

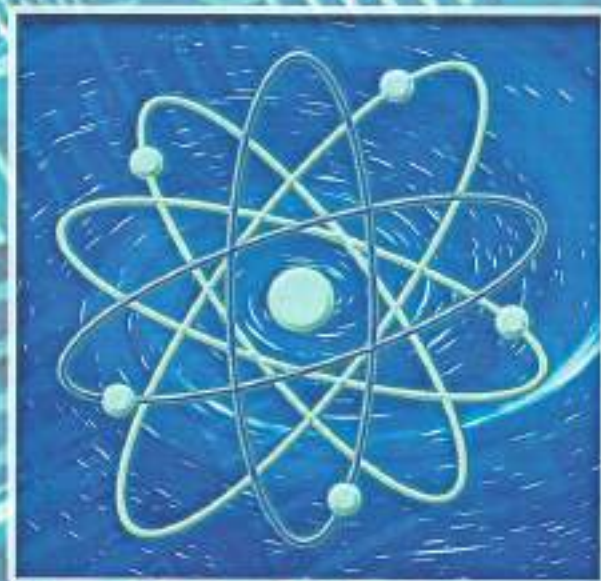
# НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ

ПАВЛОДАРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ им.С.ТОРАЙТЫРОВА



# 2'2004

## НАУКА И ТЕХНИКА КАЗАХСТАНА



КАЗАХСТАН  
ҒЫЛЫМЫ МЕН ТЕХНИКАСЫ

МАЗМҰНЫ

*Д.О. Байбжанов, Е.Т. Кошербаев, И.Ж. Ізбасарова*  
Көмір өнеркәсібі қалдықтарының негізінде құрылыс материалдарын алу ..... 6

*К.Т. Баубеков*  
Отынды екі сатылы тәртірге жаңдыруда максималді жылу бөліп шығару зонасында температураның өсетуінің кейбір көзқарастары ..... 10

*К.А. Бисенов, С.С. Удербасев*  
Қызылорда облысы жағдайында арбониттік құрылыс материалдары бұйымдарын шығару өндіріс орнының құрылуы жөнінде ..... 18

*Ф.К. Бойко, Е.В. Птицына*  
Курделі турдегі тозған қоректенетін электролиздік және газрезервтік электротехнологиялық қондырғылардың молділік үлгілері ..... 24

*А.Н. Гордіенко, Г.Е. Ибрагимова*  
Тракторларда гидравликалық муфтаары қолдану мәселесіне ..... 32

*А.Н. Гордіенко*  
Бойлық жырашықты сырттану подшипниктерінің атқаратын қабілеті ..... 57

*В.И. Данилов, М.Э. Дашилова, А.К. Марданов*  
Қазіргі кезеңдегі тұрғылықты қордың жөндеуі ..... 62

*А. Жураев, А. Мүкімов*  
Сызықсыз қаталдықты дiрiлiзiялiяторы жүйесiнiң ерiксiз тербелуі ..... 67

**РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ**

Кадысова Р.Ж., к.и.н., доц. (*главный редактор*)  
 Утегулов Б.Б., д.т.н., проф. (*зам. гл. редактора*)  
 Ельмуратова А.Ф., к.т.н., доц. (*отв. секретарь*)  
 Члены редакционной коллегии:  
 Бойко Ф.К., д.т.н., проф.  
 Газалиев А.М., д.х.н., проф., член-корр. НАН РК  
 Гамарнюк Г.Н., д.т.н., проф.  
 Глазырин А.И., д.т.н., проф.  
 Дауксес Г.Ж., к.т.н., проф.  
 Ергожин В.Е., д.х.н., проф., академик НАН РК  
 Кислов А.П., к.т.н., доц.  
 Клецель М.Я., д.т.н., проф.  
 Кудерин М.К., к.т.н., доц.  
 Мансуров З.А., д.х.н., проф.  
 Мурзагулова К.Б., д.х.н., проф.  
 Пивень Г.Г., д.т.н., проф.  
 Сагинов А.С., д.т.н., проф., академик НАН РК  
 Сулеев Д.К., к.т.н., проф.  
 Сейтахметова Г.Н. (*тех. редактор*)

Адрес редакции:  
 637034, г. Павлодар,  
 ул. Ломова, 64.  
 Тел.: (3182) 45-11-43  
 (3182) 45-38-60  
 Факс: (3182) 45-11-23  
 E-mail: publish@psu.kz  
 nauka@psu.kz

# ҚАЗАҚСТАН ҒЫЛЫМЫ МЕН ТЕХНИКАСЫ

№ 2, 2004

С. ТОРАЙҒЫРОВ АТЫНДАҒЫ ПАВЛОДАР МЕМЛЕКЕТТІК  
УНИВЕРСИТЕТІНІҢ ҒЫЛЫМИ ЖУРНАЛЫ

- С.Қ. Елмуратов, А.Ф. Елмуратова, Н.Т. Жадрасинов*  
Оргропты пластивалардың өртүрлі шеттелген жағдайлардағы күштелген тербелістері ..... 71
- Н.М. Зайцева*  
Нақты емес логиканы қолдану арқылы топырақтың уделді қарсылығын моделдеу ..... 75
- В.А. Кожонов*  
Бұрап қозғалту арқылы трансформты жартылай таулы топырақтың жылжу параметрлерін анықтау ..... 82
- Р.К. Наурызбаев, К.А. Исаков, А.Р. Наурызбаев*  
Ойын шығаруды енгізудің экономикалық бағасы (ҚР № 12371 патент) ..... 89
- В.В. Рыдин*  
Энтрония менін айқындау үшін гидротермодинамикалық аналогияны қолдану ..... 92
- Л.Н. Скоырских*  
Дайын тауар мен тері полуфабрикаттарындағы демодекондық зақымданудың бағалануы ..... 103
- В.М. Степаненко*  
Серпімді пластикалық есептің сандық шешімдеріне арналған айырымдық сұлба ..... 106
- Е.Б. Сұлaimen*  
Болатты жасанды қожбен пешпен тыс тазартуда металл емес кірінділерді шығару ..... 110
- М.М. Сүйіндіқов, М.Ж. Түсіпбекова*  
Қуы қалыбындағы газ түзілудің қуы жүйесіндегі металл ағыны түзіміне әсер ету мүмкіндігі ..... 114
- Ш.К. Торнищев, Ф.Ш. Торнищев, Ж.А. Темербаева, Б.Н. Қабдышев*  
Автоклавсыз газо күлдікбетонның қасиетіне шикізат қоспасы рәткімалды гранулометриясының ықпалы ..... 117
- Б.Б. Өтегұлов, А.Б. Өтегұлов, Д.Б. Өтегұлова, З.Д. Тұрсынбаева, В.В. Ткаченко*  
Тиімді кернеу шығыны туралы түсінікті қолданып, өндірістің электрмен жабдықтау жүйесінің параметрлерін ықшамдау ..... 122
- Б.Б. Өтегұлов, А.Б. Өтегұлов, Д.Б. Өтегұлова, З.Д. Тұрсынбаева, В.В. Ткаченко*  
Электрожабдықтау жүйесінің параметрлерін оптимизациялауда желінің экономикалық радиусын анықтау әдісі ..... 126

Издание зарегистрировано Министерством культуры, информации и общественно-го согласия Республики Казахстан. Свидетельство о постановке на учет средства массовой информации №1924-Ж.

# ҚАЗАҚСТАН ҒЫЛЫМЫ МЕН ТЕХНИКАСЫ

С. ТОРАЙҒЫРОВ АТЫНДАҒЫ ПАВЛОДАР МЕМЛЕКЕТТІК  
УНИВЕРСИТЕТІНІҢ ҒЫЛЫМИ ЖУРНАЛЫ

*Э.З. Файзуллаев*

Двигательдердің тозу көрсеткіштері мен  
автопоездардың тарту – жылдамдық қасиетіне  
техникалық параметрлердің ықпалы ..... 130

*С.М. Шәріпов, В.И. Соловьев, Д.О. Бәйдәлінов, Ш.Ж. Қасым*  
Көкшетау өңіріндегі тау жыныстарының табиғи  
радиоактивтілігін зерттеу ..... 134

*М. Эргалиев, А.Жұраев, З.М. Құрбанова, М.М. Салимова*  
Үш пекіпке әперетін механизмдердің қайысын тарту  
өсебінен ..... 144

Біздің авторлар ..... 153

## СОДЕРЖАНИЕ

<i>Д.О. Байджанов, Е.Т. Кучербаев, И.Ж. Избасарова</i> Получение строительных материалов на основе отходов угольной промышленности.....	6
<i>К.Т. Баубекоев</i> О некоторых аспектах расчета температуры в зоне максимального тепловыделения при двухступенчатом сжигании топлива .....	10
<i>К.А. Бисенов, С.С. Увербаев</i> О создании производства по выпуску строительного материала – арболитовых изделий – в условиях Кызылординской области .....	18
<i>Ф.К. Бойко, Е.В. Птицына</i> Модельные представления электродизных и газоразрядных электротехнологических установок с питанием током сложной формы .....	24
<i>А.Н. Гордиченко, Г.Е. Ибрагимова</i> К вопросу применения на тракторах гидродинамических муфт .....	32
<i>А.Н. Гордиченко</i> Несущая способность подшипников скольжения с продольными канавками .....	57
<i>В.И. Данилов, М.Э. Данилова, А.К. Марданов</i> Реконструкция жилищного фонда на современном этапе .....	62
<i>А. Джусраев, А. Мухимов</i> Вынужденные колебания системы с нелинейной жесткостью виброизолятора .....	67
<i>С.К. Ельмуратов, А.Ф. Ельмуратова, Н.Т. Жадрасинов</i> Вынужденные колебания ортотропных пластин при различных граничных условиях .....	71
<i>Н.М. Зайцева</i> Моделирование удельного сопротивления грунта с применением нечеткой логики .....	75
<i>В.А. Козмонов</i> Определение параметров ползучести транзитных полускальных грунтов при сдвиге кручением .....	82
<i>Р.К. Наурызбаев, К.А. Исаков, А.Р. Наурызбаев</i> Экономическая оценка внедрения изобретения (Патент № 12371 РК) .....	89

Корректоры:

К.С. Ергалиев (kaz.)  
А.Б. Садвокасова (rus.)Компьютерная верстка  
Ю.В. Ефремов

© ПГУ им. С. Торайгырова

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 не возвращаются.

При использовании материалов журнала ссылка на «Науку и технику Казахстана» обязательна.

*В.В. Рындин*

Использование гидротермодинамической аналогии для пояснения смысла энтропии ..... 92

*Л.Н. Скосырских*

Оценка демодерозных повреждений в кожевенном полуфабрикате и готовом товаре ..... 103

*В.М. Степанов*

Разностная схема для численного решения упруго-пластической задачи ..... 106

*Е.Б. Сулеймен*

Удаление неметаллических включений при выпечном рафинировании стали синтетическим шлаком ..... 110

*М.М. Сюндиков, М.Ж. Тусунбекова*

Возможности влияния газообразования в литевой форме на режим течения металла в литниковой системе ..... 114

*Ш.К. Торпищев, Ф.Ш. Торпищев, Ж.А. Темербаева, Б.Н. Кабдышева*

Влияние рациональной гранулометрии сырьевой смеси на свойства безавтоклавного газозолотошлакобетона .... 117

*Б.Б. Утегулов, А.Б. Утегулов, Д.Б. Утегулова,*

*З.Д. Гурсымбаева, В.В. Ткаченко*

Оптимизация параметров систем электроснабжения предприятий с использованием понятия об оптимальной потере напряжения ..... 122

*Б.Б. Утегулов, А.Б. Утегулов, Д.Б. Утегулова,*

*З.Д. Гурсымбаева, В.В. Ткаченко*

Метод определения экономического радиуса сети при оптимизации параметров системы электроснабжения ..... 126

*Э.З. Файзуллаев*

Влияние технических параметров на показатели износа двигателя и тягово-скоростных свойств автопоезда ..... 130

*С.М. Шарипов, В.И. Соловьёв, Д.О. Байджанов,*

*А.М. Васильев, Ш.Ж. Касым*

Исследование естественной радиоактивности горных пород Кокшетауского региона ..... 134

*М. Эргашов, А.Жураев, З.М. Курбанова, М.М. Салимова*

К расчету натяжения ремня передаточных механизмов стремя пилками ..... 144

Наши авторы ..... 153

УДК 666.97

## ПОЛУЧЕНИЕ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ ОТХОДОВ УГОЛЬНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Д.О. Байджанов, Е.Т. Кучербаев, И.Ж. Избасарова

*Карагандинский государственный технический университет  
им. Е.А. Букетова*

*Бұл мақалада көмір өндірісі қалдықтарынан алуғағын зерттеулер  
нәтижелері қарастырылған*

*В данной статье рассматривается исследование и эффективность  
получения строительных материалов на основе отходов угольной  
промышленности*

*There are research and efficiency of reception of building materials is  
considered on the basis of waste products of the coal industry in given article*

Около 80% стен зданий и сооружений в Республике Казахстан возводятся из стеновых бетонных камней и керамических изделий. Радикальная экономическая реформа, проводимая в нашей Республике, требует не просто обеспечить рост выпуска стеновых материалов, а непременно на здоровой экономической основе.

Основным направлением технического перевооружения отрасли является широкое вовлечение в сферу производства отходов и побочных продуктов промышленности, создание новых ресурсо- и энергосберегающих технологий [1].

Эффективность производства стеновых материалов определяется основными факторами: прогрессивной технологией производства, качеством исходного сырья и технологическим уровнем оборудования.

В данной работе исследовались горелые породы Карагандинской области с целью получения стеновых материалов путем прессования под высоким давлением – гиперпрессования без последующего обжига. В качестве вяжущего использовали шлакопортландцемент Карагандинского цементного завода. В качестве заполнителя применялась дробле-

ная горелая порода. Для улучшения пластичности смесей, снижения водопотребности при затворении вяжущего вещества, увеличения конечных прочностных характеристик, морозостойкости готовых изделий использовали химические добавки: полифункциональный модификатор бетона ПФМ-НЛК (ТУ 2493-010-04786546-2001); динамикс (ТУ 5870-001-58042865-03); суперпластификатор С-3 (ТУ 5870-002-58042865-03).

Горелые породы представлены обломками аргиллитовых пород размером обломков от 1,0 до 5,0 см с большим количеством более тонкого обломочного материала, а также мелких зерен негоревшего угля, которые составляют примерно 2–3% от объема тонкообломочного материала породы. Цвет материала, в основном, светлый серо-кирпичный. На редких обломках встречаются налеты натечных образований гидроокислов железа.

Таблица 1

## Минеральный состав горелых пород в процентах

Наименование материала	Проба № 1	Проба №2	Наименование материала	Проба № 1	Проба №2
Мушлит $3Al_2O_3 \cdot 2SiO_2$	28,0	25,0	Кальцит $CaO$	1,0	1,0
Кристаллит $SiO_2$	20,0	20,0	Гематит $Fe_2O_3$	6,0	10,0
Опал $SiO_2$ и $H_2O$	4,0	4,0	Гипс $CaSO_4 \cdot 2H_2O$	<1,0	2,0
Кварц $SiO_2$	20,0	14,0	Угlistое вещество	0,5	<0,5
Альбит $Na_2O \cdot Al_2O_3 \cdot 6H_2O$	15,0	20,0	Итого:	<b>95,0</b>	<b>96,25</b>

Основные свойства горелых пород – заполнителей, определенных по соответствующим ГОСТам приведены в таблице 2.

Таблица 2

## Физические свойства горелой породы

Фракция, мм	Плотность, $кг/м^3$	Насыпная плотность, $кг/м^3$	Пустотность, %	Водопоглощение, %	Влажность, %	Загрязненность, %
0...5	2770	1250	35,1	2,7	1	2

Одним из важнейших условий повышения качества и долговечности стеновых камней и создания устойчивых технологических параметров является подбор оптимального состава, обеспечивающий интенсификацию производства, постоянство состава и влажности формовочной массы.

Прочность стеновых камней, получаемых гиперпрессованием по безобжиговой технологии зависит от многих факторов: активности вяжущего



щего, расхода вяжущего, качества заполнителей, интенсивности прессования смеси, условий твердения и др. [2].

Оптимальные составы формовочных масс (шихты) выбирались по результатам испытания контрольных образцов-цилиндров диаметром и высотой 70 мм.

Образцы прессовались в специальной форме с помощью пуансона на гидравлическом прессе. Отформованные образцы твердели на воздухе при температуре  $20 \pm 20^\circ\text{C}$  и влажности среды 70–90%. После чего образцы подвергались испытаниям в возрасте 28 суток. Определялась прочность при сжатии, плотность, коэффициент сжимаемости. По результатам определения прочности при сжатии устанавливалась марка полученных стеновых материалов. Составы формовочных масс и результаты испытания контрольных образцов приведены в табл. 3.

Таблица 3

## Физико-механические свойства стеновых материалов

Состав смеси, %	Объем смеси перед прессов., $\text{см}^3$	Объем образца после прессов., $\text{см}^3$	Коэф-т сжимаемости, $K_{\text{см}}$	Плотность образца, $\text{г}/\text{см}^3$	Марка получ. материала
1	2	3	4	5	6
1. Цемент-20, горелая порода-80	597	270	2,21	2,56	200
2. Цемент-20, горелая порода-79, ПФМ-НПК-0,7	519	265	1,96	2,26	300
3. Цемент-20, горелая порода-79, С-3-0,7	500	255	1,85	2,00	300
4. Цемент-20, горелая порода-79, Лишамикс-0,4	510	260	1,90	2,14	400

Исследовалась возможность использования горелых пород в качестве крупного заполнителя в тяжелых бетонах. Основная задача при определении состава бетона – найти оптимальное соотношение между его компонентами которое обеспечивает заданные свойства бетона и бетонной смеси при минимальном расходе вяжущего [1].

Принятый состав бетона должен обеспечить следующие показатели:

- удобоукладываемость или подвижность бетонной смеси;
- заданную прочность к определенному сроку твердения;
- однородность и отсутствие расслоения бетонной смеси.

Для наблюдения роста прочности бетона во времени формовались образцы – кубы с размером ребра 10 см, которые уплотнились на лабораторной площадке. Образцы твердели в естественных условиях в течении 28 суток, а затем подвергались испытаниям на гидравлическом прессе. Определялась прочность при сжатии. Результаты испытаний приведены в таблице 4.

Были проработаны смеси различные по виду и расходу химических добавок. Стояла задача подобрать пластичные оптимальные смеси с осадкой стандартного конуса – 4...6 см.

Таблица 4

## Составы и свойства бетонов

Состав смеси, кг/м <sup>3</sup>	Консистенция, О.К. смеси, см	Прочность при сжатии, МПа	Марка материала
1	2	3	4
1. Цемент – 420, ПГС – 760, Щебень – 956, Вода – 200	4	192	200
2. Цемент – 420, ПГС – 760, Гор. порода – 737, вода – 200	4	187	200
3. Цемент – 420, ПГС – 760, Гор. порода – 737, вода – 180, ПФМ-НЛК – 2,8	5	291	300
4. Цемент – 420, ПГС – 760, Гор. порода – 737, вода – 170, С-3 – 2,8	6	304	300
5. Цемент – 420, ПГС – 760, Гор. порода – 737, вода – 175, Динамикс – 1,7	5	397	400

Запасы горелой породы измеряются десятками миллионов тонн, что представляет неисчерпаемую дешевую сырьевую базу для получения стеновых материалов.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Баженов Ю.М., Горчаков Г.И. Строительные материалы. – М.: Стройиздат, 1986. – 586 с.
2. Волженский А.В., Буров Ю.С., Виноградов Б.Н., Гладких К.В. Бетоны и изделия из шлаковых и зольных материалов. – М.: Стройиздат, 1979. – 392 с.

УДК 621.182.23.001.42

## О НЕКОТОРЫХ АСПЕКТАХ РАСЧЕТА ТЕМПЕРАТУРЫ В ЗОНЕ МАКСИМАЛЬНОГО ТЕПЛО ВЫДЕЛЕНИЯ ПРИ ДВУХСТУПЕНЧАТОМ СЖИГАНИИ ТОПЛИВА

К.Т. Баубеков

Павлодарский государственный университет  
им. С. Торайгырова

*ТГМ-94 қазаның жануын зондпен тексеру кезінде төменгі қатардағы газдың жану шілтелеріне (бір сатылы тәртіптен екі сатылы газдың жану тәртібіне өткенде) артық отын берілгенде факелдің температурасы төмендемейтінінің көрсетеді, ал кей кездерде ол көтеріледі, өйтсе де отын жану дәрежесі оттегі шырғыртың кемуіне байланысты азаяды. Бірақ орындалған жылу техникалық есебі көрсеткендей бұл кубылыс аномальды емес, дегенмен барлық кезде түсінікті бола бермейді.*

*Результаты зондирования топки котла ТГМ-94 показали, что (при переходе с одно- на двухступенчатый режим сжигания газа) на нижних ярусах горелок, куда подается избыток топлива, температура факела не снижается, а в отдельных случаях даже возрастает, хотя степень выгорания топлива уменьшается вследствие снижения концентрации кислорода. Однако, как показали выполненные теплотехнические расчеты, это явление не является аномальным, хотя не всегда представляется понятным.*

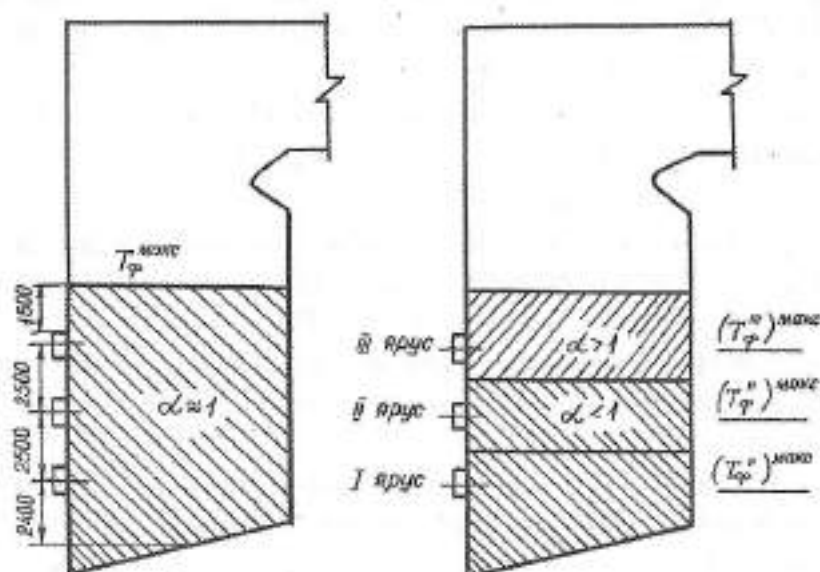
*The results of the boiler's furnace TGM-94 exploring has shown, that when the regime of the gas burning is changed from the one to the two staged regime in the lower tiers of the burners, where the surplus of the fuel is given, the temperature of the torch does not decrease, and even increases, in some cases, although the degree of the fuel's destroying of fire decreases owing to the concentration of the oxygen lowers. However, this phenomenon (as the executed thermal technical calculation has show) represents as a clear one.*

Зондирование газового факела показало [1], что в восстановительной зоне (в условиях сжигания с  $\alpha < 1$ ) не происходит интенсивного образования NO даже в высокотемпературных зонах. В то же время продукты

неполного сгорания целесообразно дожигать в окислительной среде (в условиях сжигания с  $\alpha > 1$ ) при более низких температурах, так как эта зона является основным «поставщиком»  $\text{NO}_x$  при одноступенчатом сжигании топлива.

