$$V_{nI} = \left[ V_{np} - \frac{1}{2} \cdot B \left( \omega_{on} + \varepsilon_{on} \frac{(T_I - t)^2}{T_I} \right) \right] \cdot \sin \alpha \quad (10)$$

Подставляя  $\alpha$  из выражения (7) в выражение (10) получим

$$S_{nI} = V_{np} \cdot T_I + \frac{1}{2} B \left( \cos \left( \omega_{on} \cdot T_I - \frac{\varepsilon_{on} \cdot T_I^2}{3} \right) - 1 \right) \quad (11)$$

При  $S_n \leq 2/3 B_0$  поворот осуществляется за время  $T \leq T_1$ .

При  $S_n \geq 2/3 B_0$  поворот осуществляется за время  $T \geq T_1$ .

При  $S_n > 2/3 B_0$  наступает II этап поворота с  $\rho = R_{on}$  и  $\omega = \omega_{on}$ .

$$\text{При } S_{\Sigma} = S_{nI} + S_{nII} = \frac{2}{3} B_0.$$

$$S_{nII} = \frac{2}{3} B_0 - S_{nI}. \quad (12)$$

С другой стороны в соответствии с рисунком 3 имеем

$$S_{nII} = R_{on} \cdot \cos \alpha_I - R_{on} \cdot \cos \alpha_{II} = R_{on} (\cos \alpha_I - \cos \alpha_{II}).$$

Откуда

$$\cos \alpha_{II} = \frac{R_{on} \cdot \cos \alpha_I - S_{nII}}{R_{on}} = \frac{R_{on} \cdot \cos \alpha_I - \frac{2}{3} B_0 + S_{nI}}{R_{on}}. \quad (13)$$

И время поворота на II этапе

$$T_{II} = \frac{\alpha_{II}}{\omega_{on}}. \quad (14)$$

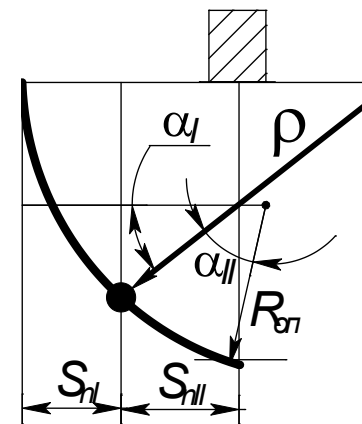


Рисунок 3 - Определение поперечного перемещения трактора на повороте

По инженерной методике, разработанной авторами [10] произведены расчеты механических параметров работы остановочного тормоза для трактора Т-6.01  $N = 80 \text{ кВт}$ ,  $m = 9700 \text{ кг}$ ,  $J_{\text{БА}} = 23920 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$ , с дисковыми тормозами, одноступенчатым ПМП, совершающего откат бульдозерного агрегата с поднятым бульдозером при максимально возможной скорости заднего (холостого) хода двигаясь задним ходом и совершая S – образные повороты при перестроении в следующую траншею. Оперативная угловая скорость для фазы S – образного поворота принята  $\omega_{\text{ОП}}^S = 0,15$ . По полученным результатам расчета построены теоретические кривые, характеризующие изменение основных механических параметров остановочных тормозов МП в соответствии с рисунком 4.

Анализ графиков показывает:

1. Угловая скорость буксования остановочного тормоза  $\omega_0$  на I и II этапе торможения зависит от передаточного числа коробки передач и оперативной угловой скорости поворота.

2. Момент трения  $M_0$  на I этапе имеет тенденцию снижения в два этапа.

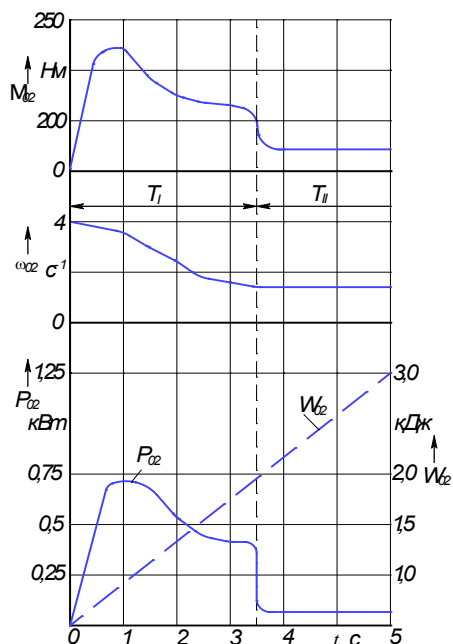


Рисунок 4 - Результаты расчета механических параметров остановочных тормозов в фазе S-образного поворота БА при движении задним ходом

3. Наиболее нагруженным элементом в системе управления поворотом является остановочный тормоз. Максимальные значения тормозного момента и мощность трения приходятся на I этап (вход в поворот) и определяются в основном начальной скоростью трактора и установившимся значением оперативной угловой скорости трактора во II этапе.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Костюченко В.И. Разработка критериев и методов оценки эффективности промышленных тракторов: дис.канд.техн.наук. Челябинск.: ЮАГУ, 2000. -331 с.
2. Позин Б.М. Основы теории тяговой характеристики промышленного трактора. Деп. в ЦНИИТЭИтракторосельхозмаш № 524, 1985.
3. Гинсбург Ю.В. Особенности тяговой динамики и тягового расчета гусеничного трактора-бульдозера с гидромеханической трансмиссией. Автореферат дисс. канд. техн. наук. -Челябинск, 1971.
4. Анилович В.Я., Водолажченко Ю.Т. Конструирование и расчет сельскохозяйственных тракторов. -М.: Машиностроение, 1976. - 456 с.
5. Барский И.Б. Конструирование и расчет тракторов. -М.: Машиностроение, 1980. - 337 с.
6. Гахенсон Б.С. Планетарные механизмы тракторов. -М.: Машиностроение, 1972. – 176 с.
7. Пархоменко В.И. Теоретические основы расчета механических и тепловых параметров рабочего процесса тормозов механизма поворота гусеничного трактора: дис.канд.техн.наук. – М.: МАМИ, 1980. – 183 с.
8. Исследование нагруженности трансмиссий промышленных тракторов. Исследование режимов нагружения дисковых тормозов механизма поворота опытного образца трактора Т-6.01. Отчет о НИР.: Павлодар, 1990. – 52 с.
9. Исследование режимов нагружения тормозов механизма поворота с использованием АЦИИС (промежуточный). Отчет о НИР Исследование нагруженности трансмиссий промышленных тракторов. -Павлодар, 1987. – 29 с.
10. Козориз С.Е., Пархоменко В.И., Третьякова Т.И., Баглаев Д.А. Расчет параметров механизма поворота промышленного гусеничного трактора, оборудованного бульдозерным агрегатом. Программа для ЭВМ. Свидетельство о государственной регистрации объекта интеллектуальной собственности № 667 от 19.04.2010.

## Түйіндеме

Аталмыш мақалада шынжыр табанды өндірістік трактордың бұрылыс механизмінің тоқтатқыш тежегіштерінің нақты пайдалану режимдеріндегі есептеуінің теориялық негізі қарастырылған.

**Resume**

*In the article the theoretical basis of calculation of stopping brakes of the mechanism of turn of a caterpillar industrial tractor created by authors on typical operational modes is stated.*

УДК 539.3

## **РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ НАПРЯЖЕННО- ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ МОДЕЛЕЙ НАДЗЕМНОГО ТРУБОПРОВОДА НА СТАТИЧЕСКИЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ**

**У.С. Сулейменов, А.М. Марасулов, А.Б. Молдагалиев**  
Южно-Казахстанский государственный университет  
им. М. Ауезова, г. Шымкент

Магистральные трубопроводы предназначенные для транспортировки на значительные расстояния газов, нефти и нефтепродуктов относятся к капитальным, линейным инженерным сооружениям, характер работы которых значительно отличаются от городских трубопроводных сетей вследствие больших диаметров труб, меньших чисел поворота и сложных узлов сопряжения, большими рабочими давлениями.

Целью настоящей работы является исследование напряженно-деформированного состояния моделей надземного трубопровода на статические нагрузки.

В качестве моделирования воздействий, геометрических размеров и параметров конструкции осуществлялось на основе соответствия простого механического и аффинного подобия между моделью и натурным объектом [1]. Согласно этой теории, между параметрами модели и натурности устанавливается постоянство масштабов моделирования. В качестве объекта моделирования подобран прямолинейный участок магистрального трубопровода диаметром 1220 мм.

Модель фрагмента стального магистрального трубопровода изготовлен в масштабе 1:5 к натурной конструкции [2].

Модели трубопровода изготовлены из стальной жести толщиной 0,5 мм по ГОСТ [3].

Общий вид модели представлен в соответствии с рисунком 1.

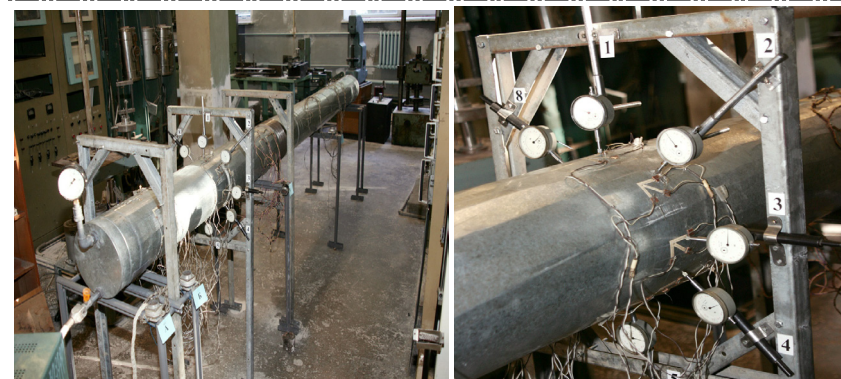


Рисунок 1 – Общий вид модели трубопровода

Основные физико-механические характеристики материала модели определены на образцах свидетелях и металлографическим анализом газобъемным методом по ГОСТ 27069-86.

Фрагменты модели собирались из двух секций длиной 2,0 м, соединенных по образующей в стык с помощью флюсовой пайки. В торцы моделей трубопровода были сварены специальные насадки, патрубки и штуцера установки уровнемера налива жидкости, для слива и налива воды, для установления манометра и подачи воздуха компрессором.

В модели трубопровода смоделированы следующие условия закрепления на опоре: две скользящие свободноподвижные опоры в пролете, жестко закрепленная в одном и продольно подвижная в другом краю трубопровода.

Выбор измерительной аппаратуры, первичных преобразователей и приборов производился с учетом ожидаемых значений измеряемых параметров, условий окружающей среды (температура, влажность) и по рекомендациям [4]. Исследование деформативности стенки модели трубопровода осуществлялось тензометрическими средствами измерения [5].

Вторичной измерительной аппаратурой при статических испытаниях моделей трубопровода служил автоматический измеритель деформации АИД-4 и АИД-4М с автоматическим уравниванием мостов и полумостов с ценой деления  $10^{-6}$  е.о.д. в комплекте с автоматическим переключателем АП-1.

Для регистрации перемещений стенки трубопровода в характерных сечениях использовались индикаторы часового типа (ИЧ-04) с ценой деления 0,01 мм, которые закреплялись на специальных кронштейнах.

Измерение уровня налива жидкости в трубопроводе осуществлялось стеклянным уровнемером, установленным в торце модели.

Избыточное давление в трубопроводе создавалось компрессором и измерялось манометром МТП-100 с ценой деления 0,01 МПа.

При проведении статических испытаний моделей трубопроводов учитывались и моделировались следующие нагрузки:

- нагрузка от веса транспортируемого продукта, которая имитировалась заполнением трубы водой, и рассматривались варианты пустого ( $H=0$ ) частично заполненного ( $H=0,5$ ) и полностью заполненного трубопровода ( $H=1,0$ )
- нагрузка от внутреннего избыточного давления, которая создавалась компрессором и измерялась манометром, и рассматривались варианты без избыточного давления, с избыточным давлением равным 1,0 МПа;

В соответствии с рисунком 2, для размещения тензорезисторов и индикаторов ИЧ было выбрано четыре характерных сечения. Тензодатчики наклеивались таким образом, чтобы в одной точке представлялась возможность измерения меридиональных, кольцевых и касательных напряжений в стенке модели трубопровода в характерных сечениях. В каждом кольцевом сечении модели трубопровода рассматривались 8 точек измерения.

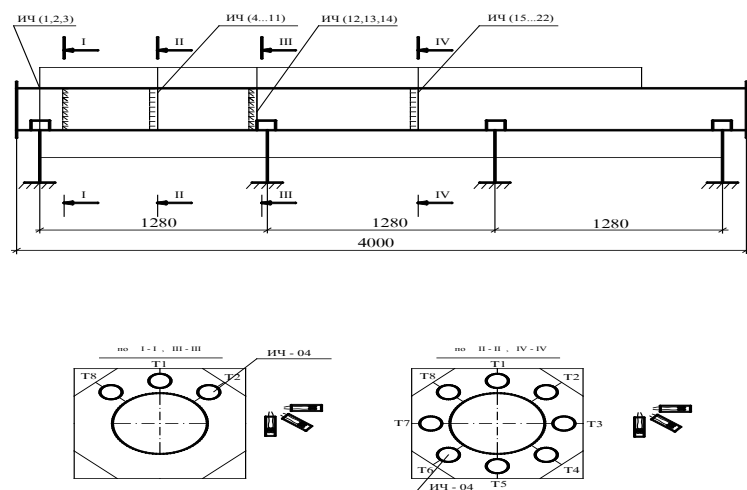


Рисунок 2 – Схема размещения тензодатчиков и индикаторов перемещений

Анализ эпюр кольцевых и меридиональных напряжений, в соответствии с рисунком 3, показал, что наибольшие значения растягивающих кольцевых напряжений возникают в нижних зонах поперечного сечения стенки модели в середине пролета.

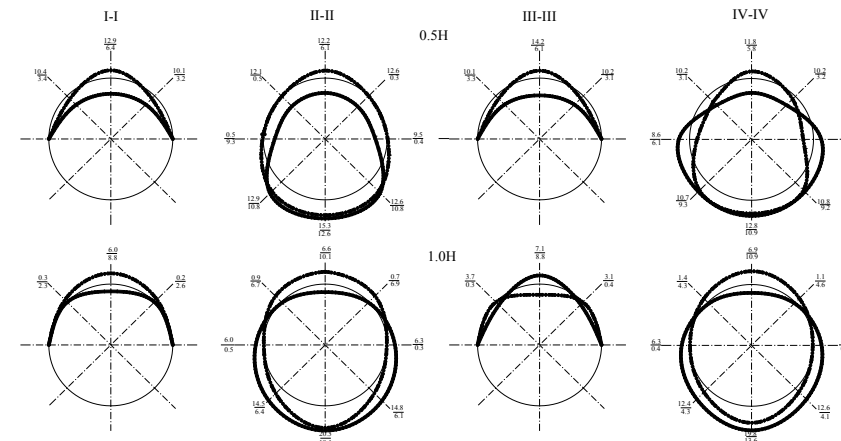


Рисунок 3- Эпюры кольцевых напряжений в характерных сечениях модели трубопровода без предварительного напряжения при статических нагрузках

Так при уровне заполнения равном 0,5Н значение кольцевых напряжений составило 15,3 МПа, а при полном ее заполнении она увеличилась в 1,32 раза. Наибольшие сжимающие напряжения возникают в точке Т1 над подвижной опорой модели (14,2 МПа), которая при полном ее заполнении перешла в растягивающие и составила 6,1 МПа. В сечениях модели в середине пролета сжимающие напряжения в результате ее полного заполнения уменьшились с 12,2 МПа до 6,1 МПа.

Отметим, что кольцевые напряжения над опорами и в середине пролета незначительно отличаются друг от друга. Как и ожидалось наибольшие перемещения модели наблюдаются в нижних зонах сечения в середине пролета которая составила при частичном заполнении модели 2,4 мм, а при полном ее заполнении 3,11 мм.

Сравнение эпюр кольцевых и меридиональных напряжений, при наличии внутреннего избыточного давления показывает, что по сравнению с вариантом отсутствия внутреннего давления наблюдается заметное сглаживание линии эпюр напряжений и деформаций стенки модели.

При увеличении внутреннего избыточного давления в сечениях над опорами в верхней зоне сечения сжимающие кольцевые напряжения переходят в растягивающие, а в нижней зоне напряжения уменьшаются в 1,2...1,3 раза, что объясняется перераспределением напряжений вследствие распирающего воздействия внутреннего избыточного давления.

Увеличение уровня налива до 1,0Н при присутствии внутреннего давления в модели приводит к увеличению напряжений в 1,44 раза по



сравнению с вариантом частичного заполнения модели, и в 1,12 раза меньше по сравнению с вариантом отсутствия внутреннего давления.

Отметим, что меридиональные напряжения при внутреннем избыточном давлении повысились примерно 1,1...1,3 раза, но по-прежнему они оставались ниже кольцевых в 1,8...2,0 раза при частичном заполнении и в 1,8...2,3 раза при полном заполнении модели.

Результаты экспериментальных исследований позволили в определенном приближении изучить действительную работу трубопровода в целом, а также уточнить статическую расчетную схему.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Моссаковский В.И., Маневич Л.И., Мильцын А.М. Моделирование несущей способности цилиндрических оболочек. - Киев: Наукова думка, 1977. - 138 с.
2. Питлюк Д.А. Расчет строительных конструкции на основе моделирования. - М.: Издательство литературы по строительству, 1965. - 152 с.
3. Основы теории подобия, размерности, моделирования: Учебное пособие. - Тула: ТПИ, 1988. - 84 с.
4. Аронов Р.И. Испытание сооружений: Учебное пособие для вузов. - М.: Высшая школа, 1974. - 1987 с.
5. Долидзе Д.Е. Испытание конструкций и сооружений: Учеб. пособ. Для вузов. - М.: Высшая школа, 1975. - 252 с.

### Түйіндеме

*Магистральды құбырдың сызықты бөлігінің үлгісі қабырғасының кернеулену-деформациялану күйі тәжірибе жүзінде зерттелді. Әр түрлі сұйықты құю және ішкі қысымда үлгі қабырғаларындағы шеңберлік және бойлық кернеулердің эпюралары келтірілген.*

### Resume

*The condition of a wall of model of a linear part of the main pipeline is experimentally investigated is intense - is deformed. The diagrams a ring and longitudinal pressure in a wall are submitted at various levels of a liquid and pressure in model.*

УДК 622.61

## ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ГАЗОВОЙ ОБВЯЗКИ

**Г.Г. Таткеева**

*Карагандинский государственный технический университет*

Постановка задачи. Объектом расчёта является газовая обвязка — трубопроводная система газовой компрессорной станции (рис. 1).

Система включает в себя: контур всасывания, контур нагнетания, контур выхода, пусковой контур, отмеченные на рисунке 1 соответствующими цветами. Каждый контур характеризуется своими значениями давления и температуры, а также диаметром труб, значения которого в системе варьируются в диапазоне 1,42 - 0,426 м. Материал большинства труб — сталь 10Г2ФБЮ с пределом текучести 460 МПа, некоторые трубы выполнены из стали 09Г2С (предел текучести 270 МПа). Трубопроводная система частью расположена над землёй, частью под землёй. На протяжении достаточно длинных участков (как над землёй, так и под землёй) трубы лежат на опорах, которые подразделяются на «мёртвые», скользящие, неподвижные и разгрузочные. Каждый тип опоры характеризуется кинематическими условиями и коэффициентом трения. Изменение геометрии трубопровода осуществляется при помощи 90°- и 45° отводов. Трубопровод снабжён системой арматурных элементов — кранами, клапанами, решётками, затворами.