Результаты зондирования показывают также, что при сжигании такого высокорекреакционного топлива, как природный газ, в топке котла ТГМ-94 происходит более быстрое его выгорание и более быстрое достижение максимальной температуры, чем обычно представлялось. Причем высокотемпературная зона находится примерно на уровне оси каждого яруса горелок. При переходе с одно- на двухступенчатый режим сжигания газа на нижних ярусах горелок, куда подается избыток топлива ( $\sim 14\%$ ), температура факела не снижается (или даже несколько возрастает), хотя степень выгорания топлива уменьшается вследствие снижения концентрации  $\text{O}_2$ . Однако, это явление не является аномальным [2,3], хотя не всегда представляется понятным. Для объяснения этого факта выполним следующие допущения.

Учитывая, что зону максимального тепловыделения (которая при одноступенчатом сжигании принимается от подового экрана до сечения, расположенного на 1,5 м выше верхних образующих амбразур верхнего яруса горелок [4], можно условно разделить на восстановительную (от



а) при одноступенчатом сжигании

б) при разработанном способе ступенчатого сжигания

Рис.1. Схемы зондырования в топке

подового экрана до сечения, расположенного между II и III ярусами горелок) и окислительную (от сечения между II и III ярусами горелок до сечения, расположенного на 1,5 м выше верхних образующих амбразур верхнего яруса горелок) подзоны (рис. 1), то, не противореча уравнению энергии, которое для установившегося состояния определяет связь между тепловыделением и теплообменом в отдельных зонах топочной камеры, можно рассчитать температуру газов в каждой подзоне, исходя из тепловыделения, изменения энтальпии продуктов сгорания и теплоотвода в ней. При этом в восстановительной подзоне находятся 2 яруса горелок (рис. 1, б). Примем для приближенного расчета температуры II (средний) ярус горелок (в этом случае можно в первом приближении пренебречь взаимным переизлучением на ярусах).

В соответствии с [4] температуру продуктов сгорания (на выходе из зоны максимального тепловыделения при сжигании природного газа в топке без рециркуляции) можно рассчитать методом последовательных приближений по уравнению:

$$T_{\phi}^{max} = \frac{\beta_{ox} Q_{ox}^p + Q_b}{(V_c)^s} - \frac{5,76 \cdot 10^{-11} \cdot a_m (T^s)^4 \psi \cdot F}{B_p (V_c)^s} + 273, \quad (1)$$

где  $\beta_{ox}$  – степень выгорания, характеризующая долю топлива, сгоревшего в рассматриваемой зоне, выбирается по рекомендациям [4];

$Q_b$  – количества тепла, вводимые в топку с воздухом, кДж/кг;

$(V_c)^s$  – средняя суммарная теплоемкость продуктов сгорания 1 кг топлива, кДж/(кг·К), при  $T^s$  и  $a_m$ ;

$\psi F$  – произведение коэффициента эффективности на суммарную поверхность, ограничивающую зону:  $\psi F = F_{cp} \psi_{cp} + \psi' F_{c1} + \psi'' F_{c2}$ ;

$F$  – поверхность стен зоны, м<sup>2</sup>;

$\psi_{cp}$  – средний коэффициент тепловой эффективности стен зоны;

$F_{c1}$ ,  $F_{c2}$  – сечение топочной камеры, ограничивающие зону сверху и снизу, м<sup>2</sup>;

$\psi'$  – коэффициент, характеризующий отдачу тепла излучением в вышерасположенную зону, принимается равным 0,1 для топок работающих на газе;

$\psi''$  – коэффициент, характеризующий отдачу тепла излучением в сторону пода топки или холодной воронки, принимается равным коэффициенту  $\psi_{cp}$ ;

$a_m$  – степень черноты топки в зоне максимального тепловыделения.

Значения  $a_m$  и  $a_p$  рассчитываем по рекомендациям [4] на основе данных

газового анализа, используя измеренные значения температуры факела. При этом вместо температуры на выходе из топки подставляем измеренную температуру в данной точке зондирования.

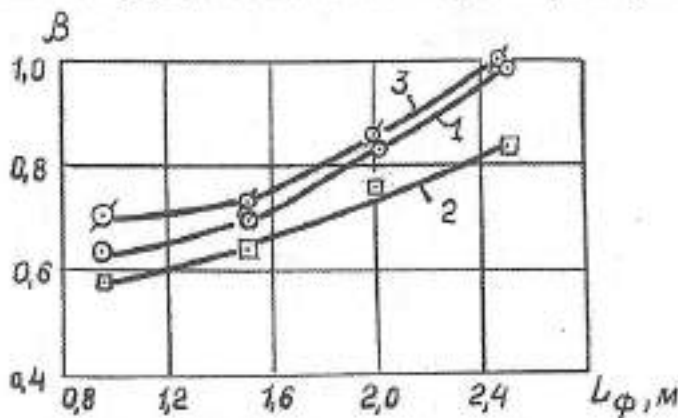
На рис. 2 и показаны изменения степени выгорания топлива по длине факела при одно- и двухступенчатом сжигании, а на рис. 3 а и в табл. 1 – значения располагаемого тепла ( $Q_{расч} = \beta Q_{г}^f + Q_{г}$ ). Видно, что снижение  $\beta$  приводит к снижению  $Q_{расч}$ , а значит и  $T_{ф}$ .

На рис. 4 показано изменение объема дымовых газов ( $V_{г}$ ) по длине факела в режимах одно- и двухступенчатого сжигания (расчеты  $V_{г}$  см. в табл. 2). В интересующем нас режиме (нижний ярус горелок,  $\alpha_2 < 1$ ) при двухступенчатом сжигании  $V_{г}$  меньше, чем при одноступенчатом. Это значит, что при прочих равных условиях уменьшение  $V_{г}$  должно привести к повышению температуры факела  $T_{ф}$ . И наоборот, на верхнем ярусе горелок ( $\alpha_2 > 1$ ), где  $V_{г}$  увеличивается, температура факела резко понижается.

На рис. 5 показан расход газа по ярусам горелок. Увеличение  $V_{г}$  через нижние I и II ярусы горелок приводит к увеличению  $T_{ф}$  в режиме двухступенчатого сжигания.

Рассмотрим влияние степени черноты топки и степени черноты факела на  $T_{ф}$ .

В табл. 1 представлены результаты расчета (по экспериментальным данным) значений  $a_{ф}$  и  $a_{т}$ . Видно, что при переходе с одно- на двухступенчатое сжигание природного газа степень черноты факела уменьшается в



- 1 – О – одноступенчатый режим  
 2 – □ – двухступенчатый режим (нижний ярус горелок,  $\alpha_2 < 1$ )  
 3 – ◊ – двухступенчатый режим (верхний ярус горелок,  $\alpha_2 > 1$ )

Рис. 2. Изменение степени выгорания топлива по длине газового факела

Таблица 1

Основные результаты расчета  $Q_{расч} (V, \gamma, \alpha)$ 

Величины	Реактивы горючих															
	Одноступенчатый реактив							Двухступенчатый реактив								
	0,95	1,50	2,00	2,50	0,95	1,50	2,00	2,50	0,95	1,50	2,00	2,50	0,95	1,50	2,00	2,50
Расстояние по длине факела $L_f, м$	0,95	1,50	2,00	2,50	0,95	1,50	2,00	2,50	0,95	1,50	2,00	2,50	0,95	1,50	2,00	2,50
То же, в паллах $L_f/a_0$	1,10	1,80	2,40	3,00	1,10	1,80	2,40	3,00	1,10	1,80	2,40	3,00	1,10	1,80	2,40	3,00
Расходное тепло, $Q_{расч} = \beta \cdot Q_0^* + Q_1$ , ккал/м <sup>3</sup>	5957	6417	7523	8742	5473	5973	6901	7660	6474	6659	7700	8854	6474	6659	7700	8854
То же, кДж/м <sup>3</sup>	24960	26888	31521	36628	22932	25029	28917	32096	27125	27903	32265	37101	27125	27903	32265	37101
$(\beta c)^* = V \cdot 0,01 (r_{CO}, C_{H_2} + r_{H_2} C_{H_2O} + r_{H_2} C_{H_2} + r_{CO}, C_{CO} + r_{H_2} C_{H_2} + r_{CO}, C_{CO}), кДж/(кг \cdot K)$	15,62	16,08	17,33	19,34	14,15	15,32	16,16	15,95	18,51	18,80	14,19	18,13	18,51	18,80	14,19	18,13
Степень черноты факела, $a_0$	0,352	0,352	0,369	0,371	0,339	0,345	0,354	0,362	0,337	0,340	0,342	0,333	0,337	0,340	0,342	0,333
Скорость черноты топлива в ЗМТ, $a_f$	0,529	0,537	0,557	0,561	0,520	0,525	0,500	0,500	0,560	0,565	0,563	0,545	0,560	0,565	0,563	0,545
$T_{расч}, K$	1810	1840	1845	1850	1875	1877	1882	1884	1680	1690	1695	1700	1680	1690	1695	1700
$T_{расч} = \left[ \frac{\beta Q_{расч}^* + Q_1}{(Vc)^*} - \frac{5,76 \cdot 10^{-11} \cdot a_0 (\beta c)^*}{B_p (\beta c)^*} \right] \cdot \varphi \beta^* + 273, K$	1650	1700	1800	1875	1685	1715	1820	1935	1455	1465	1745	1745	1455	1465	1745	1745
$a_0^* = \left( \frac{\beta Q_{расч}^* + Q_1}{(Vc)^*} - \beta c^* \right) \times \frac{B_p (\beta c)^*}{5,76 \cdot 10^{-11} (\beta c)^*} \cdot \varphi \beta^*$	0,071	0,118	0,297	0,421	0,018	0,032	0,213	0,467	-0,023	-0,015	0,298	0,255	-0,023	-0,015	0,298	0,255
$T_{расч}^{max} = \left[ \frac{\beta Q_{расч}^* + Q_1}{(Vc)^*} - \frac{5,76 \cdot 10^{-11} \cdot a_0^* (\beta c)^*}{B_p (\beta c)^*} \right] \cdot \varphi \beta^* + 273, K$	1810	1840	1845	1850	1875	1877	1882	1884	1695	1700	1700	1700	1695	1700	1700	1700
Небольшое тепло, $K \Delta T = T_{расч}^{max} - T_{расч}$	-160	-140	-45	+25	-190	-162	-52	-51	-235	-225	-50	-45	-235	-225	-50	-45

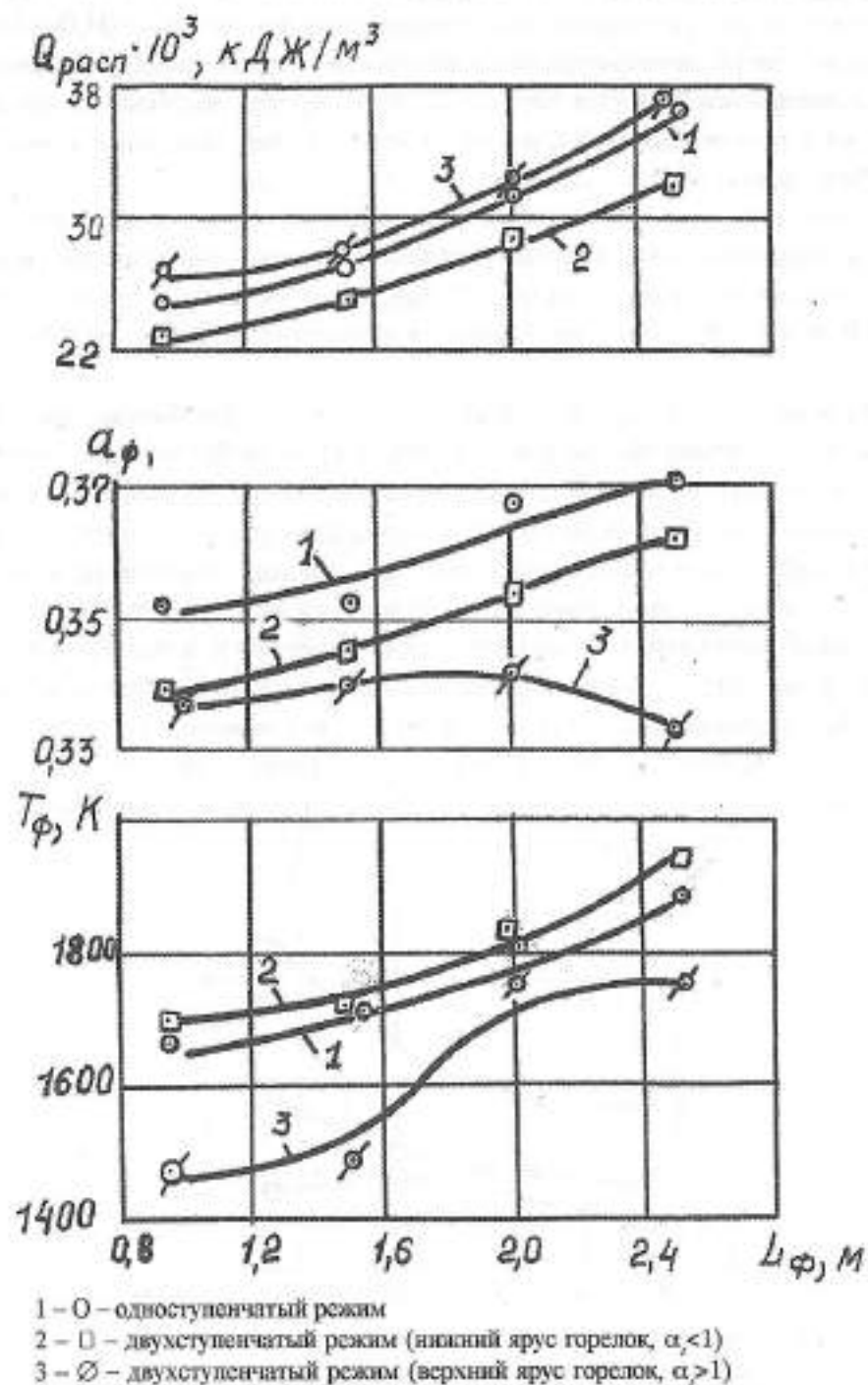


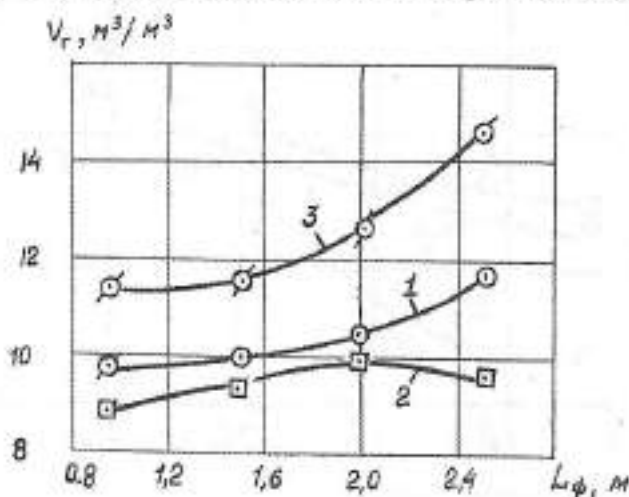
Рис. 3. Изменения по длине газового факела располагаемого топлива (а), степени черноты факела (б) и температуры (в)



основном за счет уменьшения концентраций трехатомных газов ( $H_2O$  и  $CO_2$ ). Как известно [5], температурный уровень в ядре несветящегося факела выше, чем в светящемся. Быстрый рост температуры, которая достигает своего максимума в непосредственной близости от устья горелки, характерен для несветящегося пламени [5].

Таким образом, при переходе с режима одноступенчатого сжигания на двухступенчатый в восстановительной подзоне, несмотря на снижение степени выгорания топлива  $\beta$ , изменения остальных трех величин ( $B_p$ ,  $V_s$  и  $a_p$ ) действует в направлении повышения температуры факела в топке.

Этот вывод подтверждается результатами расчета балансовой температуры по длине факела (табл. 1, рис. 3.в), хотя балансовые температуры оказались ниже измеренных. Небаланс тепла (особенно в начальной части – на расстоянии (1,1–1,8) калибров горелки) получается отрицательный, что не противоречит [6]. Здесь находится развитая зона обратных токов. На расстоянии (2,4–3,0) калибра по длине факела получена удовлетворительная сходимость между измеренной и балансовой температурами (расхождение не более 50К, или 3,0% при погрешности методики измерения  $\pm 2,8\%$ ). Следует полагать, что можно достигнуть и абсолютной сходимости (100%), если  $a_p$  определить обратным ходом при известном  $T_{\phi}^{эм}$ , т.е. отнести небаланс тепла к погрешностям определения  $a_p$ .



- 1 – О – одноступенчатый режим  
 2 – □ – двухступенчатый режим (нижний ярус горелок,  $\alpha < 1$ )  
 3 – О – двухступенчатый режим (верхний ярус горелок,  $\alpha > 1$ )

Рис. 4. Изменение объема продуктов сгорания по длине газового факела

(см.табл. 1).

Таким образом, расчетные значения  $T_{\phi}^{расч}$  удовлетворительно согласуются с измеренными  $T_{\phi}^{изм}$ , что позволяет использовать зависимость (1) и для приближенного расчета температуры на выходе из зоны максимального тепловыделения при двухступенчатом сжигании газа.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Баубеков К.Т. Экспресс-способ сокращения выбросов оксидов азота путем ступенчатого сжигания природного газа в топках котлов // Наука и техника Казахстана. – 2003. – № 3. – С. 99–107.
  2. Продукты сгорания природного газа при высоких температурах (состав и термодинамические свойства) / И.Н. Карпов, Б.С. Сорока, Л.П. Дашевский и др. – Киев: Техника, 1967.
  3. Дьячков Е.Г., Билюва В.А., Нефедова М.Г. Эффективность топливно-энергетических процессов. – М.: Энергоатомиздат, 1989. – С. 43–44.
  4. Тепловой расчет котельных агрегатов (нормативный метод). – 2-е изд. – Переаб. – М.: Энергия, 1973. – 295 с.
  5. Ахмедов Р.Б., Цирульников Л.М. Технология сжигания газа и мазута в парогенераторах. – Л.: Недра, 1976. – 272 с.
  6. РТМ 108, 130, 02 – 84. Котлы паровые стационарные. Расчеты теплотехнические по составу дымовых газов и результатам исследований процесса горения. – Л.: НПО ЦКТИ.
-

УДК 674.816.2.002.2(574.54)

## О СОЗДАНИИ ПРОИЗВОДСТВА ПО ВЫПУСКУ СТРОИТЕЛЬНОГО МАТЕРИАЛА – АРБОЛИТОВЫХ ИЗДЕЛИЙ – В УСЛОВИЯХ КЫЗЫЛОРДИНСКОЙ ОБЛАСТИ

К.А. Бисенов, С.С. Удербает

*Кызылординский государственный университет  
им. Коркыт-Ата, г. Кызылорда*

*Осы мақалада Кызылорда облысы жағдайында арболиттік бұйымдардың басымдылығы жөніндегі мәселе қарастырылады. Арболиттің қолданылуы құрылыс материалдары өндірісінің дамуына ғана емес, аумақтың экологиялық проблемаларының да шешілуіне ықпал етеді.*

*В данной статье рассматривается вопрос о преимуществе арболитовых изделий в условиях Кызылординской области. Применение арболита способствует не только развитию промышленности строительных материалов, но и решению экологического вопроса региона.*

*The article considers the advantages of arbolit products in the conditions of Kyzylorda region. The usage of arbolit promotes not only the development of construction materials' industry but also the solution of region's ecological problem.*

В настоящее время объемы капитального и индивидуального строительства достигли такого уровня, что наращивание добычи минеральных сырьевых ресурсов для этих целей наносит ощутимый ущерб окружающей среде: меление рек из-за добычи гравия и песка (нарушение водооградительного слоя), изменение микроклимата из-за нарушения аэродинамики и биопокрова местности и др. Поэтому индустриализация строительства на базе местных строительных материалов, как арболит, решала бы одновременно нескольких немаловажных задач.

Производство арболита, базируется на использовании отходов растительного происхождения – возобновляемых ресурсов. В зависимости от расположения региона можно использовать отходы лесозаготовок,

лесопиления, деревообработки, а также сельскохозяйственного производства, например костры кенафа, стебли хлопчатника, рисовая лузга и др. Особенно производство арболитовых изделий хорошо налажено в России, Швейцарии, Финляндии, Канаде и др. странах.

Известно, что Кызылординская область является крупным рисоосушающим регионом республики Казахстан. Ежегодно, при обработке риса-сырца выделяются до 33 тыс. тонн рисовой лузги и соломы, что создает огромные отвалы. Помимо этого в настоящее время в золоотвалах Кызылординской энергоцентрали накопилось 2660 тыс. тонн золы. Ликвидация отходов-отвалов благоприятно сказывается на атмосферном воздухе, который в местах отвалов содержит частицы пыли, разносимые ветром на значительные расстояния и отрицательно влияющие на окружающую среду и здоровье людей.

Применение рисовой лузги и зол ТЭЦ для производства арболита способствует не только развитию промышленности стройматериалов, но и решению экологического вопроса региона. При этом, социально ориентированный подход к обеспечению местного населения экологически чистым и энергосберегающим жильем может оказать положительное влияние в регионах со сложной социально-демографической ситуацией.

Освоение производства строительных материалов на основе этих сырьевых ресурсов является эффективным не только с экологической, но и с экономической точки зрения.

К преимуществам применения арболита по сравнению с другими традиционными строительными материалами относятся: а) жилье строится из экологически чистого материала; б) низкая себестоимость коробки здания; в) низкие эксплуатационные затраты на отопление и вентиляцию; г) возможность применения в сейсмологических зонах.