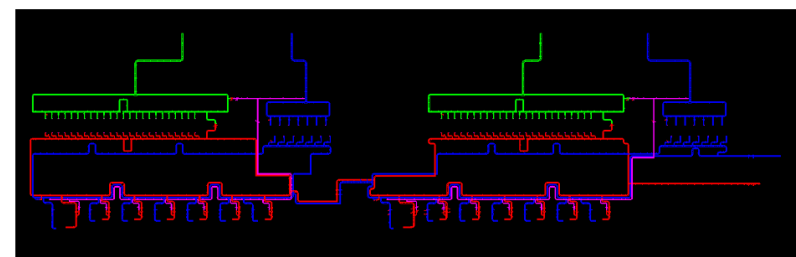


Рисунок 1

Целью расчёта является оценка общей прочности и жёсткости трубопроводной цепи. Важным фактором, принимаемым во внимание при расчёте, является учёт сухого трения на опорах.

Расчётная схема. Расчёт проводился на основе метода конечных элементов при помощи модуля генерации трубопроводной модели. Конечно-

элементное моделирование осуществляется на основе балочной схематизации. Для моделирования прямолинейных участков применяется конечный элемент PIPE16, отводы представлены элементами PIPE18, тройники — элементами PIPE17. Средняя длина элементов типа PIPE16 равнялась 2м. Опоры моделировались посредством двухузлового контактного конечного элемента CONTA178 с заданием нулевого зазора между узлами. Наружное давление от грунта на трубы подземных участков определялось по гидростатической аналогии. Для учёта взаимодействия труб на подземных участках с грунтом принято, что ввиду большой сопротивляемости грунта деформациям труб по сравнению с наземными участками в узлах соответствующих элементов равны нулю перемещения по вертикали и «вбок». Арматурные элементы воспроизводятся при помощи конечного элемента «Valve», для которого задаются в срединном узле длина и сухая масса соответствующего арматурного элемента. Жёсткость арматуры такая же, как у подводимых труб. Фрагмент конечно-элементной модели, насчитывающей 9221 узла и 7192 элемента, показан на рисунке 2.

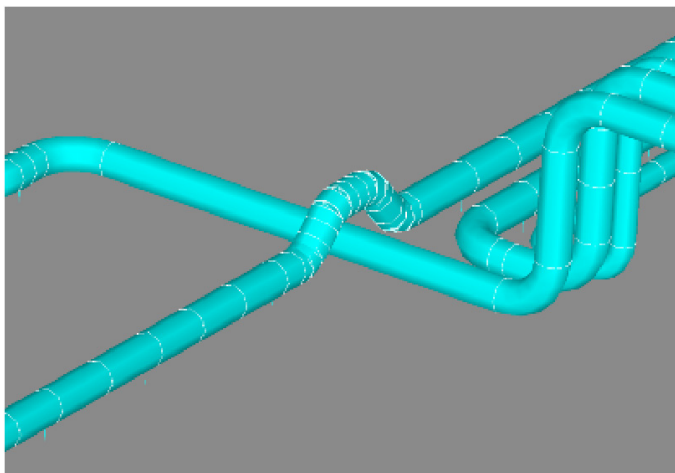


Рисунок 2

Результаты. Общее деформированное состояние газовой обвязки (в метрах) в виде сверху показано на рис. 3. Максимальное перемещение величиной 87 мм имеет место в нижней правой и средней зонах (относительно рис. 1) газовой обвязки.

Максимальные перемещения по оси Y величиной 44 мм реализуются в прямоугольных обходах в нижних зонах, главным образом в контуре нагнетания. Наибольшие перемещения по оси Z достигаются в верхних

зонах рис. 3, на выходном контуре вблизи выхода трубы из земли. Здесь происходит выгиб трубы при удлинении от внутренних нагрузок, которому препятствует грунт; на рис. 4 дана изометрическая пререкция одной из верхних зон. Критерием напряжённого состояния в точке служит напряжение по Мизесу на внешней стороне элементов типа PIPE.

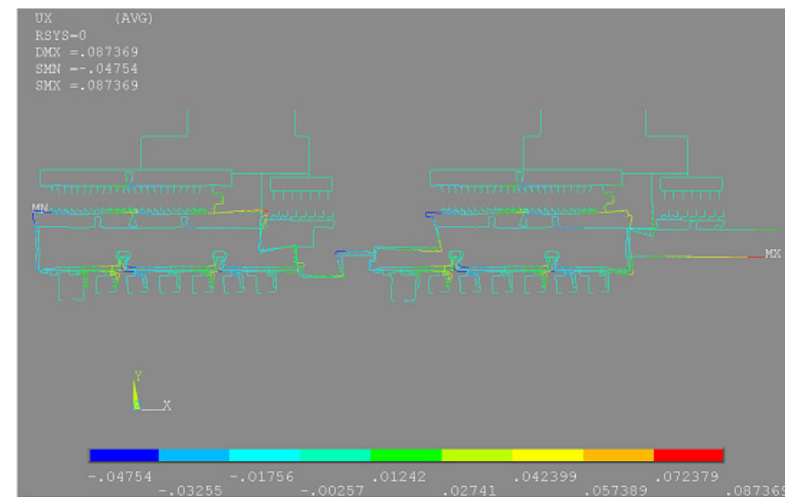


Рисунок 3

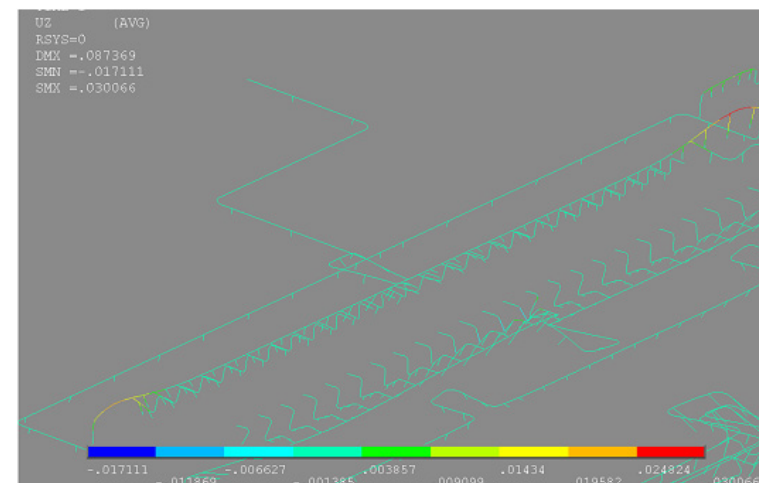


Рисунок 4

На рисунке 5 изображено общее напряжённое состояние (в Па) газовой обвязки. В целом картина напряжённого состояния такова, что наибольшие напряжения в элементах, у которых материалом является сталь 10Г2ФБЮ, не превышают 210 МПа. На надземных участках напряжения обусловлены как линейными (растяжение-сжатие), так и изгибными деформациями в различной степени доминирования. На подземных участках определяющими являются радиальные и окружные напряжения от совместного воздействия внутреннего и внешнего давления и температуры.

Таким образом, запас общей прочности элементов, имеющих в качестве материала 10Г2ФБЮ, по пределу текучести равен 2,2. В трубопроводе имеются конечные элементы, в которых расчётные напряжения превышают предел прочности 590 МПа. Районы расположения таких элементов на рис. 5 обозначены кружками и представляют собой места выхода труб выходного контура из земли. Аномальность таких значений вызвана, во-первых, некорректным соотношением длины (0,25 м) и диаметра (1,02 м) наиболее напряжённого балочного элемента (такова реальная геометрия), что нарушает правильную его работу и влечёт повышенные напряжения в соседних элементах.

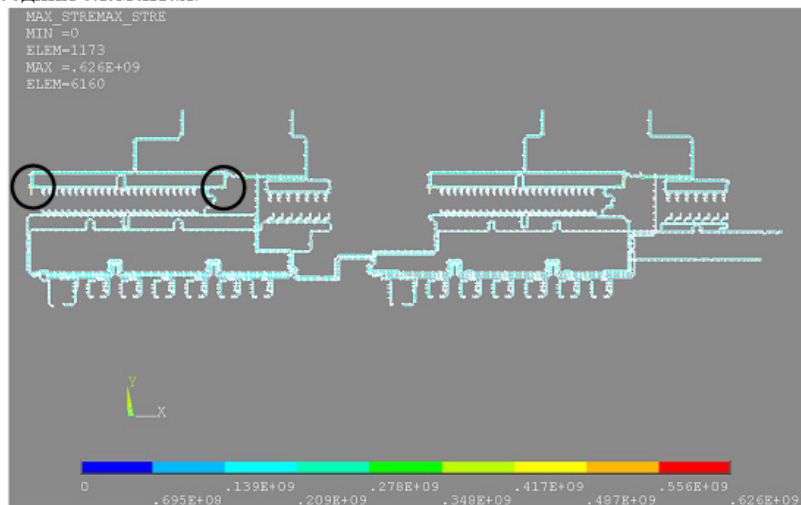


Рисунок 5

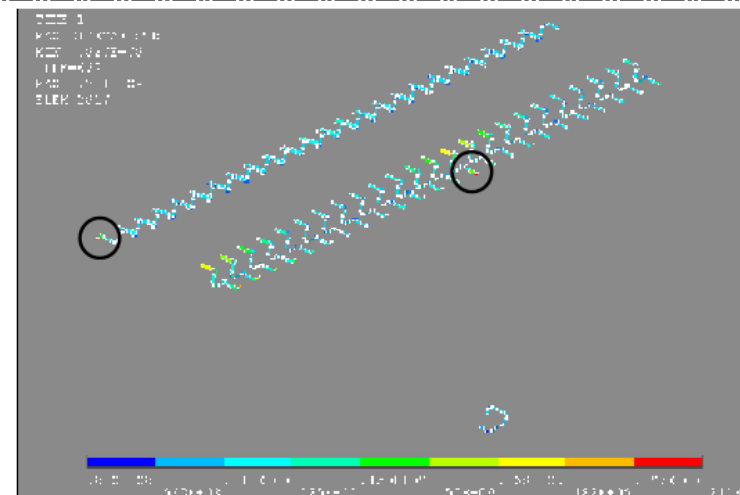


Рисунок 6

Во-вторых, тем, что грунт моделируется как абсолютно жёсткая среда, хотя в действительности он имеет конечную деформируемость. Следовательно, локальный пик напряжений здесь обусловлен ограниченностью балочной схемы и не имеет решающего значения с точки зрения общей прочности.

На рисунке 6 показано напряжённое состояние труб, выполненных из стали 09Г2С, расположенных в левой половине газовой обвязки (напряжённое состояние аналогичных элементов в правой половине идентично). Наибольшие напряжения величиной 211 МПа реализуются в элементах, отмеченных на рисунке 6 кружками: тройниковые элементы в выходном контуре и в одной из зон контура нагнетания; это обусловлено тем, что балочная схема игнорирует мелкие детали тройникового соединения. В целом напряжения в этих элементах находятся в диапазоне 100-170 МПа, и коэффициент запаса по пределу текучести для элементов из стали 09Г2С равен 1,6. В рамках применённой схемы моделирования общую прочность рассмотренной газовой обвязки можно полагать достаточной.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Чигарев А.В., Кравчук А.С., Смалюк А.Ф. ANSYS для инженеров: Справ. пособие. -М.: Машиностроение-1, 2004. -512 с.
2. Лизин В.Г., Пяткин В.А. Проектирование тонкостенных конструкций. -М.: Машиностроение, 1976.
3. Нургузин М.Р., Степанов П.Б. Прикладная теория систем. Микро- и макро моделирование. - Караганда: Изд-во КПТИ, 1994. - 132 с.

4. Нургужин М.Р., Кацага Т.Я., Даненова Г.Т. Лабораторный практикум по математическому моделированию объектов проектирования на макро- и микроуровнях: учебное пособие. – Караганда: КарГТУ, 2001. –104 с.

### Түйіндемe

*Есептеу объектісі болып газды оралым саналады — газдық компрессорлы стансасының құбыр өткізгішті жүйесі. Есептеу мақсаты болып тізбектің жалпы беріктілік бағасы және құбыр өткізгішінің қаттылығы есептеледі. Газды оралымның деформирленген күйінің эксперименталды берілістері алынған және оларға талдау жасалған.*

### Resume

*The object of account is gas brace – pipeline system of gas compressor station. The aim account it is assessment of common strength and hardness of pipeline circuit. Had been receive experimental information of straining state gas brace and had been test their analysis*

УДК 621.311.004.1

## УТОЧНЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ МОДЕЛИ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНОЙ СЕТИ НА ОСНОВЕ МЕТОДОВ ИДЕНТИФИКАЦИИ

**К.К. Тохтибакиев, Д.Ж. Джексенбинов**

*Алматынский институт энергетики и связи*

В настоящее время, в связи с переходом на рыночные отношения между производителями и потребителями электрической энергии, а также сопровождающегося роста количества точек коммерческого учета электроэнергии, становится актуальным использовать балансовые методы оценки потерь электроэнергии, основанные на совокупности телеизмерений и схемно-технических расчетов [1]. Такие методы, позволяющие определять количественную оценку потерь электроэнергии, требуют построения базовой расчетной модели и уточнения ее параметров на основе обработки телеизмерений и телесигнализации состояния элементов сети. Идентификационные методы используются для анализа потерь электроэнергии в магистральных и питающих сетях, имеющих достаточный объем телеизмерений.

Расчетная модель сети для расчетов потерь представляется в виде участка сети с сосредоточенными нагрузками. По структуре модель идентична

реальной сети со среднечасовыми нагрузками, которые вызывают такие же потери, что и в реальной электрической сети [2].

Эквивалентность модели и реальной сети определяется критерием равенства потерь в модели и в реальной электрической сети в виде следующей функции:

$$F = (D - a_1x_1 - a_2x_2 - \dots - a_nx_n)^2 \rightarrow 0 \quad (1)$$

$D$  – потери в реальной сети (измеренные);

$x_i$  – независимые переменные, сопротивление отдельных участков;

$a_i = y^2/U^2$ , где  $y_i$  – перетоки мощности по ветвям,  $U$  – номинальное напряжение участка электрической сети.

Следовательно, уравнения баланса мощности по узлам определяются системой уравнений.

$$\begin{aligned} f1 &= y_1 - a_1x_1 - y_2 & -P_1 &= 0 \\ f2 &= y_2 - a_2x_2 - y_3 & -P_2 &= 0 \\ f_{n-1} &= y_{n-1} - a_{n-1}x_{n-1} - y_n & -P_{n-1} &= 0 \\ f_n &= y_n & -P_n &= 0 \end{aligned} \quad (2)$$

где  $P_i$  – нагрузки по узлам (измеренные);

Рассмотрим задачу определения параметров модели в следующей постановке: Определить параметры модели (2), обеспечивающих минимум функции (1) при известных (измеренных) значениях  $Y$  и  $D$ , получаемых из суточных графиков отпуска электроэнергии от ПС или ТП.

Для любого  $i$ -го измерения запишем выражения определяющие равенство между измеренными значениями потерь полученным по данным суточного графика и расчетным значением в виде регрессионного уравнения:

$$d_i = a_{ij}x_1 + a_{i2}x_2 + a_{i3}x_3 + a_{in}x_n, i=1\dots n, j=1\dots m \quad (3)$$

$$\text{где } a_{ij} = P_{ij}^2 / u^2, d_i = P_p - \sum_j^m P_j$$

$P_{i0}$  - мощность головной ПС для  $i$  того измерения (по суточному графику);

$P_{j0}$  - мощность  $j$ -той ТП для  $i$  того измерения (по суточному графику)

$n$ -число измерений;

$m$  - число ТП (измеряемые переменные нагрузки на ТП);  
 $d_i$  - потери по сети, полученные по суточному графику для  
 $I$  - измерения.

Для  $N$  измерений получим систему из уравнений вида (4). Матричная запись данной системы определяет некоторую модель линейной регрессии [3].

$$YR=D \quad (4)$$

Определение параметров модели произведем методом наименьших квадратов [4]. Суть метода наименьших квадратов сводится к минимизации суммы квадратов остатков по  $R$ :

$$RSS(r) = \sum_{i=1}^n \varepsilon_i^2 \cdot (r) = \sum_{i=1}^n (d_i - R_i \cdot Y)^2 \rightarrow \min_{\beta} \quad (5)$$

Сумма квадратов остатков в матричном виде

$$RSS(r) = \varepsilon(r)^T \varepsilon(r) = (d - RY)^T (d - RY) =$$

$$d^T d - d^T RY - Y^T R^T d - R^T Y^T YR = d^T d - 2d^T YR + R^T Y^T YR \quad (6)$$

Используя матричное (в данном случае векторное) дифференцирование, можно вычислить вектор первых производных суммы квадратов остатков по коэффициентам регрессии:

$$\frac{dRSS(R)}{dR} = \left( \frac{dRSS(r)}{dr_i} \dots \frac{dRSS(r)}{dr_m} \right) = -2d^T y + 2R^T Y^T Y \quad (7)$$

Пусть, например, минимум достигается при  $r=r$ . Тогда в этой точке должно быть выполнено условие первого порядка:

$$\frac{dRSS(r)}{dr} = -2d^T Y + 2r^T Y^T Y = 0^T \quad (8)$$

После несложных преобразований это условие первого порядка можно записать в виде:

$$Y^T (d - YR) = 0 \quad (9)$$

или

$$Y^T d = Y^T YR. \quad (10)$$

Данное соотношение обычно называют нормальным уравнением.

Из нормального уравнения в предположении невырожденности можем найти вектор коэффициентов метода наименьших квадратов:

$$Y^T d = Y^T YR \Rightarrow R = (Y^T Y)^{-1} Y^T d \quad (11)$$

Рассмотрим формирование матриц  $Y$  и вектора  $D$ , по данным суточных графиков. Вектор перетоков мощности по ветвям для  $I$ -того измерения определяется с использованием матрицы токораспределения  $C$  в виде:

$$P_{ij} = C | P_{i1} | \quad (12)$$

Квадрат вектора перетоков определяется в виде:

$$P_{ij}^2 = (CP)^t (CP) \quad (13)$$

Для  $M$ -измерений получим матрицу  $B$ :

$$Y = \begin{vmatrix} P_{11}^2 & P_{12}^2 & \dots & P_{1j}^2 & \dots & P_{1n}^2 \\ P_{21}^2 & P_{22}^2 & \dots & \dots & \dots & P_{2n}^2 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ P_{m1}^2 & P_{m2}^2 & \dots & \dots & \dots & P_{mn}^2 \end{vmatrix} \quad (14)$$

где  $m$  - число параметров,  
 $n$  - число измерений.

Вектор  $D$  образуется по данным суточного графика в виде (3) и является вектором потерь мощности для  $N$  точек измерений в виде:

$$D = P_0 - \sum P_{nj} \quad (15)$$



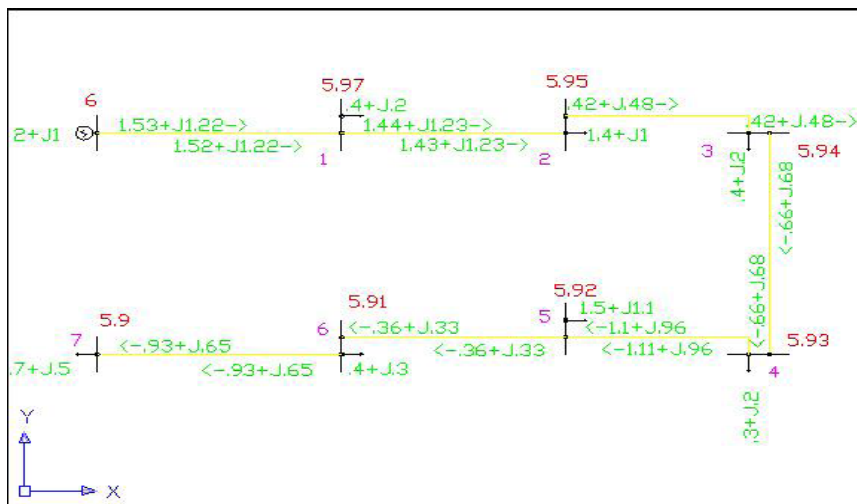
С учетом вышеприведенных обозначений вектор неизвестных параметров определяется по формуле (16):

$$R = (Y'Y)^{-1} Y'D \quad (16)$$

Определение вектора  $R$  по предлагаемой методике рассмотрим для примера расчета параметров участка сети, приведенной на рисунке 1.