Но, как известно арболитовые изделия обладают невысокими прочностными характеристиками, а при применении отходов промышленности в составе сырьевых смесей механико-прочностные свойства ухудшаются. Одним из направлений повышения прочности арболита считается применение активированного вяжущего вещества.

Основные проблемы, с которыми приходится сталкиваться при использовании золы-уноса – ее вяжущие свойства и качество. Зола ТЭЦ занимает особое место в номенклатуре мелких заполнителей для бетона являясь при этом одновременно тонкомолотой добавкой заменой части цемента, она обеспечивает как экономию цемента, так и хорошую виброукладываемость бетонной смеси.

Решение указанной проблемы известными методами – добавлением химических добавок, механической активацией и обработки различными силовыми полями не даст полного эффекта активации. Поэтому нами разработана комбинированная обработка системы «вяжущее + вода», т.е. комбинация различных силовых полей с одновременным добавлением инциваторов коагуляции [1].

Анализируя описанные способы активации вяжущего вещества, следует отметить: введение в цементные системы и бетоны различных химических добавок вносит кардинальные изменения в свойства раствора. Однако за счет химических добавок не удается регулировать удельную поверхность компонентов вяжущего, что является одним из существенных факторов активации. К тому же отсутствует способ активации, позволяющий обеспечить полного преодоление потенциального барьера в химическом механизме гидратации; при механической активации тонкий помол, как критерий активации, достигается только при определенном пределе помола, так как дальнейший помол ведет не к измельчению, а, наоборот, к агрегированию дисперсных частиц.

Необходимо отметить, что при мокром домоле активация вяжущего происходит только за счет повышения дисперсности частиц вяжущего в жидкой фазе, а фактор электрической природы, стимулирующий электрокинетические явления коагуляционного процесса вяжущего, отсутствует.

Следовательно, механическое измельчение является необходимым, но недостаточным условием повышения активности вяжущих; при электрополяризационной обработке цементной системы различного состава в её стационарном состоянии не представляется возможным изменить кинетику активации, так как не достигается «полная электрическая проводимость жидкой фазы...» через (сквозь) внутренние участки зерен вяжущего вещества, хотя в известных концепциях бетоноведения отмечается положительная роль электрического поля на механизмы структурообразования и ускорения твердения арболита.

Согласно известным научным концепциям, межмолекулярные взаимодействия веществ подразделяют на *физические*, определяемые физическими характеристиками взаимодействия молекул, и *химические*, приводящие к образованию направленных химических связей, а также на *универсальные* и *специфические*. К одним из основополагающих факторов в процессе структурообразования относятся электрохимические явления и их роль в системе «вяжущее + вода». Считается, что электро-

статические и электродинамические механизмы взаимодействия ядер, электронов и атомов составляют основу взаимодействия молекул. Явление коагуляции происходит соответственно из-за следующих причин: по Дерягину–Ландау–Фервею–Овербеку (ДЛФО) – из-за энергии притяжения, что вызывает нарушение агрегативной устойчивости; по Мюллеру – за счет введения электролита в дисперсную систему, что вызывает сжатие диффузного слоя; по Фрейндлиху, из-за эффекта понижения ж-потенциала; по Шульцу–Гарди заряд иона-коагулятора должен быть противоположен заряду гранулы.

Для оценки оптимального содержания золы в вяжущем нами использована методика подбора состава цементно-зольных вяжущих, основанная на определении коэффициента эффективности  $K_{эф}$  использования цемента в золоцементных композициях (рис. 1). Такой подход дает возможность получить цементно-зольный камень требуемой прочности в заданные сроки при наименьшем расходе портландцемента.

Из графика видно, что коэффициент эффективности использования цемента в золонаполненном вяжущем при механоэлектрополяризационной активации находится в интервале от 40 до 70% от массы вяжущего.

Известно, что органический наполнитель растительной природы и портландцемент по своей противоположны, что впоследствии оказывает существенное влияние на гидратацию и твердение системы «вяжущее + вода», в конечном счете, на прочность арболита.

Поэтому актуальным научным вопросом при производстве арболитовых материалов является упрочнение зоны сцепления вяжущего с

График зависимости коэффициента использования цемента в составе золонаполненного вяжущего от содержания золы

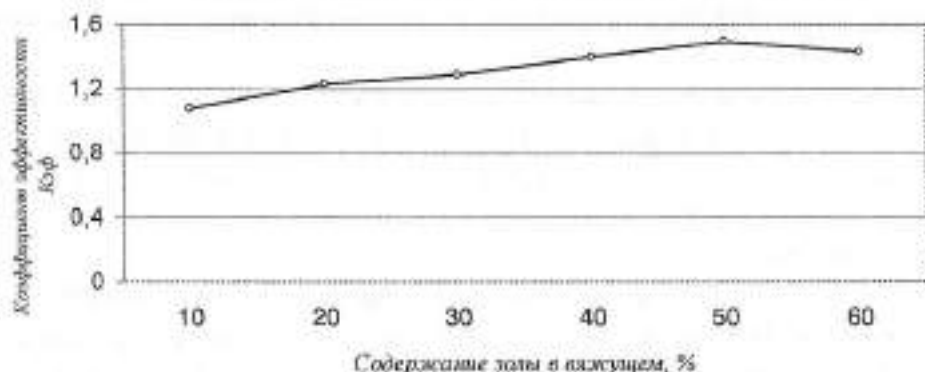


Рис. 1

органическим наполнителем, т.е. адгезия с древесным наполнителем. Проблемой сцепления компонентов арболитовой смеси в свое время занимались И.А. Кириенко, М.А. Кнения, Г.Д. Цискрели, В.П. Петров, Г.А. Евсеев, Л.М. Шмидт, И.Х. Наназашвили. Как было установлено [2], на адгезию вяжущего с древесным наполнителем оказывают влияние следующие факторы:

- развитие значительного давления набухания;
- высокая полярность целлюлозы;
- выделяемые из наполнителя водорастворимые вещества;
- упруговязкопластические свойства древесного наполнителя.

На практике для увеличения адгезионных сил и уменьшения влияние экстрактивных веществ выделяемых из органического наполнителя применяют различные приемы: добавление хлоридов кальция, обработка наполнителя в водной среде. Именно эти водорастворимые вещества, которые выделяются из наполнителя, являются как бы «цементными ядами» и оказывают существенное влияние на гидратацию и твердение арболита. Поэтому одним из эффективных направлений считается полное экстрагирование водорастворимых веществ из наполнителя в процессе облагораживания в жидкой среде. Нами было исследовано влияние щелочных и кислых водных сред на процесс облагораживания наполнителя [3].

Щелочную и кислую воду получали известным способом. Дополнительно, щелочность жидкой среды повышали путем добавления различных химических добавок.

Необходимо отметить, что повышение рН жидкой среды благоприятно сказывается на экстрагировании вредных веществ из наполнителя. Подготовленный наполнитель, по-видимому, характеризуется улучшенной поверхностью по сравнению с рисовой лузгой, обработанной традиционным способом, следовательно, упрочняется зона сцепления вяжущего и органического наполнителя.

На основании проведенного литературного анализа и научно-исследовательских работ нами разработана технология производства арболита с использованием в качестве наполнителя – рисовой лузги и заменителя части цемента – отходов промышленности – зол ТЭС и котельных шлаков.

Выпуск арболитовых изделий путем применения предложенных технологических приемов в технологии прессуемого арболита позволит насытить рынок строительными материалами высокого качества, а также от-

личающихся сравнительно невысокой ценой.

Обобщая вышеприведенные, необходимо отметить, что внедрение технологии прессуемого арболита позволяет помимо экономического эффекта в сфере производства эффективных конструкционно-теплоизоляционных материалов получить дополнительный экономический эффект за счет уменьшения промышленных выбросов и загрязнения ими окружающей среды.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Акчабаев А.А., Бисенов К.А., Удербает С.С. Активация влажного поляризации как способ повышения прочности арболита. / Доклады Министерства науки и высшего образования, национальной Академии наук Республики Казахстан. – № 4. – 1999.
  2. Намазиевич И.Х. Строительные материалы из древесно-цементной композиции. – Ленинград, 1990.
  3. Бисенов К.А., Удербает С.С. Отходы растительного происхождения – ценное сырье для производства конструкционно-теплоизоляционных материалов. / Сборник трудов Международной конференции «Наука и образование – ведущий фактор стратегии «Казахстан–2030» (24–25 июня). – Выпуск 2. – Караганда, 2004.
-



УДК 621.365.2: 621.317.329

## МОДЕЛЬНЫЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОЛИЗНЫХ И ГАЗОРАЗРЯДНЫХ ЭЛЕКТРОТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ УСТАНОВОК С ПИТАНИЕМ ТОКОМ СЛОЖНОЙ ФОРМЫ

Ф.К. Бойко, Е.В. Птицына

*Павлодарский государственный университет*

*им. С. Торайгырова*

Е.В. Птицына

*Омский государственный технический университет, Россия*

*Мақалада қондырғыларды алмастырудың эквиваленттік сұлбасын таңдау негізінде алынған күрделі түрдегі тоқпен қоректенетік электролиздік және газразрядтық электротехнологиялық қондырғылардың моделі қаралады.*

*В статье рассматриваются модели электролитных и газоразрядных электротехнологических установок с питанием током сложной формы, полученные на основе анализа эквивалентных схем замещения установок.*

*The article considers the model presentations of electrolysis and gas-discharge electrotechnical sets with the power supply of complex form current. The sets were obtained on the basis of equivalent set substitution scheme analysis.*

Для разработки автоматизированных систем управления технологическими процессами в электролизных и газоразрядных электротехнологических установках (ЭТУ) с питанием током сложной формы (ТСФ), разработки недорогих источников питания с высоким коэффициентом мощности и кпд необходима количественная оценка процессов и знание механизма явлений, происходящих в технологическом звене. Следовательно, математические модели ЭТУ с питанием ТСФ необходимы для расчета и выбора рациональных электрических режимов установок.

Установлено [1-5], что в электролизных и газоразрядных ЭТУ с изменением спектра или частоты переменного электромагнитного поля из-

меняются кинетические свойства заряженных частиц вещества, определяющих процессы поляризации и интенсивность поля в приэлектродных областях. Это обуславливает эмиссионные и окислительно-восстановительные процессы на электродах, процессы в межэлектродном промежутке (например, ионизационные процессы и процессы излучения столба разряда).

Схемы моделей электролизных и газоразрядных ЭТУ подробно рассмотрены в [1–5]. В статье исследуем влияние частоты на параметры эквивалентных схем замещения и модели электролизных и газоразрядных ЭТУ с питанием ТСФ.

Так, при нулевой частоте питающего напряжения картина в приэлектродной области, например, столба разряда выглядит следующим образом. На границе электрод-столб дуги, вследствие скачка потенциала, возникает приэлектродное падение напряжения. Главная часть катодного падения напряжения происходит в области пространственного заряда – «ленгмюровском слое». В прикатодной области выделяют также слой ионизации, непосредственно примыкающий к «ленгмюровскому слою», и слой теплопроводности, расположенный между столбом дуги и областью ионизации. «Ленгмюровский слой» возникает на границе электрод-столб дуги вследствие разной подвижности электронов и ионов и представляет собой двойной электрический слой (ДЭС). При этом прикатодное падение напряжения определяется всеми перечисленными составляющими

$$\Delta U_{\kappa} = \Delta U_{\text{ДЭС}} + \Delta U_{\text{и}} + \Delta U_{\text{ж}}. \quad (1)$$

Во время установления всей этой структуры напряженность поля  $E_0$  меняется. В ДЭС поле усиливается по сравнению с первоначальной напряженностью, а в межэлектродном промежутке (столбе разряда) снижается, поскольку часть поля, создаваемого зарядами на катоде, экранируется слоем объемного заряда. Поскольку напряженность поля со временем изменяется, то появляется ток смещения. По мере того, как электроны отступают, толщина слоя объемного заряда растет. Также растет и прикатодное падение напряжения. Напряжение в плазме при этом падает. При достижении приэлектродным слоем некоторой толщины  $d$ , величина  $\Delta U_{\kappa}$  становится почти равной полному напряжению  $U_0$ , приложенному к электродам. Напряжение в плазме практически исчезает. Все падение напряжения сосредоточено в прикатодном слое. За время установления стационарного состояния плотность полного тока в ДЭС определяется суммой плотности токов поляризации и проводимости. Появле-

ние составляющей плотности тока смещения в прикатодной области связано с поляризацией зарядов в слое  $d$ . При установлении стационарного состояния, вектор напряженности электрического поля в приэлектродной области возрастает по сравнению с  $E$  на величину вектора поляризации  $P$ . Обычно полагают, что это справедливо только для переходного режима, и после установления стационарного состояния ток смещения исчезает. Поэтому поляризацией среды пренебрегают.

Однако даже при стационарных электрических полях в приэлектродной области и положительном столбе разряда были обнаружены низкочастотные колебания порядка  $16 \times 2000$  Гц. Впервые они экспериментально установлены Ленгмюром и Тонксом. Измерения проводили зондовым методом в столбе разряда низкого давления. Эксперименты Габора подтвердили, что источник ленгмюровских колебаний локализован в пристеночном слое катода.

Рассмотрим причину возникновения ленгмюровских колебаний в столбе разряда при воздействии стационарного электрического поля.

Согласно [2, 4, 5], в приэлектродной области под действием поля напряженностью  $E$  возникает ДЭС, который можно рассматривать как эквивалентный электронный конденсатор. Плотность зарядов в обкладках ДЭС больше, чем плотность зарядов в плазме. Атомы расположены слишком тесно и сильно взаимодействуют. Поэтому внутренние гармоники атомных осцилляций изменяются. Собственные частоты колебаний зарядов в ДЭС размываются этими взаимодействиями и сильно подавляются ими. Коэффициент трения становится очень большим. Поэтому частоты собственных колебаний будут другими, чем для свободных атомов. Частота колебаний пространственного заряда и была измерена Габором в пристеночном слое катода положительного столба разряда низкого давления. Это были низкочастотные колебания внешней обкладки электронного конденсатора в условиях приложения к электродам стационарного напряжения  $U$ .

Покажем, что даже при воздействии постоянного напряжения  $U$  источника питания параметрическое изменение емкости ДЭС вида

$$C_{ДЭС}(t) = C_0 - \Delta C \cos 2\omega t. \quad (2)$$

обуславливает генерирование высших гармоник тока. На рис. 1 показано изменение емкости ДЭС [1-5].

Пусть ток в цепи определяется по закону Ома

$$i = \frac{U}{1/\omega \cdot C_{ДЭС}(t)} = U \left[ \omega \cdot C_0 \left( 1 - \frac{\Delta C}{C_0} \cos 2\omega t \right) \right] \quad (3)$$

Известно, что функция вида  $\frac{1}{1-x}$ , при  $|x| > 1$  может быть разложена в степенной ряд

$$\frac{1}{1-x} = 1 + x + x^2 + x^3 + \dots + x^n, \quad (4)$$

В формуле (4) роль  $x$  играет  $\frac{\Delta C}{C_0} \cos 2\omega t$ . Поэтому при  $\frac{\Delta C}{C_0} < 1$

$$\frac{i}{U \cdot \omega \cdot C_0} = \frac{1}{1 + \frac{\Delta C}{C_0} \cos 2\omega t + \left(\frac{\Delta C}{C_0}\right)^2 \cos^2 2\omega t + \left(\frac{\Delta C}{C_0}\right)^3 \cos^3 2\omega t + \dots} \quad (5)$$

Воспользуемся следующими тригонометрическими формулами

$$\cos^2 \alpha = \frac{1 + \cos 2\alpha}{2}; \quad \cos^3 \alpha = \frac{1}{4} \cos 3\alpha + \frac{3}{4} \cos \alpha \text{ и т.д.}$$

После преобразования выражения (5) его правая часть примет вид

$$\frac{i}{U \cdot \omega \cdot C_0} = \frac{1}{\left[ \left( 1 + \frac{1}{2} \left( \frac{\Delta C}{C_0} \right)^2 \right) + \left( \frac{\Delta C}{C_0} + \frac{3}{4} \left( \frac{\Delta C}{C_0} \right)^3 \right) \cos 2\omega t + \frac{1}{2} \left( \frac{\Delta C}{C_0} \right)^3 \cos 4\omega t + \dots + \frac{1}{4} \left( \frac{\Delta C}{C_0} \right)^3 \cos 6\omega t \right]} \quad (6)$$

Таким образом, при периодическом изменении параметра переменную емкость можно представить рядом Фурье:

$$C_{ДЭС}(t) = C_0 + \sum_{k=1}^{\infty} C_k \cos(k\omega t + \phi_k) \quad (7)$$

Здесь  $\omega$  – основная частота изменения емкости ДЭС;  $\phi_k$  – начальная фаза  $k$ -й гармоники;  $C_0$  – постоянная составляющая ряда;  $C_k$  – амплитуда  $k$ -й гармоники ряда.

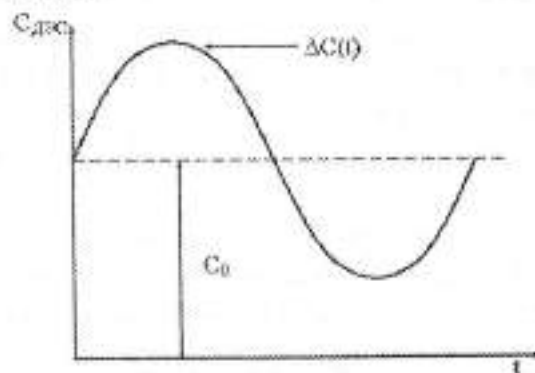


Рис.1. Параметрическое изменение емкости двойного электрического слоя ЭТУ

Выражение (7) можно выразить через проводимость элемента

$$G(t) = G_0 + \sum_{k=1}^{\infty} G_k \cos(k\omega t + \varphi_k) \quad (8)$$

Если к элементу с переменными параметрами приложено постоянное напряжение, то ток в элементе равен

$$i = G(t) \cdot U = G_0 U_0 + \sum_{k=1}^{\infty} G_k U \cos k\omega t \quad (9)$$

Следовательно, даже при включении постоянной эдс и изменении параметров емкости ДЭС по закону косинуса с частотой  $2\omega$ , ток в межэлектродном промежутке имеет высшие гармоники (частоты  $2\omega$ ,  $4\omega$ ,  $6\omega$ ). Амплитуды гармоник тока нелинейно зависят от коэффициента  $\frac{\Delta C}{C}$ . Ток состоит из постоянной и переменной составляющих, содержащих все гармоники основной частоты изменения параметра емкости ДЭС. Таким образом, изменение параметров емкости ДЭС производит преобразование спектра: линия нулевой частоты входного сигнала преобразуется в линии частот, кратных основной частоте изменения параметра. Переменное во времени емкостное сопротивление ДЭС, подобно нелинейному элементу, является генератором высших гармоник тока и напряжения.

В отличие от воздействия напряжения нулевой частоты, при воздействии синусоидального напряжения регулируемой частоты и изменении параметров емкости ДЭС во времени, ток в цепи определится как

$$i = C_{ДЭС}(t) \frac{du}{dt} + u \frac{dC_{ДЭС}(t)}{dt} \quad (10)$$

Первое слагаемое обусловлено изменением напряжения источника питания, второе – изменением емкости ДЭС во времени. В выражении (10) появляется добавочное слагаемое, вызываемое изменением величины емкости ДЭС. В частности, в случае приложения к элементу постоянного напряжения первое слагаемое равно нулю, но в емкости имеется ток, пропорциональный скорости ее изменения. Следовательно, емкостный элемент с переменным параметром преобразует постоянное напряжение в переменный ток.

Воздействие на емкость ДЭС синусоидального напряжения  $U_0 = U_m \cos \omega t$ , изменяющегося с частотой  $\omega$ , обуславливает ток в элементе, значение которого определяется из выражения вида

$$i = G(t) \cdot u_0 = G_0 U_m \cos \omega t + \frac{U_m}{2} \sum_{k=1}^{\infty} G_k \cos(\omega + k\omega_1)t + \frac{U_m}{2} \sum_{k=1}^{\infty} G_k \cos(\omega - k\omega_1)t, \quad (11)$$

Здесь  $G(t) = G_0 + \sum_{k=1}^{\infty} G_k \cos k\omega_1 t$  – изменение проводимости ДЭС во времени;  $\omega_1$  – частота переменной проводимости ДЭС.

То есть при воздействии синусоидального напряжения частотой  $\omega$  ток состоит из гармонической составляющей пропорциональной входному сигналу, и гармонических составляющих с частотами, равными суммам и разностям частоты входного сигнала и частот переменной проводимости. Выходная реакция содержит частоты, которых нет в исходном сигнале и переменном параметре ДЭС.

Для анализа установившегося режима в цепи, содержащей периодически изменяющуюся с частотой  $\omega_2$  емкость ДЭС, нелинейное сопротивление разрядного промежутка  $R_d$ , индуктивное и активное сопротивление источника питания  $R_1, L_1$ , можно использовать метод комплексных амплитуд. Пусть в схему замещения установки входит источник с напряжением

$$U = U_m \cos(\omega_1 t + \alpha_1).$$

Нелинейная активная нагрузка газоразрядной установки аппроксимируется цепочкой, состоящей из последовательно включенного сопротивления  $R_2$  и встречной эдс  $E_2$  (рис.2).

Уравнение равновесия напряжений в рассматриваемой цепи имеет вид

$$L_1 \frac{di}{dt} + iR_1 + iR_2 - E_2 + C_{ДЭС}^{-1}(t) \int i dt = U_m \cos(\omega_1 t + \alpha_1) \quad (12)$$

Преобразуем выражение для емкости ДЭС, принимая во внимание выражение (2)

$$\frac{1}{C_{ДЭС}(t)} = \frac{1}{C_0 \left( 1 - \frac{\Delta C}{C_0} \cos(\omega_2 t + \varphi_2) \right)} = \frac{1}{C_0} (1 + \mu \cos(\omega_2 t + \varphi_2)). \quad (13)$$

Здесь  $\mu = \frac{\Delta C}{C_0} < 1$  – глубина модуляции емкости ДЭС.