При определении потерь в разомкнутой системе с одним источником питания, идентификации подлежат сопротивления участков линии по входным и выходным параметрам модели, в качестве которых используются объемы отпуска, напряжение головного участка и объемы отпуска из сети, фиксируемые приборами учета.

Рассмотрим один из участков сети 6 кВ (рисунок 1), где в точке 1 установлен измерительный комплекс, фиксирующий поступление электроэнергии на рассмотренный участок, суточный расход электроэнергии и напряжение головного участка в точках 1,2,3,4,5,6,7 на выходе ТП (на стороне 0,4 кВ) установлены приборы учета, фиксирующие отпуск из сети электроэнергии на напряжении 0,4 кВ.



Используем аналитическое представление электрической схемы в матричном виде.

По рисунку 1 составим первую матрицу инцидентий  $M$ , отражающую соединения ветвей в узлах схемы в уравнении (17) [5].

$$Mi = j \quad (17)$$

Вычислим матрицу распределения задающих токов по ветвям разомкнутой схемы  $M^{-1}$ .

$$M := \begin{pmatrix} -1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -1 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 \end{pmatrix} \quad M^{-1} = \begin{pmatrix} -1 & -1 & -1 & -1 & -1 & -1 & -1 \\ 0 & -1 & -1 & -1 & -1 & -1 & -1 \\ 0 & 0 & -1 & -1 & -1 & -1 & -1 \\ 0 & 0 & 0 & -1 & -1 & -1 & -1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & -1 & -1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & -1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 \end{pmatrix}$$

Зададим активные и реактивные нагрузки в узлах схемы, в виде векторов задающих токов в узлах – матрицы  $C$ , для семи различных режимов, исходя из условия найти семь неизвестных активных сопротивлений для каждого участка электрической сети на рисунке 1.

$$C := Pn^T \quad W := Qn^T \quad (18)$$

$$C = \begin{pmatrix} 0.4 & 0.5 & 0.6 & 0.7 & 0.4 & 0.6 & 0.8 \\ 1.4 & 1.5 & 1.7 & 1.8 & 1 & 1.4 & 2 \\ 0.4 & 0.5 & 0.6 & 0.7 & 0.4 & 0.6 & 0.8 \\ 0.3 & 0.2 & 0.3 & 0.4 & 0.2 & 0.3 & 0.5 \\ 1.5 & 1.6 & 1.8 & 1.8 & 1 & 1.4 & 2 \\ 0.4 & 0.5 & 0.6 & 0.7 & 0.3 & 0.5 & 0.8 \\ 0.7 & 0.8 & 0.9 & 1.1 & 0.5 & 0.8 & 1.2 \end{pmatrix} \quad W = \begin{pmatrix} 0.2 & 0.3 & 0.3 & 0.4 & 0.2 & 0.3 & 0.5 \\ 1 & 1.1 & 1.1 & 1.2 & 0.6 & 0.8 & 1.5 \\ 0.2 & 0.3 & 0.3 & 0.4 & 0.2 & 0.3 & 0.5 \\ 0.2 & 0.2 & 0.2 & 0.2 & 0.1 & 0.2 & 0.3 \\ 1.1 & 1.2 & 1.2 & 1.2 & 0.6 & 0.9 & 1.5 \\ 0.3 & 0.3 & 0.3 & 0.4 & 0.2 & 0.3 & 0.5 \\ 0.5 & 0.6 & 0.6 & 0.8 & 0.3 & 0.5 & 0.9 \end{pmatrix}$$

В соответствии с первым уравнением состояния (17), определим вектора активных и реактивных мощностей в ветвях схемы для исследуемых семи режимов.

$$P := M^{-1} \times C \quad Q := M^{-1} \times W$$

$$A = \begin{pmatrix} -5.1 & -5.6 & -6.5 & -7.2 & -3.8 & -5.6 & -8.1 \\ -4.7 & -5.1 & -5.9 & -6.5 & -3.4 & -5 & -7.3 \\ -3.3 & -3.6 & -4.2 & -4.7 & -2.4 & -3.6 & -5.3 \\ -2.9 & -3.1 & -3.6 & -4 & -2 & -3 & -4.5 \\ -2.6 & -2.9 & -3.3 & -3.6 & -1.8 & -2.7 & -4 \\ -1.1 & -1.3 & -1.5 & -1.8 & -0.8 & -1.3 & -2 \\ -0.7 & -0.8 & -0.9 & -1.1 & -0.5 & -0.8 & -1.2 \end{pmatrix} \quad T = \begin{pmatrix} -3.5 & -4 & -4 & -4.6 & -2.2 & -3.3 & -5.7 \\ -3.3 & -3.7 & -3.7 & -4.2 & -2 & -3 & -5.2 \\ -2.3 & -2.6 & -2.6 & -3 & -1.4 & -2.2 & -3.7 \\ -2.1 & -2.3 & -2.3 & -2.6 & -1.2 & -1.9 & -3.2 \\ -1.9 & -2.1 & -2.1 & -2.4 & -1.1 & -1.7 & -2.9 \\ -0.8 & -0.9 & -0.9 & -1.2 & -0.5 & -0.8 & -1.4 \\ -0.5 & -0.6 & -0.6 & -0.8 & -0.3 & -0.5 & -0.9 \end{pmatrix}$$

Произведем скалярное возведение в квадратную степень и при сложении получим полную мощность по ветвям для семи режимов в виде матрицы S:

$$F = \begin{pmatrix} 26.01 & 31.36 & 42.25 & 51.84 & 14.44 & 31.36 & 65.61 \\ 22.09 & 26.01 & 34.81 & 42.25 & 11.56 & 25 & 53.29 \\ 10.89 & 12.96 & 17.64 & 22.09 & 5.76 & 12.96 & 28.09 \\ 8.41 & 9.61 & 12.96 & 16 & 4 & 9 & 20.25 \\ 6.76 & 8.41 & 10.89 & 12.96 & 3.24 & 7.29 & 16 \\ 1.21 & 1.69 & 2.25 & 3.24 & 0.64 & 1.69 & 4 \\ 0.49 & 0.64 & 0.81 & 1.21 & 0.25 & 0.64 & 1.44 \end{pmatrix}$$

$$U = \begin{pmatrix} 12.25 & 16 & 16 & 21.16 & 4.84 & 10.89 & 32.49 \\ 10.89 & 13.69 & 13.69 & 17.64 & 4 & 9 & 27.04 \\ 5.29 & 6.76 & 6.76 & 9 & 1.96 & 4.84 & 13.69 \\ 4.41 & 5.29 & 5.29 & 6.76 & 1.44 & 3.61 & 10.24 \\ 3.61 & 4.41 & 4.41 & 5.76 & 1.21 & 2.89 & 8.41 \\ 0.64 & 0.81 & 0.81 & 1.44 & 0.25 & 0.64 & 1.96 \\ 0.25 & 0.36 & 0.36 & 0.64 & 0.09 & 0.25 & 0.81 \end{pmatrix}$$

$$S = \begin{pmatrix} 38.26 & 47.36 & 58.25 & 73 & 19.28 & 42.25 & 98.1 \\ 32.98 & 39.7 & 48.5 & 59.89 & 15.56 & 34 & 80.33 \\ 16.18 & 19.72 & 24.4 & 31.09 & 7.72 & 17.8 & 41.78 \\ 12.82 & 14.9 & 18.25 & 22.76 & 5.44 & 12.61 & 30.49 \\ 10.37 & 12.82 & 15.3 & 18.72 & 4.45 & 10.18 & 24.41 \\ 1.85 & 2.5 & 3.06 & 4.68 & 0.89 & 2.33 & 5.96 \\ 0.74 & 1 & 1.17 & 1.85 & 0.34 & 0.89 & 2.25 \end{pmatrix}$$

ST – матрица потокораспределения полной мощности в продольных элементах сети по семи режимам.

Используя измеренные значения мощности нагрузки в узлах (18) и вычисленные по ним значения перетоков по ветвям определим неизвестные значения вектора сопротивлений – Rm по формуле (16):

$$Rm := \begin{pmatrix} 0.1 \\ 0.09 \\ 0.13 \\ 0.1 \\ 0.09 \\ 0.09 \\ 0.07 \end{pmatrix}$$

$$Rm = (S^T * S)^{-1} \times S^T \times D$$

Для проверки правильности определения параметров сопротивления сети, исследуем расхождения потерь по модели с экспериментальными данными для семи режимов по следующим выражениям:

$$E := dPr - dPm \quad gE := \frac{(E \times 100)}{dPr}$$

dPm - потери по модели, Rr – сопротивления участков электрической схемы,

dPr – потери по программе растр, можно принять за вектор наблюдаемых величин

Для расчета потерь по ветвям воспользуемся классической моделью определения потерь для схемы замещения электрической сети по формуле [1] (19)

$$dPm = S^T \times \frac{Rm}{36}$$

Подставив найденные значения вектора сопротивлений в формулу (19) получим:

$$dP_m = \begin{pmatrix} 0.3147556 \\ 0.38365 \\ 0.4700361 \\ 0.5900917 \\ 0.1494556 \\ 0.3346722 \\ 0.7891917 \end{pmatrix} \quad dP_r := \begin{pmatrix} 0.355 \\ 0.449 \\ 0.552 \\ 0.695 \\ 0.159 \\ 0.363 \\ 0.960 \end{pmatrix} \quad gE = \begin{pmatrix} 11.336 \\ 14.555 \\ 14.849 \\ 15.095 \\ 6.003 \\ 7.804 \\ 17.793 \end{pmatrix}$$

Наибольшие расхождения получаются в режимах с малой нагрузкой в узлах электрической сети

#### Выводы

В предлагаемом методе оценки параметров сети при известной ее структуре определены неизвестные значения параметров сопротивления по данным измерения параметров электропотребления. Измеряемыми величинами являются наблюдаемые значения мощности в узлах нагрузки и мощности на головном участке распределительной сети.

Идентификация параметров определяется критерием равенства потерь в модели и в электрической сети. Решения поставленной задачи находится методом наименьших квадратов в матричной форме.

Математическая модель установившегося режима электрической сети, используемая при решении идентификационной задачи, учитывает потери мощности, которые существенно влияют на токораспределение в продольных элементах сети. Математическая модель сети с учетом потерь мощности формируется на нелинейных уравнениях, составленных на основе балансе мощности по узлам.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Инструкция по снижению технологического расхода электрической энергии на передачу по электрическим сетям энергосистем и энергообъединений: И 34-70-029-86. – М.: СПО Союзтехэнерго, 1987.
2. Потери электроэнергии в электрических сетях энергосистем / Под ред. В.Н. Казанцева. – М.: Энергоатомиздат, 1983.
3. Железко Ю.С. Выбор мероприятий по снижению потерь электроэнергии в электрических сетях: Руководство для практических расчетов. -М., «Энергоатомиздат», 1989.
4. Падалко Л.П. Математические методы оптимального планирования развития и эксплуатации энергосистем. -Мн: «Вышэйш. школа», 1972.
5. Мельников Н.А. Матричный метод анализа электрических цепей. Изд. 2-е, перераб. и доп. -М., «Энергия», 1972.

#### Түйіндемe

Мақалада электр тұтынуды өлшеуде бағыланатын параметрлері бойынша электр желісінің параметрлерін идентификациялау есебінің қойылымы және электр энергиясы ысырабын шұғыл есептеуді үшін бастапқы мәліметтерді нақтылауға мүмкіндік беретін оны шешу әдісі берілген.

#### Resume

The article presents the formulation of the electrical networks parameters identification problem from the observed parameters of measurement of power consumption and method of its solution, which allows to specify input for operational calculations of power losses.

УДК 621.365

## СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ИНДУКЦИОННОГО НАГРЕВАТЕЛЯ ЖИДКОСТЕЙ И ГАЗОВ

**К.В. Хацевский**

Омский государственный технический университет

Индукционные нагреватели трансформаторного типа имеют вторичный контур в виде коаксиальных цилиндрических обечаек [1]. Внутренний и наружный цилиндры формируют корпус нагревательной камеры, позволяющий в периодическом или проточном режимах осуществлять нагрев и технологическую обработку различных жидкостей и газов при давлениях до 10...15 атм.

Между внутренним и наружным цилиндрами, изготовленными из немагнитной стали или диэлектрических материалов, устанавливаются медные или алюминиевые цилиндры или кольца, которые интенсивно нагреваются и за счет кондуктивно-конвективного теплообмена обеспечивают нагрев жидкостей или газов. Конструкция выполняется таким образом, что во внутренних цилиндрах (кольцах) выделяется до 70...90 % вводимой мощности.

При выполнении вторичного контура в виде колец обеспечивается нагрев и электромагнитная обработка жидкостей в градиентных электромагнитных полях.

Обобщенная конструктивная схема нагревателя представлена на рисунке 1.

Расчет нагревательной системы осуществляется на основе схемы замещения двухэлементного нагревателя [2] слоистых систем с представлением каждого элемента в виде четырехполосника, аппроксимирующего расчетную подобласть с трехэлементной схемой замещения, параметры которой определяются для каждого цилиндра по выражениям:

$$Z_1 = Z_2 = p \cdot l \cdot th(p \cdot a_i / 2) / \gamma \cdot h, \quad (1)$$

$$Z_3 = p \cdot l / \gamma \cdot h \cdot sh(p \cdot a_i), \quad (2)$$

$$p = \sqrt{j \cdot \omega \cdot \mu \cdot \gamma}, \quad (3)$$

где  $l$  - средняя длина расчетной области;

$a_i$  - ширина расчетной области;

$h$  - высота расчетной области;

$\gamma$  - электропроводность.

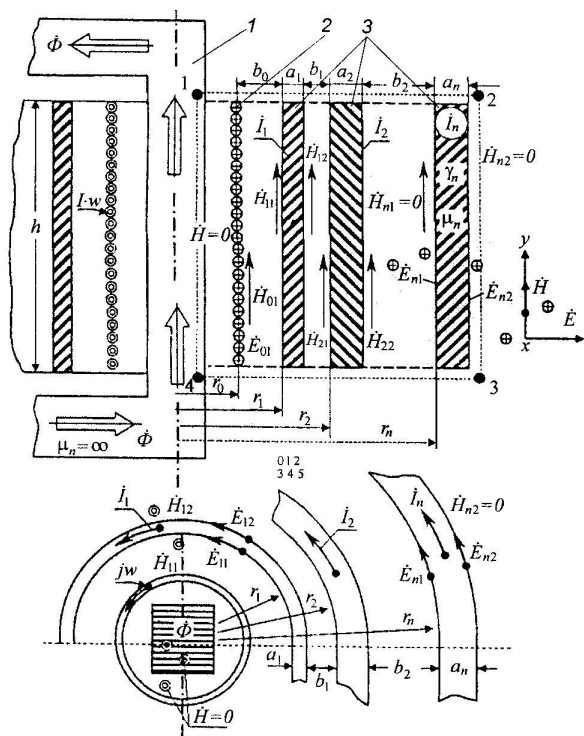


Рисунок 1- Обобщенная конструктивная схема нагревателя  
Магнитопровод 1 объединяет индуктор 2 и цилиндры 3 в единую систему индукционного типа

Для диэлектрических промежутков между обечайками при  $\gamma=0$  получаем:

$$x_1 = x_2 = j \cdot \omega \cdot \mu \cdot l \cdot b / 2 \cdot h; \quad x_3 = 0 \quad (4)$$

В схему замещения с двумя короткозамкнутыми цилиндрами двухэлементного нагревателя, приведенную на рисунке 2, входит наряду с приведенным реактивным сопротивлением рассеяния  $x_0 = (\omega \cdot \mu_0 \cdot l_0 \cdot b_0 \cdot W^2) / l$  активное сопротивление  $r_m$  первичной обмотки – индуктора.

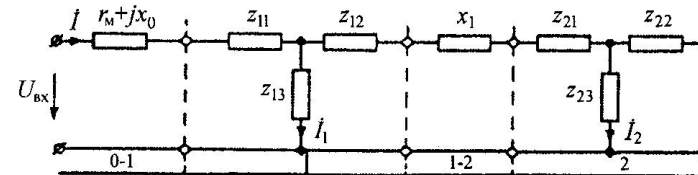


Рисунок 2 – Схема замещения с двумя короткозамкнутыми цилиндрами двухэлементного нагревателя

Важной особенностью рассматриваемых индукционных систем является выбор конкретных соотношений геометрических размеров слоистого полого цилиндра с расположением индуктора и магнитопровода в полости этого цилиндра [1]. Размер каждого слоя  $\Delta_i < \Delta_{\phi i}$ , а сумма этих размеров  $\sum \Delta_{\phi i} \approx \Delta_{\phi}^{эф}$  где  $\Delta_{\phi}^{эф}$  – эффективная глубина проникновения неоднородной слоистой системы. В первом приближении можно принимать  $\Delta_{\phi}^{эф} \approx \Delta_{\phi}$  для материала металлических цилиндров (сталь, алюминий, медь и др.).

Так как вода имеет низкую электропроводность и эффективность ее нагрева в электромагнитных полях мала, электротепловая задача не ставится и не рассматривается как основная. Повышение температуры воды до насыщения осуществляется от металлических колец (цилиндров), находящихся в электромагнитном поле.

Проведенные исследования и разработка методов расчета индукционных систем нагрева жидкостей [1] позволили совершенствовать электротехнологические установки принципиально нового типа, в которых с использованием электромагнитных полей за счет интенсификации электродиффузии и термодиффузии в десятки раз увеличивается скорость протекания различных химических реакций. Это позволяет осуществлять

новые электротехнологические процессы: переработка жидких отходов, снижение жесткости воды, опреснение морской воды и т.д.

Общий анализ рабочих режимов обработки жидкости в рассматриваемых устройствах позволил выделить три одновременно протекающих взаимосвязанных процесса:

1. Нагрев и принудительное движение жидкости в рабочем объеме за счет перепада давлений жидкости на входе и выходе устройства.

2. Нагрев и конвективное движение жидкости при взаимодействии непосредственно с нагревающей поверхностью и реализацией различных режимов (нагрев в температурной области без насыщения, нагрев при объемном, поверхностном или пузырьковом кипении с одновременным протеканием термохимических процессов).

3. Движение катионов и анионов за счет объемнораспределенных электромагнитных сил, действующих локально на паропроводящую смесь в рабочем пространстве индукционных систем нагрева (электромагнитное вихревое перемешивание), с одновременной интенсификацией термохимических процессов в электромагнитном поле. Рассмотрим последовательно эти три процесса.

Принудительное движение жидкости за счет перепада давлений на входе и выходе нагревательного устройства определяет циркуляцию потока жидкости и интегральный теплообмен с коаксиальными цилиндрами.

Промышленные нагреватели жидкостей выполняются для нагрева до температур 80...900 °С с использованием в системах нагрева воды для отопления и бытовых нужд и создания химических реакторов широкого назначения. Рабочий коэффициент мощности  $\cos \varphi > 0,98$ .

## ЛИТЕРАТУРА

1. Хацевский К.В. Электронагрев жидкостей и газов в индукционных установках с коаксиальными цилиндрами. – Павлодар: НПФ «ЭКО», 2002. – 120 с.
2. Чередниченко М.В. Рабочий процесс вакуумных дистилляционных электропечей / Научный вестник НГТУ, 1999. - № 1 (6). – С. 106-116.