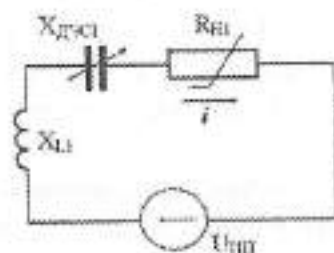


Рис.2. Эквивалентная схема замещения газоразрядной установки

Учтем, что любую синусоидально изменяющуюся функцию можно выразить через комплексные амплитуды. Поскольку разность сопряженных чисел равна  $\dot{A}_m - \bar{\dot{A}}_m = j2 \operatorname{Im}(\dot{A}_m)$ , то можно записать

$$j \operatorname{Im}(\dot{A}_m) = \frac{1}{j2} (\dot{A}_m - \bar{\dot{A}}_m) \quad (14)$$

Справедлива и другая форма представления периодической функции с помощью комплексных чисел

$$f(t) = A_0 + \frac{1}{j2} \left( \sum_{k=1}^{\infty} \dot{A}_k \dot{n}_k - \sum_{k=1}^{\infty} \bar{\dot{A}}_k \bar{n}_k \right) \quad (15)$$

$$\text{Здесь } \dot{A}_k = \frac{A_{km}}{\sqrt{2}} e^{j\varphi}, \quad \bar{\dot{A}}_k = \frac{A_{km}}{\sqrt{2}} e^{-j\varphi},$$

$$\dot{n}_k = \cos k\omega t + j \sin k\omega t = e^{jk\omega t}, \quad \bar{n}_k = \cos k\omega t - j \sin k\omega t = e^{-jk\omega t}.$$

Тогда гармонически изменяющееся приращение емкости ДЭС можно выразить следующим образом

$$\Delta C(t) = \frac{\sqrt{2}}{j2} (\dot{C}\dot{n} - \bar{C}\bar{n}) = \frac{1}{j\sqrt{2}} \left[ \frac{\Delta C}{C_0} e^{j\varphi_0} e^{j\omega t} - \frac{\Delta C}{C_0} e^{-j\varphi_0} e^{-j\omega t} \right] \quad (16)$$

Здесь  $\frac{\Delta C}{C_0} = \left( \frac{\Delta C_m}{C_0} \right) / \sqrt{2}$  — действующее значение величины приращения емкости ДЭС.

Введя обозначения  $\dot{\mu} = \frac{\Delta C_m}{C_0} e^{j\varphi_0}$ ,  $\bar{\mu} = \frac{\Delta C_m}{C_0} e^{-j\varphi_0}$  формулу (16) представим в виде

$$\Delta C(t) = \frac{1}{2} (\dot{\mu} \cdot e^{j\omega t} + \bar{\mu} \cdot e^{-j\omega t}) \quad (17)$$

Аналогично выразим через комплексные амплитуды напряжение источника и ток. Учтем при этом, что амплитуда установившихся колебаний тока и напряжения является действительным числом

$$\begin{aligned} u &= U_m \cos(\omega_m t + \alpha_1) = \operatorname{Re} \dot{U}_m e^{j\omega_m t} \\ i &= I_m \cos(\omega_m t + \alpha_2) = \operatorname{Re} \dot{I}_m e^{j\omega_m t} \end{aligned} \quad (18)$$

Здесь  $\omega_m = \omega_1 + \omega_2$  — частота колебания тока, обусловленная частотой напряжения источника питания и частотой колебания приращения емкости ДЭС.

Формулы (17) и (18) необходимо подставить в (12). Приравняв коэффициенты при экспонентах с одинаковыми частотами, получим систему уравнений для токов разных частот. Решая эту систему относительно комплексных амплитуд токов различных частот, определяются условия

усиления тока в рассматриваемой цепи, а также частотные характеристики контура (то есть рациональный электрический режим установки).

Таким образом, эквивалентные схемы замещения электролизных и газоразрядных ЭТУ с питанием током сложной формы должны содержать не только нелинейные сопротивления электролитов или столба разряда, но и параметрически изменяющиеся емкости двойного электрического слоя в прианодной и прикатодной областях. Соответственно создание модели ЭТУ с ТСФ предполагает необходимость уточнения уже существующих математических описаний электролизеров и газоразрядных установок.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Untersuchung und Anwendung von dem nichtsinusförmigen Strom in den Elektrolysenanlagen / A. Kuvaldin, F. Bojko, E. Pfitzyna. 40. Internationales Wissenschaftliches Kolloquium. 18 – 21.09.1995. Band 3.– Technische Universität Ilmenau, 1995, 183–188 с.

2. *Кувалдин А.Б., Птицына Е.В.* Использование токов сложной формы с целью повышения эффективности установок для освещения и инфракрасного нагрева / Сборник докладов Srodkowouropejska IV Konferencja Naukowo-Techniczna (IV MSKAE 2001) «Metody i Systemy Komputerowe w Automacie i Elektrotechnice». Czestochowskiej, 2001.– С. 180–182.

3. *Кувалдин А.Б., Птицына Е.В.* Электрические и акустические эффекты в оптических излучателях с питанием током сложной формы / Сборник докладов Srodkowouropejska V Konferencja Naukowo-Techniczna (V MSKAE 2003) «Metody i Systemy Komputerowe w Automacie i Elektrotechnice». Czestochowskiej, 2003.

4. *Bojko F.K., Kuvaldin A.B., Pfitzyna E.V.* Zum Betrieb kleiner Stahlschmelz-Lichtbogenöfen mit nichtsinusförmigem Strom – Einfluss auf die Lichtbogenstabilität / Workshop Elektroprozess-technik – Erwärmen und Schmelzen mit elektrothermischen und alternativen Verfahren. Tagungsband. Technische Universität Ilmenau. 21.-24. Sept. 2004.

5. *Бойко Ф.К., Птицына Е.В.* К вопросу о снижении шума в электролизных и газоразрядных установках с питанием током сложной формы / Вестник Павлодарского государственного университета им. С. Торайгырова.– 2004.– № 2.

---



УДК 631.372:621.825

## К ВОПРОСУ ПРИМЕНЕНИЯ НА ТРАКТОРАХ ГИДРОДИНАМИЧЕСКИХ МУФТ

А.Н. Гордиенко, Г.Е. Ибрагимова

Павлодарский государственный университет  
им. С.Торайгырова

*Көліктік және тарту машиналарындағы гидравликалық муфталардың құрылысына және олардың сипаттамаларына анализ жүргізілген. Тракторларда гидравликалық муфталарды қолдану жағайы ұсыныстар берілген.*

*Приведен анализ конструкций гидродинамических муфт транспортных и тяговых машин и их характеристик. Даны рекомендации по применению гидродинамических муфт на тракторах.*

*The organized analysis construction hydraulic muffs transport and tractive machines and their features. Sentences are Given over using the hydraulic clutch on tractor.*

Высокая производительность тракторов может быть обеспечена за счет увеличения рабочих скоростей и интенсивности их использования, что приводит к повышению динамических нагрузок и напряженности деталей и узлов трактора.

Одним из ответственных узлов трактора, работающих в тяжелых условиях, является муфта сцепления, предназначенная для плавного трогания и разгона машино-тракторного агрегата, для разъединения ведущего вала коробки передач и коленчатого вала двигателя при переключении передач и для предохранения деталей трансмиссии от чрезмерных динамических нагрузок. На тракторах преимущественно применяются фрикционные муфты сцепления.

При разгоне машино-тракторного агрегата происходит пробуксовка ведомых дисков фрикционной муфты сцепления. Детали муфты сцепления нагреваются до температуры, которая зависит от величины работы буксования. С увеличением рабочих скоростей работа буксования увеличивается и повышается температура нагревания дета-

лей муфты сцепления. Одновременно ухудшаются условия разгона машино-тракторного агрегата.

Фрикционная муфта сцепления обеспечивает передачу крутящего момента, превышающего номинальный крутящий момент двигателя в 2,5–3,5 раза. Следовательно, она предохраняет трансмиссию и двигатель от перегрузок, превышающих момент трения муфты сцепления.

Обеспечивая жесткую связь коленчатого вала двигателя с трансмиссией трактора, фрикционная муфта сцепления не оказывает влияния на крутильные колебания системы: двигатель – трансмиссия.

Указанные недостатки фрикционной муфты сцепления устраняются при установке на трактор гидродинамической муфты, основными достоинствами которой являются:

- возможность плавного трогания и разгона машино-тракторного агрегата на любой передаче;

- ограничение крутильных колебаний: гидромуфта разделяет систему привода на две части так, что массы и упругие участки одной части не влияют на частоту собственных колебаний другой части; крутильные колебания, возникшие на одном из валов фильтруются гидромуфтой и не передаются на другой вал;

- надежность в эксплуатации: отсутствуют трущиеся пары и, следовательно, износ основных деталей гидромуфты;

- бесшумность работы.

В то же время гидродинамическим муфтам свойственны два основных недостатка:

- скорость ведомого вала при номинальных оборотах и номинальном крутящем моменте двигателя меньше скорости ведущего вала на 2–3%, т.е. КПД гидромуфты не может быть больше 98%; потерянная энергия превращается в тепло идущее на нагрев деталей гидромуфты;

- гидродинамическая муфта не обеспечивает полного разъединения ведущего и ведомого валов и поэтому в приводе транспортных машин необходимо предусматривать дополнительно фрикционную муфту сцепления.

Несмотря на отмеченные недостатки, в последнее время становится достаточно широким применение гидродинамических муфт на сельскохозяйственных тракторах. Так фирмы Fendt (ФРГ) и Allgaier выпускают целые семейства колесных сельскохозяйственных тракторов различных классов, оборудованных гидромуфтами и многоступенчатыми коробками передач (8–12 ступеней).

Гидродинамическая муфта, которая применялась лишь на тракторе Porsche фирмы Allgaier, в настоящее время начинает находить более широкое применение.

Сельскохозяйственный трактор Farmer 2S фирмы Fendt с дизелем водяного охлаждения мощностью 42 л.с. имеет гидродинамическую муфту и реверсивную КПП.

Универсальный колесный трактор по схеме 4×4 мощностью 62 л.с., выпускаемый фирмой Fendt, предназначен для земляных работ на строительстве и может быть рационально использован на землеройно-транспортных работах в сельском хозяйстве. На тракторе установлена гидродинамическая муфта.

Трактор Super 2000V (ФРГ) фирмы Schluter с двигателем мощностью 165 л.с., который развивает максимальный крутящий момент 65 кг·м при 1300 об/мин., имеет гидродинамическую муфту, обеспечивающую плавный разгон трактора. На тракторе установлена синхронизированная КПП, обеспечивающая 12 передач переднего и 6 передач заднего хода.

Трактор Favorit-12 фирмы Fendt с дизелем водяного охлаждения мощностью 110 л.с. имеет гидродинамическую муфту и КПП, обеспечивающую 16 передач переднего и 5 передач заднего хода.

Фирма Ysotta Fraschini e Motori Breda S.P.A. (Италия) производит гидромуфты различных типов, отвечающие различным условиям работы сельскохозяйственных машин.

#### Конструктивная схема и принцип работы гидродинамической муфты

Гидродинамическая муфта (рис. 1) представляет собой сочетание колеса центробежного насоса (Н) и колеса реактивной турбины (Т) и охватывающего турбину кожуха. Насосное и турбинное колеса выполнены торoidalными. Во внутренней полости колес имеются лопатки, образующие меридиональные каналы. Пространство, ограниченное межлопаточными каналами, наружным тором насосного и турбинного колес и внутренним тором (А), является рабочей полостью. Масса жидкости, соответствующая расходу насоса, находится в относительном движении в меридиональной плоскости и одновременно во вращении вокруг оси муфты, совершая абсолютное движение по спирали.

Жидкость входит в насос и в турбину в точках 1 и 3 и выходит из них в точках 2 и 4. Насосное колесо, соединенное с валом двигателя, при вращении сообщает жидкости, заполняющей гидромуфту, запас кинетической энергии и энергии давления. Жидкость, поступающая в турбинное колесо, преобразует запас энергии в механическую работу турбинного колеса, приводя его во вращение. Выйдя из турбинного колеса, жидкость вновь попадает в насосное колесо и в гидромуфте устанавливается замкнутая циркуляция

жидкости между рабочими колесами.

Передача энергии в гидромуфте происходит с определенными потерями, внешне выражающимися в том, что ведомый вал отстает от ведущего или проскальзывает.

Первые конструкции гидромуфт выполнялись с внутренним тором А (рисунком 1). Однако, позднее было установлено, что в большинстве случаев работы гидромуфт внутренний тор не нужен, а во многих случаях тор ухудшает характеристику гидромуфты, снижая одновременно ее энергоемкость.

В связи с этим получили большое распространение гидромуфты без тора (верхняя часть ГМ на рис. 1). Впервые гидромуфты без тора были изготовлены английской фирмой Синклер. Такие гидромуфты получили широкое применение на транспортных машинах. Они имеют меньший вес по сравнению с классической гидромуфтой с тором и проще в изготовлении.

Современные конструкции гидромуфт выполняются в большинстве случаев без тора или с тором небольших размеров. В последнем случае тор служит для увеличения жесткости тонких лопаток гидромуфт большого размера, а не для формирования потока.

#### Соотношения геометрических размеров гидромуфты (рис. 1)

$r_e$  – максимальный или активный радиус меридиального сечения рабочей полости;

$r_i$  – минимальный (внутренний) радиус меридиального сечения рабочей полости;

$\xi_1 = \frac{r_i}{r_e}$  – отношение указанных радиусов;

$r_0$  – расстояние «нейтральной точки» О (центра рабочей полости от оси вращения ГМ);

$r_{11} = r_{22} = r_1$  – радиус входа в насосное колесо равный радиусу выхода из турбинного колеса;

$r_{12} = r_{21} = r_2$  – радиус выхода из насосного колеса, равный радиусу входа в турбинное колесо;

$\xi_2 = \frac{r_1}{r_2}$  – отношение указанных радиусов;

$b_1$  – ширина межлопаточного канала на входе в насосное колесо;

$b_2$  – ширина межлопаточного канала на выходе из насосного колеса;

$$\xi_A = \frac{b_1}{r_2}$$

В гидравлической муфте с тором ширину канала на входе  $b_1$  и выходе  $b_2$  можно всегда выбрать таким образом, чтобы средняя меридиальная скорость  $C_m$  жидкости на входе (точка 1) и выходе (точка 2) оставалась одинаковой, т.е., чтобы выполнялось условие:

$$C_m \cdot F1 = C_m \cdot F2, \quad (1)$$

где  $F1 = 2\pi \cdot r_1 \cdot b_1 \cdot \sigma_1$  – эффективная площадь поперечного сечения на входе в насосное колесо,

$F2 = 2\pi \cdot r_2 \cdot b_2 \cdot \sigma_2$  – эффективная площадь поперечного сечения на выходе из насосного колеса.

Принимая  $\sigma_1 = \sigma_2 = \sigma$ , получим

$$r_1 \cdot b_1 = r_2 \cdot b_2 \cdot \frac{\sigma_2}{\sigma_1} = r_2 \cdot b_2 \quad (2)$$

Для гидромуфты без тора можно записать следующее уравнение:

$$\pi(r_1^2 - r_0^2) = \pi(r_2^2 - r_0^2) \quad (3)$$

Отсюда с достаточной степенью точности определяется радиус нейтральной точки в зависимости от активного радиуса

$$r_0 = r_a \cdot \sqrt{\frac{1 + \xi_i^2}{2}} \quad (4)$$

Зная  $r_0$ , можно выразить другие величины в зависимости от активного радиуса.

$$r_2 = \frac{r_e + r_0}{2} = \frac{r_e}{2} \left( 1 + \sqrt{\frac{1 + \xi_i^2}{2}} \right) \quad (5)$$

$$b_2 = r_e - r_0 = r_e \left( 1 - \sqrt{\frac{1 + \xi_i^2}{2}} \right) \quad (6)$$

$$r_1 = \frac{r_0 + r_e}{2} = \frac{r_e}{2} \left( \xi_i + \sqrt{\frac{1 + \xi_i^2}{2}} \right) \quad (7)$$

$$b_1 = r_0 - r_1 = r_e \left( \sqrt{\frac{1 + \xi_i^2}{2}} - \xi_i \right) \quad (8)$$

Соотношения между величинами  $\xi_r$ ,  $\xi_b$  и  $\xi_i$  можно представить в следующем виде:

$$\xi_r = \frac{r_1}{r_2} = \frac{\xi_i + \sqrt{\frac{1 + \xi_i^2}{2}}}{1 + \sqrt{\frac{1 + \xi_i^2}{2}}} \quad (9)$$

$$\xi_b = \frac{b_2}{r_2} = \frac{2 \left( 1 - \sqrt{\frac{1 + \xi_i^2}{2}} \right)}{1 + \sqrt{\frac{1 + \xi_i^2}{2}}} \quad (10)$$

Итак, все размеры рабочей части конструкции гидромуфты определяются постоянными соотношениями к активному радиусу гидромуфты  $r_c$ . При расчете гидромуфт обычно определяют активный диаметр

$$D = \sqrt[3]{\frac{N_1 \cdot 10^6}{n_1^2 \cdot A}}, \quad (11)$$

где  $N_1$  – мощность, подводимая к насосному колесу, л.с.;

$n_1$  – обороты насосного колеса в минуту;

$A$  – коэффициент мощности, определяемый экспериментально; при проектировании гидромуфты коэффициент  $A$  принимают приблизительно по прототипу.

#### Уравнения моментов

В гидродинамических муфтах крутящий момент от ведущего вала на ведомый передается, в основном, гидродинамическим изменением моментов количества движения при внутренней циркуляции жидкости в рабочей полости.

Для гидромуфт с прямыми радиальными лопатками ( $\beta_1 = \beta_2 = 90^\circ$ ) можно записать

$$M = Q \cdot \rho (r_{12} \cdot U_{12} - r_{22} \cdot U_{22}), \quad (12)$$

где  $\rho = \frac{\gamma}{g}$  – плотность жидкости;

$Q$  – расход жидкости;

$U_{12}$  – окружная скорость жидкости на выходе из насосного колеса;

$U_{22}$  – окружная скорость жидкости на выходе из турбинного колеса.

При попадании жидкости на турбинное колесо происходит резкое, ударное торможение ее, от скорости  $U_{12}$  до скорости  $U_{22}$ . Этот процесс создает актив-

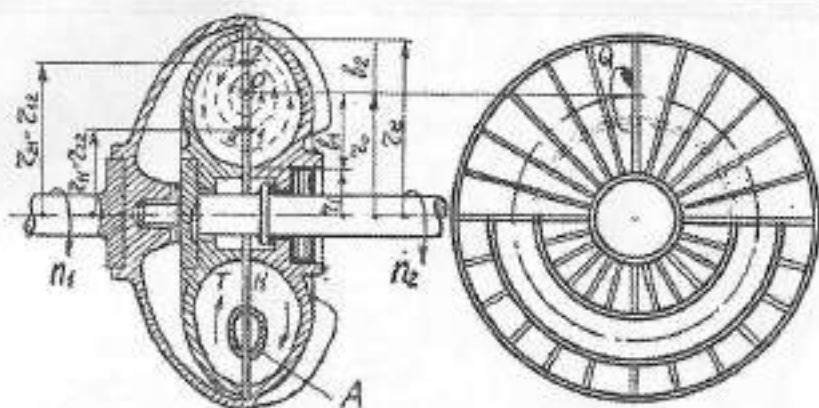


Рис. 1. Конструктивная схема гидромукты

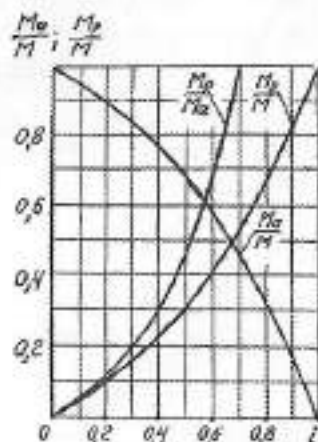


Рис. 2. Зависимость долей активной и реактивной составляющих момента от передаточного отношения гидромукты

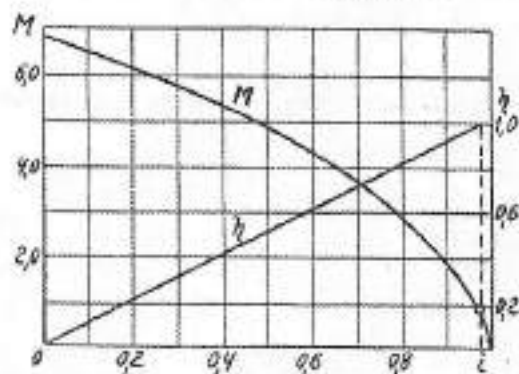


Рис. 3. Внешняя характеристика гидромукты при постоянном числе оборотов ведущего вала

ную составляющую  $Ma$  циркуляционного момента.

$$Ma = Q \cdot \rho \cdot r_2^2 (1 - i) \cdot \omega_1, \quad (13)$$

где  $i = \frac{\omega_2}{\omega_1}$ .

Протекая в межлопаточных каналах турбинного колеса, жидкость тормозится вследствие перехода ее частиц с большого радиуса на меньший (уменьшается абсолютная скорость  $S$  из-за падения окружной скорости  $U$ ). При этом на лопатки действуют силы Кориолиса с реактивным моментом  $Mr$ .

$$Mr = Q \cdot \rho \cdot (r_{21} \cdot U_{21} - r_{22} \cdot U_{22}) = Q \cdot \rho \cdot \omega_2 (r_2^2 - r_1^2) \quad (14)$$

Суммарный момент, передаваемый гидромуфтой будет равен:

$$M = Ma + Mr = Q \cdot \rho \cdot \omega_1 (1 - \xi_r^2 \cdot i) \cdot r_2^2 \quad (15)$$

В зависимости от режима работы гидромуфты доли активной и реактивной составляющих момента меняются (рисунок 2). При трогании активная составляющая велика, а реактивная – мала. По мере разгона турбинного колеса и роста передаточного отношения  $i$  увеличивается  $Mr$  с одновременным уменьшением  $Ma$  (рисунок 2).

Внешняя характеристика (рисунок 3) гидромуфты, работающей в заполненном состоянии, показывает, что особенностью гидродинамических передач является зависимость кинематических параметров от приложенной нагрузки.

### Обзор конструкций гидродинамических муфт

На транспортных машинах, в частности на автомобилях и тракторах, применяются замкнутые гидродинамические муфты. Замкнутые гидромуфты работают постоянно с определенным количеством жидкости в рабочей и дополнительной полостях. Конструкция таких гидромуфт наиболее проста.

По принципу работы и перегрузочной способности, которая характеризует их пусковые и защитные свойства, замкнутые гидромуфты делятся на две основные группы:

- гидромуфты с большим коэффициентом перегрузки (с постоянным заполнением рабочей полости);
- гидромуфты с малым коэффициентом перегрузки.

Гидромуфты первой группы имеют прямые лопатки и обычную проточную часть. Они работают с большим коэффициентом перегрузки и используются в приводе в качестве силового элемента.



Гидромуфты второй группы изготавливаются с дополнительной полостью для рабочей жидкости или с наклонными лопатками. В зависимости от конструктивного исполнения дополнительной полости для внутреннего самоопоразнивания может использоваться статический и скоростной напор.