### Түйіндеме

*Қазіргі жұмыста электромагнит өрісіндегі сұйықтарды және газдарды жылыту мен оңдеу үшін тиімділігі жоғары индукциялық жүйелердің жаңа конструкциялары қарастырылды.*

### Resume

*Modern construction of high-performance induction systems for heating and processing liquids and gases in electromagnetic fields is considered in this paper.*

УДК 66.023.532.5

## ОБОБЩЕННОЕ УРАВНЕНИЕ СКОРОСТИ РАЗДЕЛЕНИЯ ЖИРА С ИСПАРЕНИЕМ ФАЗ

**Ж.Д. Жайлаубаев**

*Семейский филиал ТОО «Казахский научно-исследовательский институт переработки сельскохозяйственной продукции»*

В процессе нагрева, кипения, конденсации испарительного вещества большей частью или полностью протекают при нестационарной температуре поверхности.

Испарение с поверхности теплового контакта однокомпонентной жидкости описывается уравнениями теплопроводности и диффузии в фазах

$$\frac{\partial t_1}{\partial t} = a_1 \frac{\partial^2 t_1}{\partial \chi^2}; \quad \frac{\partial t_2}{\partial \tau} = a_2 \frac{\partial^2 t_2}{\partial \chi^2}; \quad \frac{\partial p_2}{\partial \tau} = D \frac{\partial^2 P_2}{\partial \chi^2}; \quad (1)$$

Уравнениями теплового баланса и равновесной упругости паров для межфазной поверхности

$$\lambda_1 \frac{\partial t_1}{\partial \chi} + K_2 (t_{2,0} - t_{1,0}) = LK_{1,0} (P_p - P_{2p}) \quad (2)$$

$$P_p = \int (t_{1,0}) \quad (3)$$

и начальным распределением температур и концентрации в фазах

$$\tau = 0; \quad t_1 = t_1(\chi); \quad t_2 = t_2(\chi); \quad p_2 = p_2(\chi); \quad (4)$$

В нестационарном процессе, при вихревом тепловом потоке, начинающемся непосредственно после образования элемента межфазной поверхности, можно выделить две стадии. Первая стадия - это распространение тепловых и концентрационных возмущений от поверхности контакта в глубину фаз. Сначала, при больших значениях градиентов, скорость парообразования определяется сопротивлениями фазового перехода вещества и тепла, которые учитываются кинетическими коэффициентами  $K_1$  и  $K_2$ .

По мере формирования полей температур и концентрации возрастает сопротивление фаз и станет лимитирующим, а температура поверхности



испарения  $t_0$  стремится к значению, определяемому из теплового баланса

$$\lambda_1 \frac{\partial t_1}{\partial \chi} + \lambda_2 \frac{\partial t_2}{\partial \chi} = LD_2 \frac{\partial \rho_2}{\partial \chi} \quad (5)$$

На основе теории проникания условие (5) может быть выражено уравнениями

$$(t_1 - t_0) \sqrt{\frac{4a_1}{\pi\tau}} + (t_2 - t_0) \sqrt{\frac{4a_2}{\pi\tau}} = L(P_p - P_2) \sqrt{\frac{4D_2}{\pi\tau}} \quad (6)$$

в котором время  $\tau$  сокращается и не влияет на  $t_0$ .

Продолжительность первой стадии испарения, равная времени контакта элемента поверхности с газовой фазой, определяется размером  $r$  и скоростью газовой фазы  $W_2$ .

$$\tau_k = \frac{r}{w_2} \quad (7)$$

Для капель жидкости, образующихся при распылении,  $\tau_k$  не превышает  $10^{-3} - 10^{-4}$  сек и определяющим при нестационарном испарении их является вторая стадия.

Во второй стадии сопротивление, создаваемое газовой фазой процессам обмена, остается постоянным и выражается коэффициентами тепло- и массоотдачи  $\lambda_2$  и  $\beta_2$ . Вместе с этим нарушается условие (6), поэтому во второй стадии  $t_0$  может изменяться.

Для математического описания второй стадии испарения шарообразных капель постоянного диаметра

$$\begin{aligned} \rho_1 c_1 \frac{\partial t_1}{\partial t} &= \lambda_{эфф} \left[ \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left( r \frac{\partial t_1}{\partial r} \right) \right] \\ r = R \quad \lambda_{эфф} \frac{\partial t_1}{\partial \chi} + \alpha_2 (t_2 - t_0) &= L\beta_2 (\rho_p - \rho_2), \\ r = 0 \quad \frac{\partial t_1}{\partial t} = 0; \quad \tau = 0 \quad t_1 = t_{1,H} \\ t_{1,0} = t_{2,0} = t_0; \quad \rho_p &= A + Bt_0 \end{aligned} \quad (8)$$

нами получено решение вида

$$\theta = \frac{t_1 - t_{1,H}}{t_{1,K} - t_{1,H}} = 1 - \sum_{n=1}^{\infty} \frac{2(\sin \mu_n - \mu_n \cos \mu_n)}{\mu_n - \sin \mu_n \cos \mu_n} \cdot \frac{R \sin \mu_n}{r \mu_n} \times \exp(-\mu_n^2 Fo), \quad (9)$$

$$\text{где } Fo = \frac{\lambda_{эфф} \tau}{c_1 \rho_1 R^2} - \text{критерий Фурье, } \mu = \int (K)$$

$K = \frac{(\alpha_2 + \beta_2 LB)R}{\lambda_{эфф}}$  - комплекс, аналогичный критерию Био для теплообменных процессов.

Температура жидкости во второй стадии приближается к значению температуры адиабатического испарения, достижение которой считается началом стационарного испарения капли.

Нестандартное испарение жидкости при различных условиях было изучено экспериментально. При помощи самопишущего осциллографа регистрировалась температура в центре нагреваемой смеси, подвешенных на крышке варочного котла. Статистическая обработка результатов дала зависимость

$$\frac{\lambda_{эфф}}{\lambda_1} = 1 \text{ при } Re \leq 500$$

$$\frac{\lambda_{эфф}}{\lambda} = 0,743 + 0,00051 Re \text{ при } Re > 500, \text{ где } Re_2 = \frac{d_k \rho_2 w_2}{\mu_2}$$

Температура поверхности определяется из уравнения (8) при  $r = R$ . Учитывая только первый член суммы, получаем поверхность, не превышающую 1,0 % при  $F_0 > 0,18$ .

Измерения скорости стационарного испарения неподвижных капель воды в интервале температур камеры  $310^\circ < T_1 < 850^\circ \text{C}$  и диаметров капель  $0,8 < \varphi < 3,2$  мм.

Результаты измерений показали, что зависимость скорости испарения от радиуса капли носит нелинейный характер, причем нелинейность увеличивается с ростом  $T_1$  [10]. Обработка опытных данных была проведена в предположении, что тепло, затрачиваемое на испарение, подводится к поверхности капли только теплопроводностью и излучением и может быть записано в виде:

$$Q_{\text{исп}} = \lambda q = Q_m + Q_n, \quad (10)$$

причем первый член

$$Q_m = 4\pi r^2 \lambda_0 \left( \frac{dT}{dr} \right)_{r=r} = \lambda \cdot A(T_1) \cdot r, \quad (11)$$

т.к. решение уравнения теплопроводности приводит к  
второй член  $\frac{dT}{dr} \sim \frac{1}{r}$ ;

$$Q_n = 4\pi r^2 \cdot \varepsilon_k C \cdot \delta [T_1^4 - T_0^4] \cdot f(R) = \varepsilon_k \cdot \lambda \cdot B(T_1) \cdot r^2 \quad (12)$$

На основании этого скорость испарения была представлена в виде

$$q = A(T_1) \cdot r + \varepsilon_k \cdot B(T_1) \cdot r^2 \quad (13)$$

Было проведено определение  $A(T_1)$  и  $B(T_1)$  из опытных данных по зависимости  $q(r)$  при  $T_1 = \text{const}$  (11) и показано, что значение коэффициента  $B(T_1)$ , вычисленное по //, с учетом падения плотности потока излучения в камере вследствие

увеличения прозрачности кварцевых окон с ростом температуры в пределах ошибок опыта совпадает со значениями  $B(T_1)$ , определенными из опытных данных (12).

Таким образом, нестационарность температур нужно учитывать при расчете таких процессов, где скорость обновления поверхности контакта соизмерима с периодом нестационарного испарения.

Увеличение эффективной теплопроводности в каплях за счет циркуляционных потоков наблюдалось только при  $Re_2 > 500$ .

Условные обозначения  $T$  - температура;  $p$  - парциальное давление паров испаряемого вещества;  $L$  - теплота парообразования;  $\rho$  — плотность фазы;  $c$  — удельная теплоемкость фазы;  $\mu$  - коэффициент вязкости;  $X$  - коэффициент теплопроводности вещества;  $\alpha$  - коэффициент температуропроводности;  $D$  - коэффициент молекулярной диффузии;  $r$  - текущий радиус (координаты);  $R$  - радиус капли;  $r_0$  - координаты;  $t$  - время,  $dK$  - диаметр капли;  $AB$  - постоянные.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Лыков А.В. Теория теплопроводности. - М: Высшая школа, 1967. - 600 с.
2. Кутателадзе С.С. Гидродинамика газожидкостных систем. - М.: Энергия, 1976.-296 с.
3. Гельперин Н.И. Основы техники псевдооживления. - М.: Химия, 1967. - 664 с.