Внутреннее самоопоразнивание снижает коэффициент перегрузки при торможении ведомого вала и при резких изменениях нагрузки.

Таким образом, гидромуфты с низким коэффициентом перегрузки могут быть разделены на три типа:

- гидромуфты со статическим самоопоразниванием (тяговые гидромуфты);
- гидромуфты с динамическим самоопоразниванием (предельные гидромуфты);
- гидромуфты с наклонными лопатками.

#### Гидромуфты с постоянным заполнением

Гидромуфты, работающие с постоянным заполнением рабочей полости (смягчающие гидромуфты или жидкостные маховики), устанавливаются в привод для повышения плавности работы, устранения крутильных нагрузок.

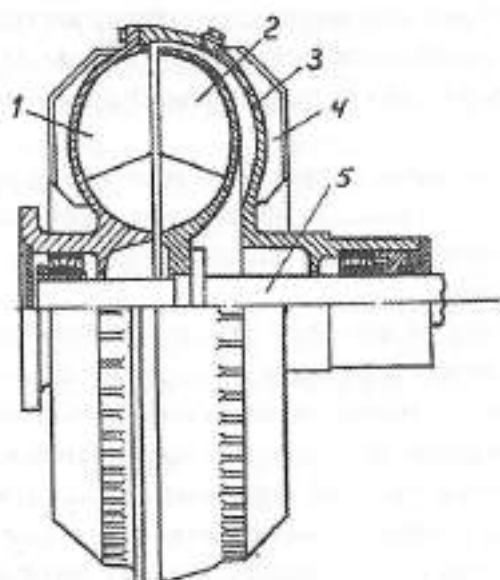
Гидромуфты с постоянным заполнением рабочей полости рассчитывают на номинальное скольжение не более 4-5 %. В зоне малых скольжений гидромуфты коэффициент момента должен быть большим, а ее характеристика должна быть «жесткой» для повышения энергоемкости муфты.

К такому типу гидромуфт относятся гидромуфты фирм «Цельнер» (ФРГ), «Фиат» (Италия), «Крайслер» (США) и Горьковского автозавода, устанавливаемая на легковом автомобиле ГАЗ-12.

Гидромуфта фирмы «Цельнер» (рисунок 4) состоит из насосного 1 и турбинного 2 колес, корпуса 3 с радиальными ребрами 6, которые обеспечивают направленный поток охлаждающего воздуха от центра к периферии муфты, что повышает теплоотдачу корпуса.

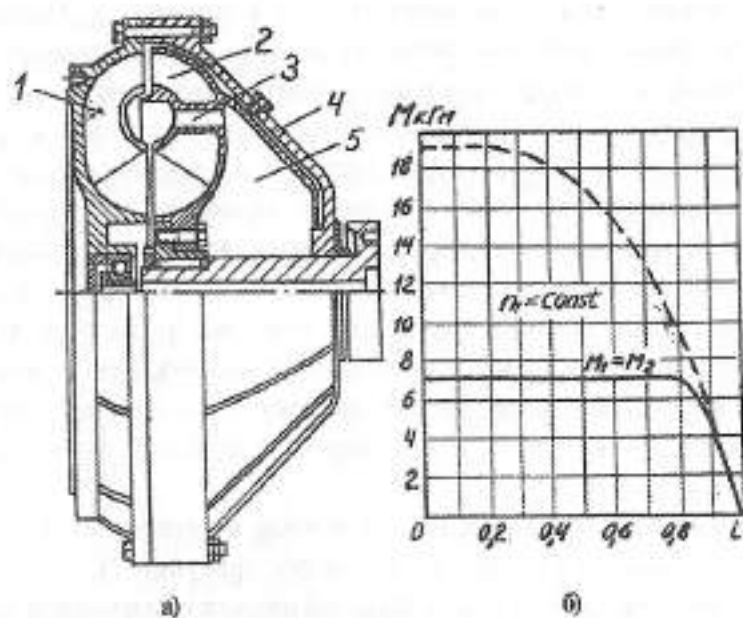
Турбинное колесо 2 размещено между насосным колесом 1 и корпусом 3. При работе жидкость между турбинным колесом и корпусом создает усилие, действующее на турбинное колесо в направлении противоположном усилию жидкости, находящейся в рабочей полости. Этим самым уменьшаются осевые усилия, действующие на опоры насосного и турбинного колес.

При полном наполнении гидромуфты объем рабочей жидкости теоре-



1 – насосное колесо; 2 – турбинное колесо; 3 – кожух;  
4 – охлаждающие ребра; 5 – ведомый вал

Рис. 4. Гидромуфта «Цельнер»



а) – гидромуфта; б) – внешняя характеристика  
1 – насосное колесо; 2 – турбинное колесо; 3 – канал;  
4 – кожух; 5 – дополнительный объем

Рис. 5. Тяговая гидромуфта Фойт-Синклер

тически должен быть равен геометрическому объему внутренней полости гидромуфты. Практически объем рабочей жидкости составляет примерно 90–95% геометрического объема полости гидромуфты. Это наполнение считают полным.

Объем рабочей жидкости должен быть несколько меньше объема внутренней полости гидромуфты для обеспечения свободного пространства, заполняемого выделяющимися из жидкости при работе гидромуфты воздухом и парами масла.

Любое наполнение гидромуфты меньше полного называют частичным. Степень заполнения определяется экспериментально из условия обеспечения требуемой жесткости характеристики гидромуфты при минимальных числах оборотов двигателя или при максимальном скольжении.

По мере увеличения нагрузки турбинного колеса его обороты уменьшаются и возникает относительное движение, в результате которого происходит перераспределение жидкости между насосным и турбинным колесами, что приводит к уменьшению радиусов выхода и входа в насосное колесо гидромуфты. На жидкость в этом случае действуют центробежные силы не только от вращения ее относительно оси гидромуфты, но и от движения ее в меридиальных плоскостях.

В турбинном колесе поток приближается к оси муфты. После достижения внутренней кривизны чаши турбинного колеса происходит расщепление между центростремительной и центробежной ветвями потока.

Когда кинетическая энергия потока окажется достаточной для того, чтобы центростремительная ветвь достигла внутреннего радиуса турбинного колеса, поток войдет в насосное колесо на его минимальном радиусе. При этом жидкость образует кольцо, прижатое к чашам насосного и турбинного колес (рисунок 6). В этом случае будет движение по большой проточной полости. Переход от движения по малой к движению по большой проточной полости происходит скачкообразно, с резким увеличением жесткости муфты. Муфта работает устойчиво при обеих формах движения жидкости, но в зоне перехода от одной формы к другой теряет устойчивость.

Для устранения этого явления на выходе из турбинного колеса устанавливают дроссельную шайбу или порог (рисунок 7).

При наличии порога образование большой полости в гидромуфте невозможно, поскольку уменьшение радиуса входа потока в насосное колесо ограничено порогом.

Установка порога в гидромуфте при работе ее с частичным заполнением уменьшает колебания передаваемого момента или устраняет их полностью. Как показала практика, в гидромуфте всегда целесообразно предусматривать определенный дополнительный объем для рабочей жидкости. Поэтому во всех случаях количество жидкости, залитой в гидромуфту должно быть всегда больше, чем ее необходимо для передачи крутящего момента. Одной из причин этого является сопротивление трению жидкости в пространстве между задней стенкой турбинного колеса и корпусом муфты. Другой причиной является теплосмкость муфты, которая должна быть, возможно, большей, чтобы во время эксплуатации устранить сильный перегрев муфты при частичных изменениях скольжения.

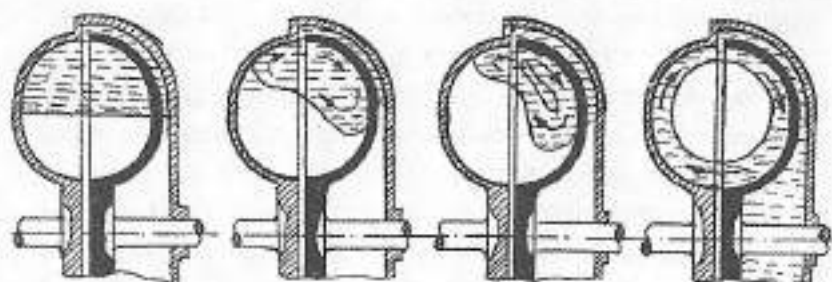
Установка дроссельной шайбы (порога) позволяет при неполном заполнении гидромуфты уменьшить величину стопового момента. Величину заполнения при этом выбирают так, чтобы при длительном эксплуатационном режиме вся рабочая жидкость циркулировала выше порога. При большом скольжении, когда обороты турбинного колеса малы, рабочая жидкость, поступающая с большой скоростью из насосного в турбинное колесо, в связи с малым противодавлением в последнем, опускается в нем ниже порога. При обтекании жидкостью порога образуется завихрение (рисунок 7,б).

Вследствие этого возникают большие потери, что приводит к снижению величины крутящего момента, который может передать гидромуфта при больших скольжениях. При полностью заполненной гидромуфте порог создавал бы сопротивление при всех скольжениях, что снижало бы передаваемый момент на всех режимах. На рисунке 8 показаны опытные характеристики гидромуфты без тора при установке порога различной величины.

Гидромуфты с порогом получили широкое распространение.

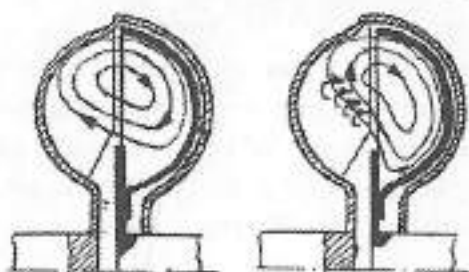
Гидромуфта фирмы «Крайслер» (рисунок 9) состоит из насосного 1 колеса, сварного кожуха 2 и турбинного колеса 3 с порогом 5. Все детали гидромуфты выполнены штампованными из листа и соединены между собой с помощью сварки и заклепок. Лопатки насосного и турбинного колес прямые, радиальные. Для обеспечения чистоты переключения передач, т.е. полного разъединения двигателя и трансмиссии предусмотрена фрикционная муфта сцепления 4. Полость гидромуфты уплотняется торцевым уплотнением 6 с сильфоном.

Гидромуфта автобуса модели 306 фирмы «Фиат» (рисунок 10) также устанавливается последовательно с фрикционной муфтой сцепления и,



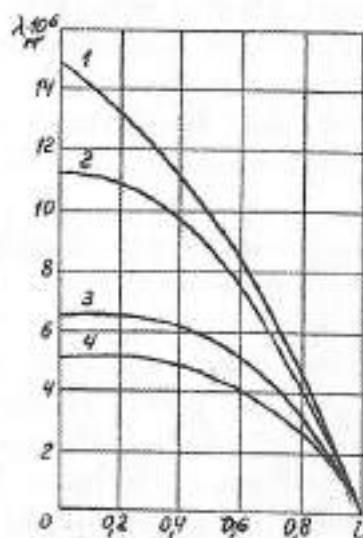
а)  $s = 0$ ;  $s = 5 \dots 10\%$ ;  $s = 30 \dots 35\%$ ;  $s = 40 \dots 45\%$

Рис. 6. Распределение жидкости в частично наполненной гидромукфте в зависимости от  $n_2$  при постоянном  $n_1$



а) малое скольжение; б) большое скольжение

Рис. 7. Схема циркуляции жидкости в гидромукфте с порогом при неполном наполнении



1 – без порога; 2 – с порогом  $d_n = 0,48D$ ; 3 –  $d_n = 0,52D$ ; 4 –  $d_n = 0,52D$ ,  
 $\lambda_n$  – коэффициент момента

Рис. 8. Влияние порога на характеристику гидромукфты НАМИ

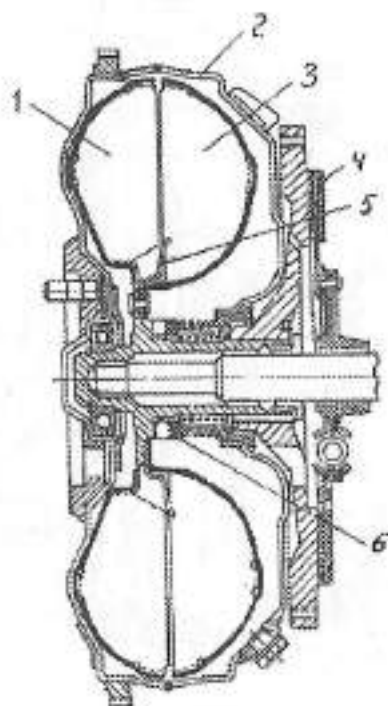
кроме того, имеет зубчатую муфту для блокировки турбинного и насосного колес.

Рабочие колеса гидромолы 2 и 3 и кожух 1 выполнены литыми. Гидромолы размещена в корпусе. В этом же корпусе установлена и фрикционная муфта 5. Зубчатая муфта перемещается с помощью рычага 4. Такая блокировка необходима при движении на подъемах и спусках.

Лопатки насосного и турбинного колес прямые, радиальные. К турбинному колесу крепится дроссельная шайба или порог.

#### Гидромолы с самоопоразниванием

Гидромолы, работающая с двигателем внутреннего сгорания должна рассчитываться на передачу максимального момента при скольжении близком к 100%. Так как двигатель внутреннего сгорания при увеличении нагрузки снижает число оборотов, то коэффициент перегрузки работающей с ним гидромолы должен находиться в пределах 3–4,5. Такой коэффициент перегрузки обеспечивают гидромолы с самоопоразниванием рабочей полости.

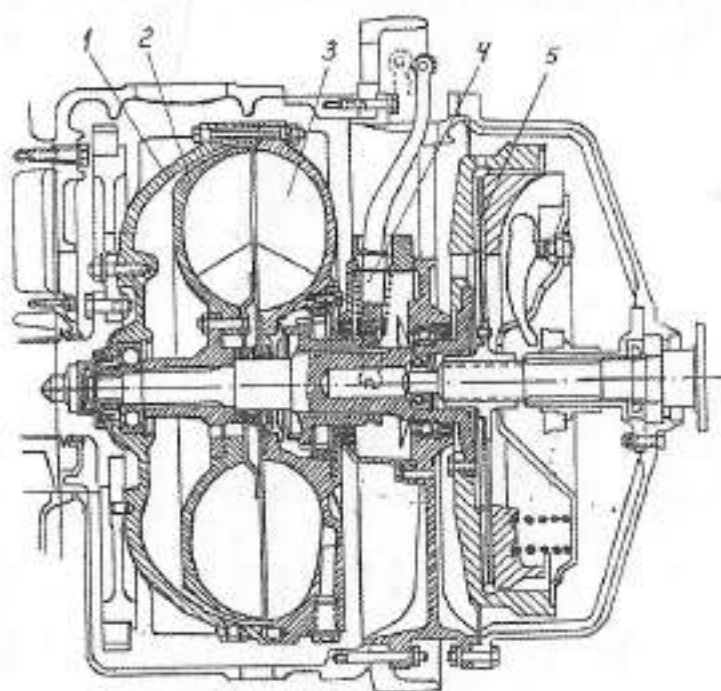


1 – насосное колесо; 2 – кожух; 3 – турбинное колесо;  
4 – фрикционная муфта; 5 – порог; 6 – торцовое уплотнение

Рис. 9. Гидромолы фирмы Chrysler-De Soto

### Гидромуфты со статическим самоопораживанием (тяговые)

Развитие конструкций нерегулируемых замкнутых гидромуфт с внутренним самоопораживанием началось с изготовления гидромуфт, у которых с возрастанием нагрузки часть жидкости из рабочей полости перетекает в дополнительную полость, находящуюся за турбинным колесом. К этому типу гидромуфт относится тяговая гидромуфта Фойт-Синклер (рисунок 5). Насосное колесо 1 соединено с валом двигателя. К нему крепится кожух 4. Турбинное колесо 2 выполнено с дополнительным объемом 5, сообщающимся с тором гидромуфты каналами 3. Насосное и турбинное колеса выполнены с прямыми радиальными лопатками. Самоопораживание в гидромуфтах этого тип происходит за счет разности статического напора между вращающейся дополнительной камерой и рабочей полостью. При работе гидромуфты в диапазоне скольжения от номинального до критического, соответствующего предельной нагрузке, круг циркуляции охватывает периферийную часть рабочей полости, а в дополнительном



1 – кожух; 2 – турбинное колесо; 3 – насосное колесо;  
4 – рычаг блокирующего механизма; 5 – фрикционная муфта

Рис. 10. Гидромуфта автобуса Fiat 306

объеме жидкость образует тонкое кольцо на уровне каналов 3, прижатое к периферии камеры.

При увеличении скольжения выше критического, жидкость, отбрасываемая к периферии турбинного колеса, постепенно перетекает из рабочей полости в дополнительную камеру. При остановленном ведомом вале, когда давление на периферии турбинного колеса становится максимальным, дополнительная камера заполняется полностью. Количество жидкости, оставшейся в рабочей полости, недостаточно для передачи большего момента при дальнейшем увеличении скольжения.

Тяговые гидромуфты используются как разгонные, а также как защитные только в приводах с плавным изменением нагрузки, например, в транспортных машинах и в приводе тех машин, при перегрузках которых время торможения составляет одну и более секунду.

#### Гидромуфты с динамическим самоопораживанием (предельные)

Для защиты рабочей машины и двигателя от мгновенных перегрузок при времени торможения 0,1–0,2 секунды и для улучшения пусковых характеристик привода при тяжелых условиях пусков машин применяют гидромуфты, использующие при внутреннем самоопораживании скоростной напор жидкости. В отличие от тяговых эти гидромуфты (рисунок 11) обладают быстроедействием при динамических нагрузках и более низким коэффициентом перегрузки. В гидромуфтах такого типа часть потока жидкости, прижатого к внутренней стенке турбины, при замедлении числа оборотов ведомого вала, направляется с большей скоростью в предкамеру, расположенную в центральной части насоса (рисунок 11, б). В результате уменьшения жидкости в рабочей полости рост крутящего момента прекращается.

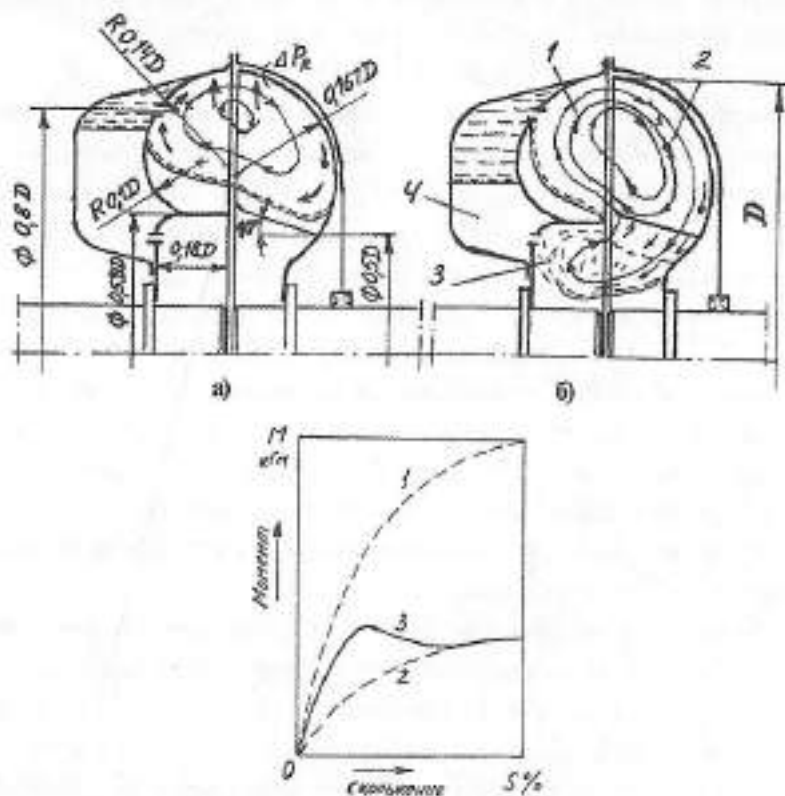
Предельные гидромуфты (рисунок 11, в) работают с постоянным числом оборотов ведущего вала. При работе гидромуфты в пределах скольжения от номинального до критического, соответствующего моменту опораживания, заполнение рабочей полости постоянно и равно максимальному (рисунок 11, а). При этом круг циркуляции охватывает только периферийную часть рабочей полости. При увеличении нагрузки вращение турбинного колеса замедляется и величина напора, реализуемого турбиной, уменьшается.

Так как обороты насосного колеса остаются постоянными, то за счет избытка напора увеличивается скорость циркуляции жидкости в рабочей полости гидромуфты. С увеличением скольжения круг циркуляции



приближается к оси вращения гидромолфты и при определенном критическом скольжении, соответствующем предельной перегрузке происходит слив части жидкости из рабочей полости в предкамеру (рисунок 11,б). Гидромолфта с оставшейся в рабочей полости жидкостью должна работать по характеристике 2 (рисунок 11,в). А общая характеристика гидромолфты в области скольжений от номинального до 100 %, представляет собой кривую 3.

При уменьшении нагрузки на ведомом валу скорость турбинного колеса увеличивается, и жидкость из предкамеры и дополнительного объема перетекает в рабочую полость. Дополнительный объем облегчает пуск двигателя, так как перед пуском и при остановленном приводе часть жидкости из рабочей полости перетекает в него,



- а) работа ГМ при номинальном скольжении ( $s=3\%$ ,  $i=0,97$ );  
 б) работа ГМ при скольжении выше критического: 1 – насосное колесо; 2 – турбинное колесо; 3 – предкамера; 4 – дополнительный объем;  
 в) характеристика гидромолфты: 1 – при максимальном заполнении рабочей полости; 2 – при частичном заполнении; 3 – характеристика предельной гидромолфты.

Рис. 11. Схема предельной гидромолфты

При разгоне двигателя жидкость из дополнительного объема через калиброванные отверстия в стенке насоса постепенно поступает в рабочую полость. Максимальное заполнение рабочей полости, а следовательно, и максимальный передаваемый гидромуфтой момент, достигаются лишь при максимальном числе оборотов двигателя.

Дополнительный объем соединен отверстиями с предкамерой. Размеры отверстий, соединяющих дополнительный объем с предкамерой и с полостью насосного колеса, определяются экспериментально.

Примером такого типа гидромуфт может служить конструкция предельной гидромуфты ТМ-32, разработанной ИГД им. А.А. Скочинского совместно с Гипроуглемашем (рисунок 12). Насосное 1 и турбинное 2 колеса выполнены из листовой стали с приваренными прямыми радиальными лопатками. Турбинное колесо гидромуфты приварено к валу 4 редуктора и на двух шарикоподшипниках центрируется относительно ведущей части, соединенной с валом двигателя через упругую диафрагму 8. Для улучшения наружного обдува и охлаждения в конструкции гидромуфты предусмотрены ребра 5 и трубки 6, проходящие через дополнительный объем 7. Плавкий предохра-

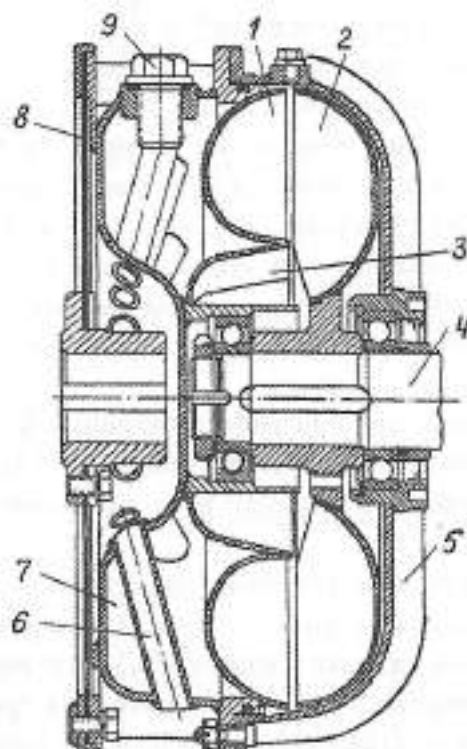


Рис. 12. Предельная гидромуфта ТМ-32

тель 9 срабатывает при нагреве масла свыше 70 градусов по Цельсию и отключает двигатель. Предкамера 3 выполнена с наклонными лопатками и сообщается с дополнительным объемом рядом отверстий. Часть жидкости, заполняющей предкамеру при работе гидромуфты со скольжением выше критического, отбрасывается лопатками предкамеры в рабочую полость, а оставшаяся часть перетекает в дополнительный объем. Благодаря этому исключается провал кривой момента в характеристике гидромуфты, который наблюдается в гидромуфтах с дополнительным объемом при скольжениях 30–50%. Это происходит из-за мгновенного слива жидкости в дополнительный объем и значительного опоражнивания рабочей полости.

К особым свойствам предельных гидромуфт относятся:

– способность ограничивать крутящий момент при резких перегрузках, что позволяет преодолевать встретившееся сопротивление и обеспечить бесперебойную работу машины, а также защитить двигатель, детали привода и машины от мгновенных перегрузок, если они превышают допустимые;

– способность облегчать пуск приводного двигателя при разгоне нагруженной машины или больших маховых масс вхолостую; это свойство позволяет использовать гидромуфту в приводе в сочетании с двигателем внутреннего сгорания. Условием пуска и торможения двигателя внутреннего сгорания наиболее удовлетворяет гидромуфта 1 (рисунок 13) с дополнительным объемом. На рисунке 13,а показано изменение скорости ведомого вала гидромуфты с дополнительным объемом 1, гидромуфты нормального исполнения с большим 2 и с меньшим 3 активными диаметрами, а также жесткой муфты 4 в зависимости от числа оборотов двигателя внутреннего сгорания. На рисунке 13,б показано изменение момента торможения в зависимости от числа оборотов двигателя внутреннего сгорания.

Из графика видно, что при работе гидромуфты с большим активным диаметром для полной остановки ведомого вала необходимо значительно снизить скорость ведущего вала, что возможно не при всяком двигателе.

Гидромуфта с меньшим активным диаметром позволяет остановить ведомый вал при меньшем снижении скорости двигателя, но в области нормальных скоростей работает с низким КПД. Гидромуфта с дополнительным объемом обеспечивает остановку ведомого вала при большой скорости ДВС, сохраняя высокий КПД в рабочей области. Это позволяет при применении гидромуфты в приводе транспортных машин (автомобилей, локомотивов и

т.п.), не выключая двигателя останавливать машину снижением скорости вращения вала двигателя. При этом можно отсоединить трансмиссию от двигателя и быстро осуществить задний ход. При пуске двигателя, под нагрузкой, предельная гидромуфта нагружает его постепенно до полного числа оборотов. Поэтому двигатель внутреннего сгорания с гидромуфтой можно пускать под нагрузкой.

#### Гидромуфты с наклонными лопатками

В некоторых отраслях промышленности находят применение гидромуфты с наклонными лопатками. Установка лопаток под углом 45-60 градусов к плоскости вращения: на турбинном колесе по ходу вперед, а на насосном – назад, является одним из способов снижения коэффициента перегрузки гидромуфты.

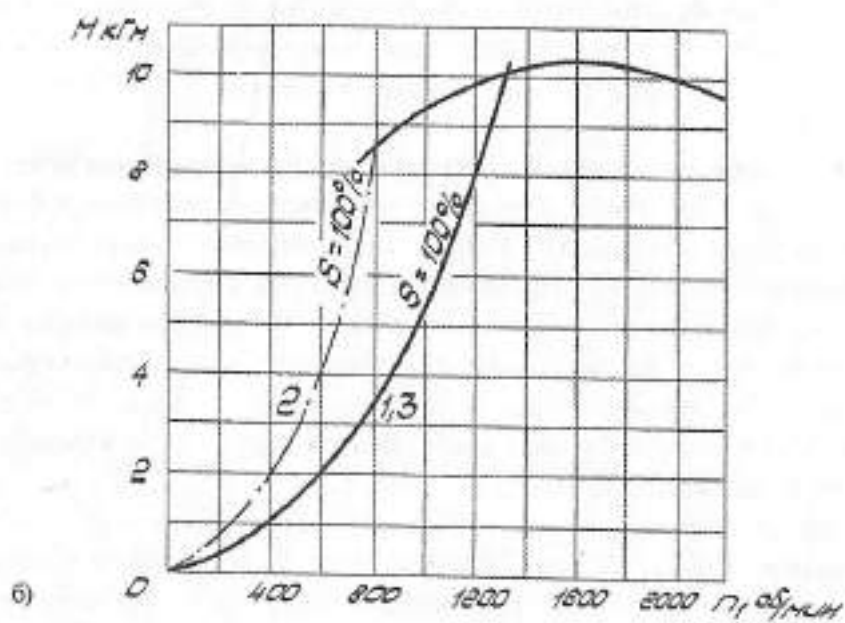
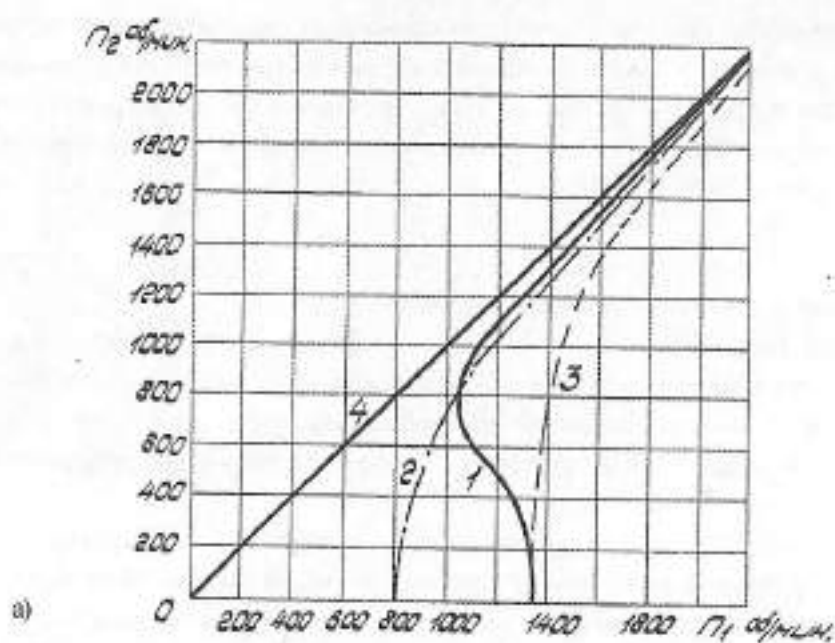
Экспериментально установлено, что гидромуфты с наклонными лопатками, являясь ограничивающими, не способны защищать полностью двигатель и машину от мгновенных перегрузок так, как предельные гидромуфты с прямыми лопатками, работающие по принципу самоопоразнивания рабочей полости. Поэтому в приводе машины, работающих в тяжелых динамических режимах, более перспективными являются предельные гидромуфты с прямыми радиальными лопатками.

#### Влияние гидродинамической муфты на крутильные колебания привода

В 1930 году профессор Г.Феттингер сообщил о выявленном при исследовании гидродинамических передач свойстве ограничивать крутильные колебания. Запись на осциллографе характера крутильных колебаний на ведущем и ведомом валах гидромуфты, источником которых являлся дизель приведена на рисунке 14. «Ограничение» колебаний было переведено как «глушение» и поэтому было широко распространено мнение, что гидродинамические передачи гасят крутильные колебания, являются их демпферами.

Однако приведенные осциллограммы Г.Феттингера, а также экспериментальные данные Е.Кутеля и В.А.Минина, показывают, что гидродинамические передачи фильтруют возникшие на одном из валов крутильные колебания, не пропуская их на другой вал.

Вопросу влияния гидродинамической передачи на крутильные колебания посвящены также работы Я.Г. Пановко, В.Н. Прокофьева, Б.А. Пылова, В.И. Стрельцова и др. В их исследованиях было установлено, что гидротрансформаторы и гидромуфты не могут существенно влиять на кру-



1 – предельная гидромуфта; 2 и 3 – гидромуфта постоянного заполнения с большим и меньшим активными диаметрами; 4 – жесткая муфта

Рис. 13. Характеристика совместной работы различных типов гидромуфт с ДВС

тельные колебания системы, снижая амплитуды этих колебаний.

Одновременно было установлено, что лопастная система рабочих колес гидродинамической передачи не является источником ощутимых крутильных колебаний в трансмиссии.

Рассмотрим понятие «фильтрация» крутильных колебаний на примере гидромуфты. При определении свойств механической упругой муфты как элемента, смягчающего колебания при передаче крутящего момента с одного вала на другой, исходят из угла скручивания обеих половинок муфты относительно друг друга, т.е. из ее упругости при вращении. У гидромуфты в качестве соответствующего параметра может быть принято соотношение между крутящим моментом и скольжением.

Можно считать, что у гидромуфт в рабочей зоне при малом скольжении, зависимость передаваемого крутящего момента от скольжения линейна, т.е.

$$M_1 = M_2 = c \cdot (\omega_1 - \omega_2), \quad (16)$$

где  $c$  – коэффициент сцепления.

Примем, что обороты ведущего вала остаются постоянными, момент инерции машины, приводимой через гидромуфту обозначим через  $I_2$ , а возникающие на ведущем валу гидромуфты крутильные колебания являются гармоническими и имеют постоянную амплитуду, но переменной частоты.

Исходя из принятого, определим колебания крутящего момента  $M_{\max} - M_{\min}$ , соответствующие определенному периодическому изменению скольжения  $(\omega_1 - \omega_2)_{\max} - (\omega_1 - \omega_2)_{\min}$  (рисунок 15).

Обозначим через  $\varepsilon$  отношение амплитуды крутильных колебаний на ведомом валу к амплитуде принудительных крутильных колебаний на ведущем валу:

$$\varepsilon = \frac{\Delta\omega_{2\max}}{\Delta\omega_{1\max}} = \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\omega_0 \cdot \frac{I_2}{c}\right)^2}} \quad (17)$$

На рисунке 16 видна картина затухания колебаний. При малой частоте колебания на ведущем валу, т.е. при  $\omega_0 = 0$  или близком к этому значению, вал рабочей машины полностью следует этим колебаниям:  $\varepsilon = 1$  или близко к ней. Но при возрастании частоты  $\omega_0$  ведомый вал гидромуфты, с которым соединена рабочая машина, все меньше следует за этими колебаниями вследствие своей инертности. Поэтому амплитуда колебаний ведомого вала составляет лишь

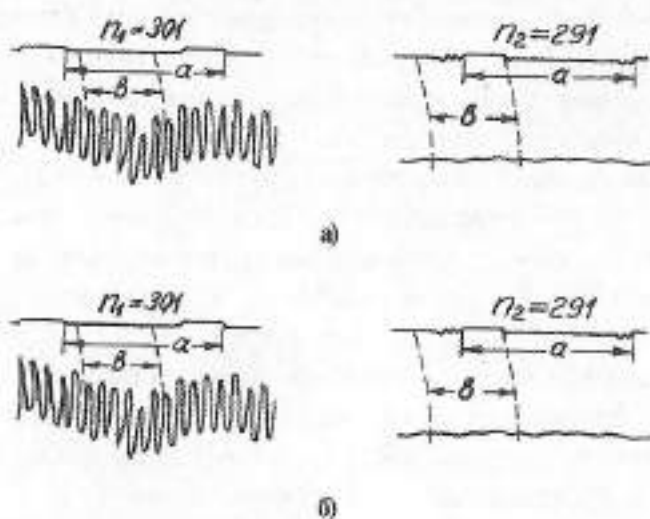


Рис. 14. Диаграмма крутильных колебаний на ведущем и ведомом валах гидромuffты, работающей с дизелем

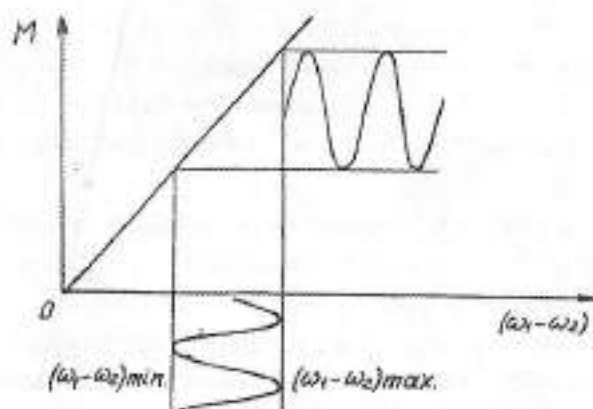


Рис. 15. Зависимость момента от скольжения

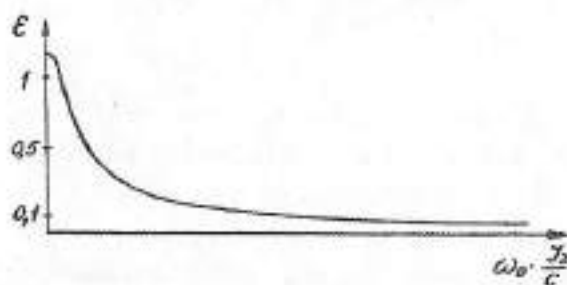


Рис. 16. Зависимость коэффициента фильтрации крутильных колебаний от частоты

небольшую часть амплитуды колебаний ведущего вала.

Коэффициент  $\epsilon$  также уменьшается с увеличением частоты колебаний  $\omega_0$ .

Таким образом, относительно свойств гидродинамической муфты производить «фильтрацию» крутильных колебаний можно заключить следующее:

– гидромуфта разделяет всю систему привода на две части так, что массы и упругие участки одной части не влияют на частоту собственных колебаний другой части; это позволяет у ведущего вала, в частности у колесчатого вала двигателя, иметь высокую частоту свободных колебаний, чтобы отодвинуть опасную критическую скорость выше области рабочих скоростей;

– гидромуфта уменьшает неравномерность передаваемого момента, уменьшает амплитуду колебаний на ведомой стороне по сравнению с амплитудами ведущей стороны и наоборот; чем больше на ведущем валу гидромуфты возрастает частота колебаний  $\omega_0$ , тем меньше ведомая сторона следует за этими колебаниями; в результате амплитуда колебаний ведомого вала составляет лишь небольшую часть амплитуды колебаний ведущего вала. Это свойство гидромуфты называют «фильтрацией» крутильных колебаний;

– демпфирующие свойства гидромуфты, способность гасить крутильные колебания значительно слабее фильтрующих свойств; но в некоторых случаях гидромуфта способна оказать демпфирующее действие на крутильные колебания ведущего вала, вала колеса насоса, являющегося источником колебаний, подобно демпферу вязкого трения, если это колесо расположено далеко от узла колебаний, особенно при больших амплитудах.

### Заключение

Рассмотрев принцип работы, конструкции замкнутых гидродинамических муфт и их особенности можно сделать следующие выводы:

– условиям работы трактора в наибольшей степени удовлетворяет предельная гидромуфта с динамическим самоопораживанием;

– необходимо исследовать работу предельной гидромуфты с дизельным двигателем при частичных режимах работы двигателя с целью определения возможности переключения передач без применения фрикционной муфты с использованием десселератора и тормоза, установленного на валу турбины;

– провести исследования влияния гидродинамической муфты на крутильные колебания системы: двигатель – трансмиссия.



## ЛИТЕРАТУРА

1. *Александровский Д.Я.* Гидродинамические передачи. – М.: Машгиз, 1963. – 346 с.
  2. *Гавриленко Б.А., Семичастнов И.Ф.* Гидродинамические муфты и трансформаторы. – М.: Машиностроение, 1969. – 438 с.
  3. *Маурицио Вольф.* Гидродинамические муфты и трансформаторы. – М.: Машиностроение, 1967. – 386 с.
  4. *Гавриленко Б.А., Рымаренко Л.М.* Исследование работы предельных гидромуфт на прозрачных моделях // Вестник машиностроения. – 1967. – №2.
  5. *Гавриленко Б.А., Рымаренко Л.М.* Исследование динамики гидромуфт с наклонными лопатками // Вестник машиностроения. – 1968. – №7.
  6. *Яременко О.В., Комоненко Т.И.* Границы применения гидродинамических муфт // Вестник машиностроения. – 1970. – №11.
  7. Энциклопедический справочник «Машиностроение». – Т XIII. – 1949.
  8. Экспресс-информация «Тракторостроение». – 1970. – №№ 9, 20, 35, 37.
-

УДК 621.822.114

## НЕСУЩАЯ СПОСОБНОСТЬ ПОДШИПНИКОВ СКОЛЬЖЕНИЯ С ПРОДОЛЬНЫМИ КАНАВКАМИ

А.Н. Гордиенко

*Павлодарский государственный университет  
им. С. Торайгырова*

*Бойлық жырашықты сызғанау подшипниктерінің тарататын күштерінің оның бекітілген жағдайларындағы есептеу өдісі келтірілген, ол әртүрлі жырашық санымен таратушы подшипниктің күшінің коэффициенттерін анықтауға және олардың салыстырмалы сағылаудан және салыстырмалы эксцентриситеттен тәуелділік графиктерін тұрғызуына жағдай жасайды.*

*Излагается метод расчета несущей силы подшипника скольжения с продольными канавками при его фиксированных положениях, который позволяет определять коэффициенты несущей силы подшипника с любым количеством канавок и построить графики их зависимости от относительного зазора и относительного эксцентриситета.*

*The offered method calculation carrier of force sleeve bearing with longitudinal gatters under him fixed situation which permit defined coefficients carries of force bearing with any quantity gatters and form graphs their of the depending from concerning clearances and concerning eccentricity.*

Одним из наиболее эффективных направлений повышения долговечности и безотказности автомобильных и тракторных коробок передач является применение постоянного зацепления шестерен. При включении передачи вращение шестерни относительно вала, на котором она установлена, прекращается и через нее передается крутящий момент. При выключении передачи шестерня начинает вращаться относительно вала без нагрузки. Поэтому, в качестве опор свободно вращающихся шестерен постоянного зацепления целесообразно использовать подшипники скольжения, которые имеют ряд преимуществ по сравнению с подшипниками качения: значительно меньшие диаметральные размеры; выдерживают большие нагрузки при отсутствии скольжения; большая долго-

вечность при обеспечении жидкостного трения; сохраняются геометрические параметры валов при модернизации серийно выпускаемых трансмиссий; малая стоимость изготовления. Смазка таких подшипников осуществляется принудительно насосом или под действием центробежных сил с использованием тангенциальных канавок или радиальных отверстий. В целях предотвращения задиров поверхности скольжения подшипника выполняют с продольными канавками различной конфигурации в поперечном сечении.

Для определения условий работы подшипников скольжения необходимо знать их несущую способность при различных скоростных и смазочных режимах. Известно, что нагрузка, которую выдерживает подшипник скольжения, определяется уравнением Рейнольдса для трехмерного течения жидкости. Принимая, что плотность смазки постоянна и не зависит от температуры, вязкость масла на протяжении несущего слоя постоянна, скорости течения масла вдоль образующей подшипника и по толщине смазочного слоя равны нулю, получают уравнение изменения давления  $p$  по длине смазочного слоя [1, с.141–142; 2, с.63–64]:

$$\frac{dp}{d\varphi} = 6\mu r \frac{hi - h}{h^3 i}, \quad (1)$$

где  $\varphi$  – текущая угловая координата;

$\mu$  – вязкость масла,  $\text{H}/(\text{см}^2 \cdot \text{с})$ ;

$u$  – скорость скольжения,  $\text{м}/\text{с}$ ;

$r$  – радиус подшипника,  $\text{м}$ ;

$hi$  и  $h$  – максимальная и минимальная толщина несущего масляного слоя подшипника,  $\text{м}$ .

Несущую силу подшипника скольжения с продольными канавками определим как геометрическую сумму сил отдельных рабочих площадок при фиксированных положениях подшипника. Принимаем, что цапфа и подшипник неподвижны, а смазка протекает между их поверхностями по окружности со скоростью  $u$ , равной алгебраической сумме окружных скоростей подшипника и цапфы. Принимаем также, что границы несущего масляного слоя совпадают с кромками  $i$ -й площадки подшипника с продольными канавками. Расчетная схема для  $i$ -й площадки приведена на рисунке 1.

$$\text{Учитывая, что } hi = r\psi(1 + \chi \cos \alpha), \quad (2)$$

$$h = r\psi(1 + \chi \cos \varphi), \quad (3)$$

где  $\psi = \delta/r$  – относительный зазор;

$\chi = e/\delta$  – относительный эксцентриситет;

$\delta$  – радиальный зазор, м;

$e$  – эксцентриситет подшипника, м;

$\alpha$  – угол от оси  $y - y$  до начала масляного слоя.

Подставляем (2), (3) в уравнение (1) и, проинтегрировав его в пределах от  $\alpha$  до  $\varphi$ , получим уравнение распределение давления по длине масляного слоя  $i$ -й площадки:

$$p = \frac{6\mu u}{r\psi^2} \cdot \frac{\chi[(\varphi - \alpha)\cos\alpha - \sin\varphi + \sin\alpha]}{(1 + \chi\cos\alpha)^3} \quad (4)$$

Зная распределение давления, определяем несущую силу масляного слоя в зазоре  $i$ -й площадки подшипника в данном фиксированном положении:

$$dP_i = p l r d\varphi = \frac{6\mu u}{r\psi^2} \cdot \frac{\chi[(\varphi - \alpha)\cos\alpha - \sin\varphi + \sin\alpha]}{(1 + \chi\cos\alpha)^3} d\varphi \quad (5)$$

где  $l$  – длина подшипника, м.