### Түйіндемe

*Вихрлі жылыу агыны кезінде, тұрақсыз процесте, фаза аралық беттегі элементтер қалыптасқаннан кейін, жылулық қарсылықтарының фазалардың үстіңгі қабатынан тереңіне тарату байланысуын ерекшелуге болады. Бу түзілудің жылдамдық градиенттерінің үлкен мәндері кинетикалық коэффициенттері бойынша есепке алынатын, заттың фазалық және жылулық ауысымының кедергілерімен анықталады. Температураларының тұрақсыздығын байланысуын, жанасу беттерінің жаңару жылдамдығы буланудың тұрақсыз аралығымен мөлшерлес есептеуінде есепке алу керек. Циркуляциялық агындар арқасында тамшылардағы тиімді жылыу өткізу қабілеттілік тек қана  $Re_2 > 500$  дің шамасында байқалады.*

### Resume

*In a nonstationary process, the vortex heat flow, following the formation of an interface element can be distinguished from the propagation of thermal perturbation of the contact surface to a depth phases. At high level of gradients, the evaporation's rate determined by a resistance of the phase transition of matter and heat, which takes into account the kinetic coefficients. Transient temperature must be considered in the calculation of such processes, where the rate of renewal of the contact surface is commensurate with the period of unsteady evaporation. The increase in the effective thermal conductivity in the droplets by the circulation flow was observed only for  $Re_2 > 500$ .*

### НАШИ АВТОРЫ

**Бергузинов Асхат Нурланович** - Павлодарский государственный университет им. С.Торайгырова.

**Глухова Н.И.** - ст. преподаватель, кафедра РТ и ТК, Павлодарский государственный университет им. С.Торайгырова.

**Говорун О.В.** - к.т.н., доцент, ТОО ПавлодарТехЭнерго».

**Говорун Д.В.** - инженер, Аксуский завод ферросплавов ОАО ТНК «Казхром».

**Джексебинов Дамир Жанатбекович** – инженер ТНИЛИПТЭК, АИЭС.

**Дюсенов К.М.** - Павлодарский государственный университет им. С. Торайгырова.

**Жайлаубаев Ж.Д.** - к.т.н., Семейский филиал ТОО «Казахский научно-исследовательский институт переработки сельскохозяйственной продукции».

**Жаутиков Бахыт Ахатович** - д.т.н., профессор, декан факультета энергетики, связи и автоматизации, Карагандинский государственный технический университет

**Жумагазин Бураш Абилович** - ст. преподаватель, кафедра «Электроника», Алматинский институт энергетики и связи.

**Игонин С.И.** - к.ф.-м.н., доцент кафедры общей и теоретической физики, Павлодарский государственный университет им. С.Торайгырова.

**Исаев Султанбек Сансызбаевич** – к.т.н., доцент, кафедра «Электроэнергетика», Павлодарский государственный университет им. С. Торайгырова.

**Итыбаева Галия Тулубаева** – ст. преподаватель, кафедра машиностроения и стандартизации, факультет металлургии, машиностроения и транспорта, Павлодарский государственный университет им. С. Торайгырова.

**Кадкина Т.Г.** - магистрант, кафедра «Электроэнергетика», Павлодарский государственный университет им. С. Торайгырова.

**Касенов Асылбек Жумабекович** – ст. преподаватель, кафедра машиностроения и стандартизации, факультет металлургии, машиностроения и транспорта, Павлодарский государственный университет им. С. Торайгырова.

**Кислов Александр Петрович** - Павлодарский государственный университет им. С.Торайгырова.

**Козориз Сергей Евгеньевич** – доцент, кафедра «Машиностроение и строительство», Евразийский Инновационный университет.

**Колесник Алексей Васильевич** - магистрант, Карагандинский государственный технический университет.

**Кривко Л.И.** - ст. преподаватель, кафедра РТ и ТК, Павлодарский государственный университет имени С. Торайгырова.

**Кунцевич М.В.** - магистрант, кафедра «Электроэнергетика», Павлодарский государственный университет им. С. Торайгырова.

**Марасулов Абдурахим Мустафаевич** – к.ф.-м.н., доцент, кафедра «Высшей математики», Международный Казахско-Турецкий университет имени Х.А.Яссави, г. Туркестан.

**Мендыбаев С.А.** - к.т.н., профессор, кафедра АиУ, Павлодарский государственный университет имени С. Торайгырова.

**Молдагалиев Арман Бердибекович** – к.т.н., ст. преподаватель, кафедра «Прикладная механика» ЮКГУ им. М. Ауезова, г. Шымкент.

**Мусина Жанара Керейовна** – ст. преподаватель, кафедра машиностроения и стандартизации, факультет металлургии, машиностроения и транспорта, Павлодарский государственный университет имени С. Торайгырова.

**Мустафина Раиса Мухаметжаровна** – к.т.н., профессор, кафедра «Радиотехника и телекоммуникации», Павлодарский государственный университет им. С.Торайгырова.

**Окас Курманулы** - доцент, Евразийский национальный университет им. Г.Н. Гумилева, г. Астана.

**Пархоменко Виталий Иванович** - к.т.н., профессор, кафедра «Транспортная техника и логистика», Павлодарский государственный университет имени С. Торайгырова.

**Сулейменов Улаибатор Сейтказиевич** – д.т.н., профессор, кафедра «Архитектура и дизайн», ЮКГУ им. М. Ауезова, г. Шымкент.

**Таткеева Галина Галимзяновна** – к.т.н., доцент, заведующий кафедрой энергетики, Карагандинский государственный технический университет.

**Тохтибакиев Кармель Камирович** – доцент, к.т.н., кафедра «ЭССиС» Алматинский институт энергетики и связи.

**Хацевский Константин Владимирович** – к.т.н., доцент кафедры «Электроснабжение промышленных предприятий» Омский государственный технический университет.

**Шарипов Ниль Халыфович** - к.т.н., доцент, заведующий кафедрой РАиОТ, Карагандинский государственный технический университет.

## ПРАВИЛА ДЛЯ АВТОРОВ

(“Вестник ПГУ”, “Наука и техника Казахстана”,  
“Өлкетану-Краеведение”)

1. В журналы принимаются рукописи статей по всем научным направлениям в 1 экземпляре, набранные на компьютере, напечатанные на одной стороне листа с полуторным межстрочным интервалом, с полями 3 см со всех сторон листа и дискета со всеми материалами в текстовом редакторе “Word 7,0 (‘97, 2000) для Windows”.

2. Общий объем рукописи, включая аннотацию, литературу, таблицы и рисунки, не должен превышать **8-10 страниц**.

3. Статья должна сопровождаться рецензией доктора или кандидата наук для авторов, не имеющих ученой степени.

4. Статьи должны быть оформлены в строгом соответствии со следующими правилами: - УДК по таблицам универсальной десятичной классификации;

- название статьи: кегль -14 пунктов, гарнитура - **Times New Roman Cyr** (для русского, английского и немецкого языков), **KZ Times New Roman** (для казахского языка), заглавные, жирные, абзац центрованный;

- инициалы и фамилия(-и) автора(-ов), полное название учреждения: кегль - 12 пунктов, гарнитура - Arial (для русского, английского и немецкого языков), KZ Arial (для казахского языка), абзац центрованный;

- аннотация на казахском, русском и английском языках: кегль - 10 пунктов, гарнитура - Times New Roman (для русского, английского и немецкого языков), KZ Times New Roman (для казахского языка), курсив, отступ слева-справа - 1 см, одинарный межстрочный интервал;

- текст статьи: кегль - 12 пунктов, гарнитура - Times New Roman (для русского, английского и немецкого языков), KZ Times New Roman (для казахского языка), полуторный межстрочный интервал;

- список использованной литературы (ссылки и примечания в рукописи обозначаются сквозной нумерацией и заключаются в квадратные скобки). Список литературы должен быть оформлен в соответствии с ГОСТ 7.1-84.-

**например:**

### ЛИТЕРАТУРА

1. Автор. Название статьи // Название журнала. Год издания. Том (например, Т.26.) номер (например, № 3.) страница (например С. 34. или С. 15-24.)

2. Андреева С.А. Название книги. Место издания (например, М.:) Издательство (например, Наука,) год издания. Общее число страниц в книге (например, 239 с.) или конкретная страница (например, С. 67.)

**На отдельной странице** (в бумажном и электронном варианте) приводятся сведения об авторе: - Ф.И.О. полностью, ученая степень и ученое звание, место работы (для публикации в разделе “Наши авторы”);

- полные почтовые адреса, номера служебного и домашнего телефонов, E-mail (для связи редакции с авторами, не публикуются);

- название статьи и фамилия (-и) автора(-ов) на казахском, русском и английском языках (для “Содержания”).

4. Иллюстрации. Перечень рисунков и подрисовочные надписи к ним представляют по тексту статьи. В электронной версии рисунки и иллюстрации представляются в формате TIF или JPG с разрешением не менее 300 dpi.

5. Математические формулы должны быть набраны как Microsoft Equation (каждая формула - один объект).

6. Автор просматривает и визирует гранки статьи и несет ответственность за содержание статьи.

7. Редакция не занимается литературной и стилистической обработкой статьи. Рукописи и дискеты не возвращаются. Статьи, оформленные с нарушением требований, к публикации не принимаются и возвращаются авторам.

8. Рукопись и дискету с материалами следует направлять по адресу:  
140008, Республика Казахстан, г. Павлодар, ул. Ломова, 64,

Павлодарский государственный университет  
им. С.Торайгырова,

Издательство «КЕРЕКУ»

Тел (8 7182) 67-36-69

E-mail: [publish@psu.kz](mailto:publish@psu.kz)

Теруге 21.05.2010ж. жіберілді. Басуға 04.06.2010 ж. қол қойылды.  
Форматы 70x100 1/16. Кітап-журнал қағазы.  
Көлемі шартты 6,97 б.т. Таралымы 300 дана. Бағасы келісім бойынша.  
Компьютерде беттеген М.Б. Рахимова  
Корректорлар: Г.Т. Ежиханова, Б.В. Нұрғожина  
Тапсырыс № 1414  
Сдано в набор 21.05.2010 г. Подписано в печать 04.06.2010 г.  
Формат 70x100 1/16. Бумага книжно-журнальная.  
Объем 6,97 ч.-изд. л. Тираж 300 экз. Цена договорная.  
Компьютерная верстка М.Б. Рахимова  
Корректоры: Г.Т. Ежиханова, Б.В. Нургожина  
Заказ № 1414

«КЕРЕКУ» баспасы  
С. Торайғыров атындағы  
Павлодар мемлекеттік университеті  
140008, Павлодар қ., Ломов к., 64, 137 каб.  
67-36-69  
E-mail: [publish@psu.kz](mailto:publish@psu.kz)