Проинтегрировав уравнение (5) в пределах  $i$ -й площадки от  $\alpha$  до  $\beta$ , получим:

$$P_i = \frac{6\mu u}{r\psi^2} \cdot \frac{\chi[0,5(\beta - \alpha)^2 \cos\alpha + \cos\beta - \cos\alpha + (\beta - \alpha)\sin\alpha]}{(1 + \chi\cos\alpha)^3}, \quad (6)$$

где  $\beta$  – угол от оси  $y - y$  до конца несущего масляного слоя.

При количестве рабочих площадок подшипника, равном  $n$ ,

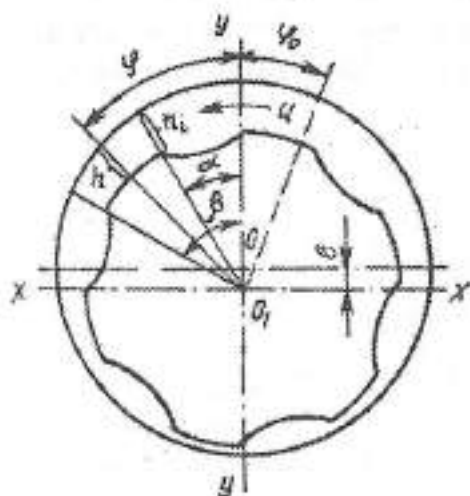


Рис. 1. Расчетная схема подшипника

$$\alpha = \varphi_0 + \frac{2\pi(i-1)}{n}; \beta = \varphi_0 + \frac{\pi(2i-1)}{n}; \beta - \alpha = \frac{\pi}{n},$$

где  $\varphi_0$  – угол поворота подшипника до данного фиксированного положения от первоначально принятого.

Для определения суммарной несущей силы подшипника найдем проекции  $P_i$  на оси  $y - y$  и  $x - x$ .

$$P = \sqrt{\left(\sum_{i=1}^k P_i \cos \gamma\right)^2 + \left(\sum_{i=1}^k P_i \sin \gamma\right)^2}, \quad (7)$$

где  $\gamma$  – угол между силой  $P_i$  и осью  $y - y$ ;

$k$  – количество рабочих площадок подшипника скольжения.

Принимается  $k = (0,2 \dots 0,5)n$ ; меньшие значения – при бедной смазке, большие – при обильной.

Подставим (6) в (7) и введем коэффициент несущей силы:

$$C_p = \frac{6}{\psi^2} \cdot \sqrt{\left(\sum_{i=1}^k C_i \cos \gamma\right)^2 + \left(\sum_{i=1}^k C_i \sin \gamma\right)^2}, \quad (8)$$

$$C_i = \frac{z \left[ 0,5(\beta - \alpha)^2 \cos \alpha + \cos \beta - \cos \alpha + (\beta - \alpha) \sin \alpha \right]}{(1 + z \cos \alpha)^3} \quad (9)$$

$$\text{Тогда } P = \mu n l C_p \quad (10)$$

Формула (9) дает возможность определить значения  $C_p$  при принятых  $\chi, \psi, \varphi_0, k$  и построить графики изменения  $C_p$  от относительного зазора  $\psi$  при разных относительных эксцентриситетах. В качестве примера на рисунке 2 приведен график  $C_p = f(\psi)$  для подшипника с десятью продольными канавками при  $k = 4$ . Такой график позволяет при известной нагрузке оп-

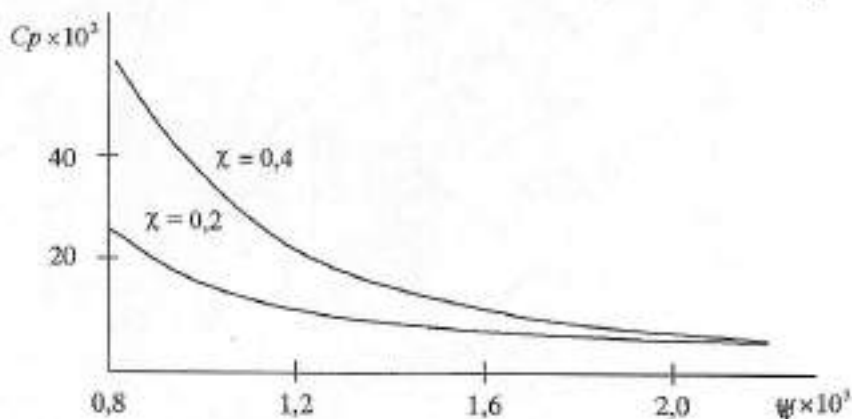


Рис. 2. График коэффициента несущей силы

ределить относительный эксцентриситет, при котором будет работать подшипник скольжения и, следовательно, минимальный зазор, или по допустимому относительному эксцентриситету – нагрузку, которую сможет выдержать подшипник.

Таким образом, предлагаемый метод расчета подшипников скольжения с продольными канавками на рабочей поверхности позволяет определить несущую способность подшипника при известных  $\mu$ ,  $u$ ,  $\chi$ ,  $\varphi_0$  или минимальный зазор при известных  $P$ ,  $\mu$ ,  $u$ ,  $\psi$  и сделать заключение о его работоспособности.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. *Коровичинский М.В.* Теоретические основы работы подшипников скольжения. – М.: Машгиз, 1959. – 404 с.
  2. *Чернавский С.А.* Подшипники скольжения. – М.: Машгиз, 1963. – 244 с.
-

УДК 69.059.7

## РЕКОНСТРУКЦИЯ ЖИЛИЩНОГО ФОНДА НА СОВРЕМЕННОМ ЭТАПЕ

В.И. Данилов, М.Э. Данилова, А.К. Марданов

*Павлодарский государственный университет**им. С. Торайгырова*

*Мақала ескі тұрғын қорының проблематикасын және оның физикалық ескіруінің себептерін қарастырады. Мақала авторлары 50-60 жылдары салынған тұрғын және өндірістік ғимараттар бойынша қазіргі талаптарға сәйкес еместігіне аргументтер келтіреді. Және мақалада ғимараттың қайта құру мен жаңартуға жатқызатын жолдары жазылады.*

*Статья рассматривает проблематику старого жилищного фонда, причины его физического и морального износа. Авторы статьи приводят аргументы, по которым жилые и промышленные здания, построенные еще в 50-60 гг. прошлого века, не отвечают современным требованиям. Также в статье предлагаются пути, с помощью которых здания подлежат реконструкции и модернизации.*

*The work deals with the issues of the old dwelling fund and the causes of its obsolescence. Concerning the facts being revealed the dwellings built from 1950 to 1960 do not meet modern construction requirements. Moreover the author suggests the ways to develop and update this very dwelling fund.*

Практика приспособления зданий под какие-то новые условия, или новое назначение, связанные с этим перепланировка помещений, реконструкция, модернизация и не только отдельных помещений, но и целых комплексов и районов, столь стара, сколько и сама история архитектуры и строительства.

Люди практически всегда нуждались в помещениях, в которых проходили их различные жизненные процессы – от наиболее простых, до самых сложных какими являются современные жилые и общественные здания, сооружения, комплексы. И они их не только строили, но и часто «переделывали», приспособливали свои строения к новым потребностям, которые изменялись с изменениями, порождаемыми различными цивилизациями на разных ступенях развития человечества.

Жилой фонд Павлодара 50-х – 80-х годов претерпевает моральный, физический и функциональный износ. С каждым годом все острее встает вопрос реконструкции зданий с учетом современных требований. Но к проблеме реконструкции надо подходить обдуманно. Примерами неквалифицированного, необдуманного подхода к различным мероприятиям по реконструкции и модернизации изобилует и наше время. Сфера подобных деяний очень широкая и в жилых и в общественных зданиях. И последствия бывают разные – от неудобств и непригодности к дальнейшей эксплуатации до обрушения конструкций. Недавно промелькнуло сообщение по телевидению: «В каком-то городе обрушилось жилое многоэтажное здание». Причина: богатые люди приобрели в доме квартиры, занялись их переустройством, в подвале организовали сауну с бассейном. Совершенно не достаточно одного желания что-то иметь. Хотя конечно, необходимость в модернизации и реконструкции зданий возникают постоянно.

Если говорить о нашем времени, то можно привести на наш взгляд основные причины вызывающие такую необходимость. В первую очередь здесь речь пойдет о массовом, в основном многоэтажном жилом фонде. Итак, что нас не удовлетворяет?

1. Все, что люди создают и что предназначено для удовлетворения их потребностей, со временем входит в противоречие с научно-техническим прогрессом и изменениями в образе жизни общества. Статичность, неизменяемость во времени наших зданий входит в противоречие с постоянно изменяющимися и совершенствующимися жизненным укладом. Нас уже не удовлетворяет тот уровень комфорта жилища, который мог удовлетворять наших дедушек-бабушек, наших родителей, нас самих два-три десятка лет назад. Процесс постепенной утери зданием уровня его функциональной пригодности мы называем моральным старением.

Итак морально устаревшее жилье нуждается в модернизации.

2. Нас могут не удовлетворять и эстетические качества, архитектура массового жилья. Приоритет экономических характеристик массового жилища, который достигался в ущерб архитектуре. Но, такой результат мы имеем, и когда проектирование объектов ведется не профессионалами, и когда здание строится практически совсем без проекта...

Аскетичная, однообразная архитектура со временем вызывает неприятие её обществом и пробуждает потребность модернизации.

3. Экономические соображения могут являться таким побудительным фактором для модернизации и реконструкции.

Высокая стоимость инженерных сетей и благоустройства наиболее



престижных районов города занятых четырех - пятиэтажной застройкой имеет притягательную силу.

Модернизация и реконструкция этих зданий, включая пристройки и надстройки этажей, размещение офисов и объектов торговли, обслуживания – часто более предпочтительна, чем освоение отдаленных от центра, пусть и незастроенных территорий.

4. Побудителем потребности в реконструкции и модернизации зданий может являться совпадение заинтересованности градостроителей и предпринимателей в создании лент торгово-обслуживающих помещений вдоль основных городских улиц, на площадях и т.д. Здесь необходим совершенно новый подход к проблеме использования данного фонда.

Реконструкция пятиэтажных домов – эти слова сейчас для нас привычны, как реконструкция музея, театра, памятников архитектуры. А ведь совсем недавно, ещё какие-то десять лет назад, существовало всеобщее мнение, что эти неказистые дома отжили свой век и их надо как можно скорее сломать, снести, забыть и на их месте создать действительно комфортабельные, удобные и, конечно, многоэтажные здания.

Несмотря на существующие на практике технологические ограничения и недостатки индустриальной базы, современные строительные механизмы позволяют демонтировать часть несущих панелей. Сегодня возможно вырезать алмазной пилой в бетоне отверстие нужного размера, перенести стоек с одного места на другое, организовать санитарно-технические узлы в новом месте, утеплить промерзающие панели, улучшить звукоизоляцию перекрытий. Используя приборы, применяемые в промышленности для проверки скрытых сварных швов, можно проверить качество сварных стыков панелей и выявить здания требующие реконструкции.

Все окружающие нас здания имеют разные характеристики, как по прочности, так и по долговечности. Большинство домов традиционной застройки являются добротными – первоначально прочными и долговечными. Поэтому и с экономической точки зрения их целесообразно сохранять и реконструировать, приближая во всех отношениях к имеющимся требованиям.

Практически сроки службы конструктивных элементов зданий весьма условны – они различны даже в однотипных зданиях. Для современных зданий индустриальной постройки эти сроки пока предположительны, так как еще нет зданий, приблизившихся к расчетному времени службы. Например, многоэтажные дома из крупных панелей предполагается

эксплуатировать 120–150 лет. Этот период можно считать гарантийным сроком их службы. Но так как железобетонные изделия со временем приобретают большую прочность, действительные сроки службы могут оказаться больше расчетных.

Большое значение для эксплуатации зданий имеют запасы или излишки массивности и прочности в их конструкциях. При обследовании и перерасчете, постройки 60-х годов, дают возможность надстраивать этажи, т.е. фундаменты, стены выполнялись с достаточным запасом прочности (с запасом толщины 30%). Таким образом, рассмотренные вопросы реконструкции показывают целесообразность и экономическую обоснованность использования существующего строительного фонда жилых зданий.

Обобщая опыт проектных решений последних лет, нетрудно убедиться в том, что можно выделить две основные группы приемов.

Первая – «локальная» реконструкция предполагающая модернизацию зданий с сохранением или частичным изменением их объемно – пространственных решений и полной перепланировкой квартир. Весь комплекс внутренних преобразований, осуществляемых на этом этапе, включает в себя мероприятия по увеличению общей площади квартир и совершенствованию их функционально – планировочных схем (как правило, за счет уменьшения числа квартир на этаже), устранение конструктивных дефектов, замену инженерных схем, установку мусоропроводов и лифтов, а также значительное увеличение площади подсобных помещений. Новые архитектурные решения крыш составляют одну из важнейших областей реконструкции. В большинстве случаев предпочтение отдают устройству скатных крыш с использованием современных материалов для покрытия различной цветовой гаммы. Установка лифтов и мусоропроводов в пятиэтажных зданиях, пристройка лифтовых шахт.

Вторая более сложная и ответственная группа приёмов – «активная» реконструкция, которая предполагает модернизацию зданий с радикальным изменением их объемно-пространственных решений и полной перепланировкой квартир, что связано с необходимостью внесения ряда структурных изменений в систему ограждающих конструкций, а в ряде случаев и строительного объема дома при увеличении этажности или ширины корпуса. Основной блок мероприятий метода «активной» реконструкции включает обустройство корпуса отдельными элементами помещений и квартир (эркеры), затем отдельными помещениями квартир и, наконец,

отдельными квартирами; надстройку зданий отдельными помещениями квартир и отдельными квартирами.

Среди обстрочных элементов наиболее часто применяется эркер, как традиционный и порой незаслуженно забываемый элемент жилого здания играющий подчас ведущую роль в вопросах индивидуализации его архитектурного облика, решения интерьеров, организации связи комнаты с окружающим пространством. Палитра предлагаемых архитектурно-художественных решений эркером весьма разнообразна – на полукруглом, прямоугольном, треугольном и многоугольных планах с различными вариантами остекления, включая сплошное, в формах современного дизайна или исторических реминисценций. Объединяет такие решения общность конструктивно-технологической схемы организации пристроек преимущественно в зонах фасадных поверхностей общих комнат, где расширение существующего оконного проема с балконной дверью не вызывает серьезных технических трудностей, в ряде случаев с заменой наружной плоской панели эркерным модулем, в самостоятельной конструктивно-опорной системе.

Таким образом, современная трактовка понятия реконструкции предполагает наличие целой системы подходов к решению этой проблемы, каждый из которых, в конечном счете, как правило, всегда основывается на применении сразу нескольких приемов (как «локальных», так и «активных» или их комбинаций), увязанных в единую творческую концепцию. Это дает возможность решать одновременно целый комплекс сопряженных задач – от архитектурных до социально-экономических, что важно иметь в виду, так как многие из них встают перед архитекторами впервые. Сюда относятся организация реконструктивного процесса в условиях функционирующей структуры расселения, переустройство жилища для конкретного потребителя, скорейшая адаптация приемов реконструкции к условиям существующей индустриальной базы и другие. Детальный учет этих обстоятельств и ситуационных факторов обеспечат эффективное управление процессом реабилитации массового жилища и создание высококачественной жилой среды на территории районов пятиэтажного строительства старой застройки.

---

УДК 677.051.16

## ВЫНУЖДЕННЫЕ КОЛЕБАНИЯ СИСТЕМЫ С НЕЛИНЕЙНОЙ ЖЕСТКОСТЬЮ ВИБРОИЗОЛЯТОРА

А. Джураев, А. Мукимов

*Ташкентский институт текстильной и легкой промышленности*

*Аталмыш мақалада сызғыссыз қаттылықты жаңа діріл изоляторының есептік сызбалары берілген. Мақала авторларымен діріл изоляторы корпусы серпілісінің вариациялық заңының зерттелуі жүргізілген. Тазалау және дженирлеу технологиялық үрдісінің кестесі беріледі, сол арқылы талпық болуші барлық технологиялық үрдіс тұрақтанады және сапалық көрсеткіш жоғарылайды.*

*В данной статье даются расчетные схемы нового виброизолятора с нелинейной жесткостью. Авторами статьи были проведены исследования вариации закона колебаний корпуса виброизолятора. Дается таблица технологических процессов дженирования и очистки, при которых повышаются качественные показатели и стабилизируется весь технологический процесс волокноотделителя.*

*The article gives design schemes of a new vibro isolator with non-linear rigidity. The authors of the article conducted research of body oscillation law variations. Also there is a table of дженирования refinement processes, that increase quality indices and stabilize the whole technological process of fibre separator's.*

Для снижения влияний на фундамент вибраций пыльных и валичных волокноотделителей нами был рекомендован новый виброизолятор с нелинейной жесткостной характеристикой.

Для составления расчетной схемы с рекомендуемым виброизолятором целесообразно обосновать необходимую нелинейность жесткости или количество слоев виброизолятора.

При этом для трехслойного виброизолятора справедливо соотношение:

$$C_1 > C_2 > C_3 \quad (1)$$

Для  $n$ -слойного виброизолятора справедливо соотношение:

$$C_n < C_{n-1} < \dots < C_2 < C_1 \quad (2)$$

При применении виброизолятора с нелинейной жесткостью необходимо учитывать пределы изменения частоты возмущающей силы.

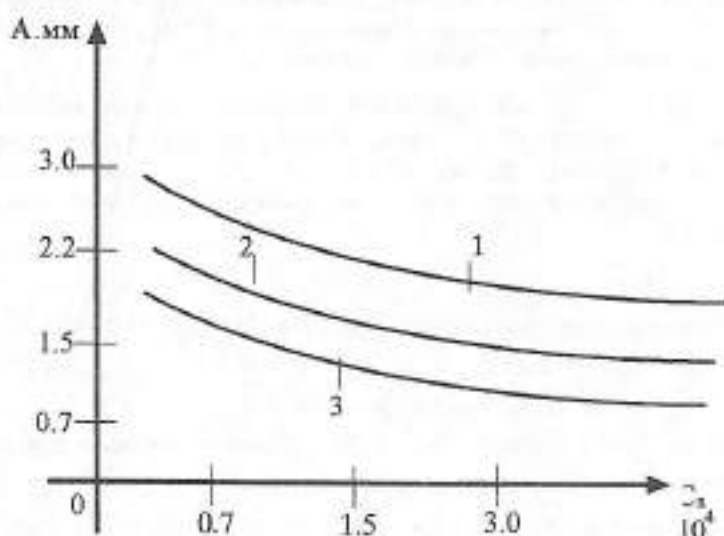
Уравнение движения системы с нелинейной жесткостью имеет вид

$$m_x \ddot{x} + b_x \dot{x} + C_1 x + C_2 x^3 = F_0 \sin(\omega t + \beta) \quad (3)$$

пример решения задач осуществляем для машин первичной обработки хлопка.

Были рассмотрены свободные и вынужденные колебания корпуса джина, при  $\omega = 220$  об/мин,  $m_x = 1460$  кг.

Анализ колебания показывает три формы изменения, две из которых являются основными. При этом основная частота собственных колебаний находится в пределах 10.5...10.9 Гц, а низкочастотное составляющее колебаний 31.5...33 Гц. Размах колебаний при свободных колебаниях корпуса валичного волокноотделителя доходит до 3,1 мм, а амплитуды низкочастотных составляющих изменяется в пределах 0.1...0.5 мм. Амплитуда вынужденных колебаний находится в пределах 2.9...3.1 мм. При вынужденных колебаниях влияние собственных частот является ощутимым. Фактически амплитуды вынужденных колебаний (низкочастотная)

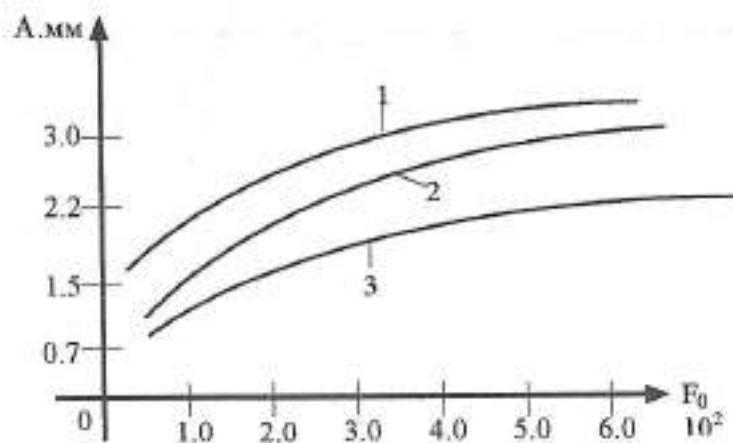


Данные получены при: 1 — при  $m_x = 1200$  кг, 2 — при  $m_x = 1460$  кг, 3 — при  $m_x = 1700$  кг, и при  $\omega = 220$  об/мин.

Рис. 1. Графики изменения амплитуды колебаний корпуса валичного волокноочистителя при вариации приведенной жесткости виброизолятора

изменяется в пределах 1.6...3.5 мм. При этом следует отметить влияние низкочастотной, которая составляет от  $\cos 3r_1 t$  и  $\sin 3r_1 t$  по амплитуде до 0.3 мм.

Важными являются исследования при различных значениях коэффициента жесткости слоев упругих элементов виброизолятора валичного волокноотделителя с учетом сил диссипации. При наличии  $b_n = 3.0 \cdot 10^3$  Н/мм, и увеличении  $c_1 = 1.5 \cdot 10^4$  Н/мм,  $c_2 = 2.0 \cdot 10^4$  Н/мм, амплитуда колебаний уменьшается до 1.4...1.6 мм. Здесь особенно следует отметить, что при вынужденных колебаниях отсутствует влияние собственной частоты на характер колебания корпуса волокноотделителя. Кроме того, наблюдается сдвиг фазы колебаний в пределах  $15^\circ \dots 110^\circ$  в диапазоне изменения коэффициента диссипации  $b_n$  виброизолятора. На основе анализа закона колебаний корпуса валичного волокноотделителя были построены кривые зависимости изменения амплитуды колебаний корпуса валичного волокноотделителя при вариации приведенной жесткости виброизолятора и возмущающей силы от неуравновешенных масс и сил технологического сопротивления. На рис. 1 и 2 представлены полученные кривые зависимости. Из рис. 1 видно, что с увеличением значений приведенной жесткости виброизолятора уменьшается амплитуда колебаний корпуса валичного джина. Следует отметить, что при большой массе волокноотделителя амплитуда колебаний изменяется незначительно (при  $m_n = 1700$  кг) 1.9...0.7 мм, нежели при меньшей массе корпуса (при  $m_n = 1200$  кг) 3.3...1.2 мм. На рис. 2 с увеличением силы возмущения (амплитуды возмущения) от вращающихся валов волокноотдели-



Кривые 1 – при  $C_n = 0,44 \cdot 10^4$  Н/мм, 2 – при  $C_n = 0,86 \cdot 10^4$  Н/мм,  
3 – при  $C_n = 1,9 \cdot 10^4$  Н/мм, полученный при  $m_n = 1460$  кг.

Рис. 2. Графики изменения амплитуды колебания корпуса валичного волокноотделителя функции возрастающей нагрузки

теля (вал рабочего валика) нелинейно увеличивается амплитуда колебаний корпуса волоконотделителя. Так, при  $F_0 = 100$  Н,  $A = 1.4$  мм,  $C_n = 0.44 \cdot 10^6$  Н/мм,  $m_n = 1460$  кг, а при  $F_0 = 100$  Н,  $A = 3.1$  мм.

На основе проведенных исследований рекомендуется основные параметры виброизоляторов машин, которые приведены в таблице 1.

Выбрав необходимые параметры виброизоляторов рассмотренных машин первичной обработки хлопка, можно обеспечить значительное уменьшение амплитуды колебаний, размах скоростей, тем самым стабильности технологических процессов. При этом повышаются качественные показатели технологических процессов джинирования и очистки.

Таблица 1

## Рекомендуемые параметры, виброизоляторов машин

№	Наименование технологической машины	$\frac{m_n(\text{кг})}{\omega(\text{об/мин})}$	$B_1 \cdot 10^3$ Нс/мм	$C_1 \cdot 10^4$ Н/мм	$C_2 \cdot 10^4$ Н/мм
1	Валичный джин	1460/220	2.5 ... 3.5	1.0 ... 1.2	2.0 ... 2.5
2	Пильный джин	790/730	2.5 ... 3.0	1.0 ... 1.5	2.5 ... 3.0
3	Очиститель хлопка ЧХ-3М2	3369/900	2.0 ... 3.5	1.5 ... 2.0	3.0 ... 3.5
4	Волокноочиститель 300П-М	2150/1450	0.5 ... 1.5	0.5 ... 1	2.0 ... 2.5

УДК 539.3:534.1

## ВЫНУЖДЕННЫЕ КОЛЕБАНИЯ ОРТОТРОПНЫХ ПЛАСТИН ПРИ РАЗЛИЧНЫХ ГРАНИЧНЫХ УСЛОВИЯХ

С.К. Ельмуратов, А.Ф. Ельмуратова,  
Павлодарский государственный университет  
им. С. Торайгырова

Н.Т. Жадрасинов  
Карагандинский государственный технический университет

*Мақалада динамикалық күштер әсері нәтижесіндегі пластиналар есебі қарастырылады. Есептеу ЭЕМ пайдалану арқылы соғыс айырма әдісі бойынша жүргізіледі.*

*В статье рассматривается расчет пластин на динамические воздействия. Расчет ведется методом конечных разностей с применением ЭВМ.*

*Calculation of plates on dynamic effects is considered in the article. The calculation is carried out with the help of final differences method using ECM.*

Рассматривается прямоугольная ортотропная пластина при действии произвольно расположенных возмущающих нагрузок и сосредоточенных масс. Учитываются упругое основание пластины, шарнирное опирание или защемление по контуру и свободный край. Динамическая нагрузка и сосредоточенные массы могут быть приложены весьма произвольно. Дифференциальное уравнение вынужденных колебаний тонких пластин имеет вид [1]:

$$D_1 W_{,xxxx} + 2D_2 W_{,xxyy} + D_3 W_{,yyyy} + \frac{q}{g} W_{,zz} + KW = F, \quad (1)$$

Здесь поперечная нагрузка задается в виде:

$$F = R(A \cos \Theta t + B \sin \Theta t) - \frac{P}{g} W_{,zz} \quad (2)$$

В формулах (1) и (2) принято:  $D_1, D_2, D_3$  – цилиндрические жесткости;  $W$  – прогиб пластин;  $q$  – интенсивность нагрузки на единицу площади;  $K$  –



коэффициент упругости грунта;  $\Theta$  – частота возмущающей силы;  $R$  – амплитудное значение возмущающей силы;  $\frac{P}{g}$  – интенсивность массы.

Решение уравнения (1) ищем в виде

$$W(x, y, t) = W(x, y)(A \cos \Theta t + B \sin \Theta t) \quad (3)$$

с учетом (2) и (3) дифференциальное уравнение (1) примет вид

$$\eta_1 W_{,xxxx} + 2W_{,xyxy} + \eta_2 W_{,yyyy} - \frac{q}{gD_3} \Theta^2 W - \frac{P}{gD_3} \Theta^2 W t + \frac{K}{D_3} W = \frac{R}{D_3} \quad (4)$$

В (4) приняты обозначения для соотношений цилиндрических жесткостей

$$\eta_1 = \frac{D_1}{D_3}, \quad \eta_2 = \frac{D_2}{D_3} \quad (5)$$

Для решения дифференциального уравнения (4) применим метод конечных разностей [2,3].

$$\left[ \varphi_1 + \left( \frac{K}{D_3} - \frac{q}{gD_3} \Theta^2 W - \frac{P}{gD_3} \Theta^2 W \right) \lambda_1^2 \lambda_2^2 \right] W_i + \varphi_2 (W_K + W_l) + \varphi_3 (W_n + W_o) + \varphi_4 (W_p + W_q + W_r) + \varphi_5 (W_x + W_y) + \varphi_6 (W_u + W_v) = \frac{R \lambda_1^2 \lambda_2^2}{D_3} \quad (6)$$

где коэффициенты при прогибах определяются выражениями

$$\varphi_1 = \frac{6\eta_1}{\mu^2} + 8 + 6\eta_2 \mu^2, \quad \varphi_2 = -\frac{4\eta_1}{\mu^2} - 4, \quad (7)$$

$$\varphi_3 = -4\eta_2 \mu^2 - 4, \quad \varphi_4 = 2, \quad \varphi_5 = \frac{\eta_1}{\mu^2}, \quad \varphi_6 = \eta_2 \mu^2.$$

Для прямоугольных пластин  $\mu = a/b$  – соотношение сторон.

Сосредоточенные массы и возмущающие силы определяются выражениями

$$P_0 = P \lambda_1 \lambda_2, \quad R_0 = R \lambda_1 \lambda_2 \quad (8)$$

Аппроксимируем пластину регулярной сеткой и запишем уравнение (6) для  $i$ -ой точки сеточной области [4].

$$\left( \varphi_1 + \frac{K a^4}{S^4 \mu^2 D_3} - \frac{P_0 \Theta^2 a^2}{g D_3 S^2 \mu^2} - \frac{q \Theta^2 a^4}{S^4 \mu^2 D_3} \right) W_i + \varphi_2 (W_K + W_l) + \varphi_3 (W_n + W_o) + \varphi_4 (W_p + W_q + W_r) + \varphi_5 (W_x + W_y) + \varphi_6 (W_u + W_v) = \frac{R_0 a^2}{D_3 S^2 \mu^2} \quad (9)$$

где  $S$  – число шагов сетки.

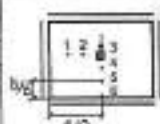
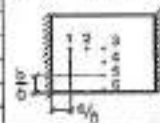
Точки приложения сосредоточенных масс и возмущающих сил можно принимать произвольно в любом узле сеточной области. Граничные условия шарнирного опирания, защемления и свободного края могут варьироваться по любой стороне пластинки или на участке стороны. Упругое основание также может учитываться на участке пластины или по всему основанию. Программа на ЭВМ составлена для произвольного числа шагов сетки  $S$ . В зависимости от  $S$  программа автоматически формирует нужное число уравнений в конечных разностях. Задачи решались при числе шагов сетки  $S=6,8,10$ . При  $S=10$ , без уточнения значений расчета, расхождение результатов с имеющимися точными решениями [5] лежит в пределах 3%.

Исследовалось влияние внешней нагрузки и граничных условий на прогибы пластины. Значения прогибов в характерных точках пластины приведены в таблице 1.

В задачах с 1 по 3 рассматривается пластина, шарнирно опертая по всему контуру. Величина массы  $P_0$  меняется. В задаче 4 рассматривается эта же пластина, но с учетом упругого основания с коэффициентом упругости грунта  $K=0,5$ . В задаче 5 рассматривается пластина, защемленная по всему контуру. В этих задачах сосредоточенная масса и возмущающая сила приложены в центре пластины. В задачах с 6 по 11 исследуется влияние положения массы и возмущающей силы на прогибы пластины. Внешняя нагрузка поочередно прикладывается в точках 1, 2, ..., 6. Пластина защемлена по двум противоположным сторонам, а две другие свободны.

Таблица 1

Результаты расчета пластины на вынужденные колебания

№ задачи	Схема пластины	K	$P_0 \cdot 10^2$ кг	$R_0 \cdot 10^3$ кг	Положение массы, $P_0$	Прогибы в отмеченных точках					
						$W_1$	$W_2$	$W_3$	$W_4$	$W_5$	$W_6$
1		0,0	0,0	2,0	3	0,00354	0,00660	0,00838	0,00660	0,00354	0,0
2		0,0	2,5	2,0	3	0,00401	0,00698	0,00895	0,00698	0,00401	0,0
3		0,0	10,0	2,0	3	0,00583	0,01051	0,01350	0,01350	0,01051	0,0
4		0,5	10,0	2,0	3	0,00254	0,00507	0,00676	0,00507	0,00254	0,0
5	Контур защемлен	0,5	10,0	2,0	3	0,00076	0,00225	0,00357	0,00225	0,00076	0,0
6			10,0	2,0	1	0,00131	0,00131	0,00101	0,00089	0,00081	0,00105
7			10,0	2,0	2	0,00169	0,00445	0,00415	0,00375	0,000387	0,00573
8			10,0	2,0	3	0,00138	0,00406	0,00504	0,00484	0,00411	0,00502
9			10,0	2,0	4	0,00112	0,00332	0,00463	0,00674	0,00721	0,01031
10			10,0	2,0	5	0,00072	0,00240	0,00335	0,00699	0,01355	0,02319
11			10,0	2,0	6	0,00001	0,00044	0,00075	0,00374	0,001101	0,02677

Представленный в работе класс задач представляет практическую

ценность при проектировании прямоугольных плит на упругом основании с комбинированными граничными условиями.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. *Ельмуратова А.Ф., Ельмуратов С.К.* Расчет ортотропных пластин на вынужденные колебания. // Наука и техника Казахстана.– Павлодар: ПГУ, 2002.– № 4.
  2. *Варвак П.М.* Развитие и приложение метода сеток к расчету пластинок.– Киев: АН УССР, 1949.– Ч.1.; 1959.– Ч.2.
  3. *Варвак П.М., Рябов А.Ф.* Справочник по теории упругости.– Киев: Будивельник, 1971.
  4. *Боженос А.Ш., Ельмуратов С.К.* Влияние сосредоточенных масс на вынужденные колебания прямоугольных ортотропных пластин. // Строительная механика.– Караганда: КППИ, 1978.– Вып. 3.
  5. *Киселева И.В.* Колебания опертой по контуру прямоугольной ортотропной пластинки с учетом сосредоточенной массы в месте приложения вибрационной нагрузки.– М.: МАДИ, 1957.– Вып. 21.
-

УДК 519.87

## МОДЕЛИРОВАНИЕ УДЕЛЬНОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ ГРУНТА С ПРИМЕНЕНИЕМ НЕЧЕТКОЙ ЛОГИКИ

Н.М. Зайцева

*Павлодарский государственный университет**им. С. Торайгырова*

*Мақала айқынсыз логика негізінде «дымқылдық» параметрінен топырақтың удельді кедергісін анықтаудың регрессиясі моделін шығаруға арналған. Эксперимент барысында алынған нәтижелермен модельдеу қорытындысын салыстыруы келтірілген.*

*Статья посвящена разработке регрессионной модели определения удельного сопротивления грунта от параметра «влажность» на основе нечеткой логики. Приводится сравнение результата моделирования с данными, полученными в ходе эксперимента.*

*Article is devoted to development regression model of definition of specific resistance of ground from parameter "humidity" on the basis of fuzzy logic. Comparison of result of modelling with the data received during experiment is resulted.*

Существует ряд задач электроэнергетики, при решении которых используется удельное сопротивление грунта. Анализ информации по определению удельного сопротивления, дает следующую картину: значения удельного электрического сопротивления грунта могут колебаться от  $10^{-5}$  Ом·м (графит) до  $10^6$  Ом·м (каменная соль) [2], помимо таких пределов значений для разного рода горных пород известно, что удельное электрическое сопротивление грунта весьма существенно зависит от влажности и температуры, а также и структуры породы [1,3].

Существующие в литературе эмпирические зависимости применимы лишь для определенного диапазона значений какого-либо из параметров, либо для определенного типа грунта. Например, зависимость расчета удельного сопротивления от температуры [2]:

$$\rho_T = \rho_{20} \cdot e^{-0.022(T-20)}, \quad (1)$$

где  $\rho_T, \rho_{20}$  – сопротивления при температурах  $T$  и  $20^\circ\text{C}$ , неплохо работает на интервале температур от  $4^\circ\text{C}$  до  $24^\circ\text{C}$  (ошибка составляет 4%), но от  $4^\circ\text{C}$  и ниже формула (1) начинает давать большую погрешность, а в отрицательном диапазоне температур вообще не применима.

Эмпирическая формула расчета удельного сопротивления в зависимости от влажности [2]:

$$\rho = a \cdot \rho_w \cdot \Phi^{-m} \cdot S^{-n}, \quad (2)$$

где  $\rho_w$  – удельное электрическое сопротивление содержащейся в породе воды,  $\Phi$  – пористость,  $S$  – доля порового объема, заполненного водой,  $a, m, n$  – эмпирические параметры, не применима для всех видов грунта.

Так, например, разброс значений удельного сопротивления песка, рассчитанного по формуле (2) с использованием следующих значений параметров, взятых из справочника [2]: для воды речной  $\rho_w = 10 \text{ Ом}\cdot\text{м}$ ,  $\Phi = 0.15$ ,  $a = 0.62$ ,  $m = 2.15$ ,  $n = 10$  для влажности менее 30% и  $n = 20$  для влажности более 30%, составил для сильно увлажненного и сухого песка соответственно  $370 \text{ Ом}\cdot\text{м}$  и  $70 \cdot 10^6 \text{ Ом}\cdot\text{м}$  соответственно. В то же время экспериментальные данные и данные того же справочника дают совсем другие значения: для сильно увлажненного песка удельное электрическое сопротивление составляет  $10\text{--}60 \text{ Ом}\cdot\text{м}$ , а для сухого песка –  $1500\text{--}4200 \text{ Ом}\cdot\text{м}$ .

В виду того, что задачи определения удельного сопротивления грунта являются довольно сложными в дискретной постановке и для их решения не может быть в полной мере использована традиционная математика, решено было предпринять попытку разработать модель определения удельного электрического сопротивления различных типов грунта в зависимости от влажности на основе теории нечетких множеств, разработанной американским математиком Лотфи Заде.

Лотфи Заде расширил классическое канторово понятие множества, допустив, что функция принадлежности элемента множеству может принимать любые значения в интервале  $[0;1]$ . Такие множества были названы им нечеткими (fuzzy).

Допустим, что  $E$  – универсальное множество,  $x \in E$ , а  $R$  – некоторое свойство множества. Нечеткое множество  $A$  – подмножество  $A \in E$ , в котором для элементов этого множества нет однозначного ответа «да-нет» относительно свойства  $R$ . При этом функция принадлежности  $\mu_A(x)$  принимает значения в упорядоченном множестве  $M = [0,1]$  и указывает степень (или уровень) принадлежности элемента  $x$  подмножеству  $A$ , где  $M$  – множество принадлежностей.

Для определения функций принадлежности используются прямой и косвенный методы. В прямом методе задается для каждого  $x \in E$  значение  $\mu_A(x)$  или определяется функция совместимости. Обычно, прямые методы используются для измеримых понятий, таких как давление, температура и т.д. Косвенный метод определения значений функции принадлежности используется в случаях, когда нет измеримых свойств, через которые определяется интересующее нас нечеткое множество.

Суть модели заключается в следующем; для каждого вида грунта должна быть разработана система размытых правил. При этом она [4] может быть записана следующим образом:

$$\begin{aligned} &IF (x_1 \in A_{1i}) I(x_2 \in A_{2i}) I \dots I(x_n \in A_{ni}) \\ &THEN y = \eta_i(x), i = 1, \dots, M, \end{aligned} \quad (3)$$

где  $A_{ji}$  – нечеткое подмножество для переменной  $x_j$  с функцией принадлежности  $\mu_{A_{ji}}(x)$ ,  $M$  – число правил,  $y = \eta_i(x)$  – функция, определяющая локальное решение модели от набора  $x = (x_1, \dots, x_n)$ . При этом  $A_{ji}$  – это нечеткие интервалы значений параметров, например, параметр влажность,  $M$  – число интервалов.

Функции принадлежности обладают тем свойством, что в любой точке выполняется условие:

$$\sum_{i=1}^M \mu_{A_{ji}}(x) = 1 \quad (4)$$

Пример набора трех функций имеет вид, показанный на рисунке 1. На данном рисунке в качестве параметра  $x$  имеется в виду влажность  $v$ , измеряемая в процентах.

Для этих функций принадлежности имеет место следующее: в области, где соседние  $\mu_i$  и  $\mu_{i+1}$  имеют ненулевые значения, всегда выполняется равенство  $\mu_{i+1} = 1 - \mu_i$ .

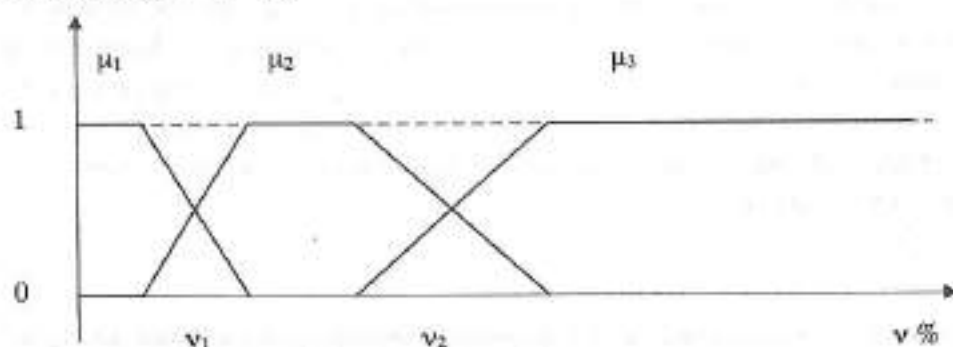


Рис. 1. Семейство функций принадлежности

Для одномерной зависимости, в нашем случае речь идет о параметре влажность грунта, система размытых правил приобретает вид:

$$\text{IF } x \in A_i \text{ THEN } y = \eta_i(x), \quad i = 1, \dots, M, \quad (5)$$

где  $A_i$  имеют функцию принадлежности  $\mu_{A_i}(x)$ , а общее уравнение моделирования удельного сопротивления приобретает следующий вид:

$$\rho = \sum_{i=1}^M \eta_i \cdot \mu_{A_i}(x), \quad (6)$$

Функции  $\eta_i$  строились в виде линейных регрессий:

$$\eta_i = b_0 + b_1 \cdot x, \quad (7)$$

Предлагаемая модель была разработана следующим образом:

– весь диапазон влажности, разбивался на три интервала, три нечетких подмножества, каждый из которых соответствовал одному из трех понятий: «слегка влажный», «влажный», «сильно влажный», причем, диапазону «слегка влажный» был выбран приблизительно интервал значений параметра влажность от 0% до 4%, «влажный» – интервал значений от 4% до 16%, «сильно влажный» – интервал значений от 16% до насыщения грунта водой;

– проводились эксперименты по измерению удельного сопротивления грунта с целью построения регрессионных зависимостей для каждого из интервалов влажности, причем, численно интервалы перекрывались. Например, данные для построения регрессионной зависимости, относящиеся к интервалу «слегка влажно» снимались в интервале влажности от 0% до 5%, а данные, относящиеся к интервалу «влажный» – от 4% до 17%;

– определялись значения параметров функции  $\eta_i(x)$   $b_0$  и  $b_1$ , для каждого из трех нечетких интервалов  $[0, v_1]$ ,  $[v_1, v_2]$  и  $[v_2, v_{\text{насыщение}}]$  с помощью метода наименьших квадратов;

– затем строились функции принадлежности  $\mu_i$  (для нашей модели они имеют вид, показанный на рисунке 1, где  $v$  – влажность). Значения интервала влажности  $[0, v_1]$ ,  $[v_1, v_2]$  и  $[v_2, v_{\text{насыщение}}]$  были определены для каждого вида грунта с помощью экспертных оценок приблизительно. Функции принадлежности данной модели представлены формулами, приведенными ниже:

$$\mu_1 = \begin{cases} 1, & 0 \leq x \leq 2 \\ \frac{6-x}{4}, & 2 < x < 6 \\ 0, & x \geq 6 \end{cases}, \mu_2 = \begin{cases} 0, & 0 \leq x < 2 \\ 1 - \frac{6-x}{4}, & 2 \leq x < 6 \\ 1, & 6 \leq x < 14 \\ \frac{18-x}{4}, & 14 \leq x < 18 \\ 0, & x \geq 18 \end{cases}, \mu_3 = \begin{cases} 0, & 0 \leq x < 14 \\ 1 - \frac{18-x}{4}, & 14 \leq x < 18 \\ 1, & x \geq 18 \end{cases} \quad (7)$$

– искомая функция строилась с помощью формулы (6), в нашем случае она получалась путем «нечеткого склеивания» трех регрессионных линейных функций, параметры которых, например, для песка были следующие:

- для интервала «слегка влажно» –  $b_1 = 761$ ,  $b_2 = -165$ ,
- для интервала «влажно» –  $b_1 = 132.114$ ,  $b_2 = -8.957$ ,
- для интервала «сильно влажно» –  $b_1 = 43.265$ ,  $b_2 = -1.303$ .

В результате моделирования удельного сопротивления песка в зависимости от влажности была получена зависимость, изображенная на рисунке 2. Назовем эту модель «модель1».

На этом же рисунке приведен и график удельного сопротивления, полученный в ходе эксперимента. Анализ графиков позволяет утверждать, что полученная модель гораздо точнее позволяет определить удельное сопротивление песка, чем зависимость (2). Так наибольшее отклонение моде-

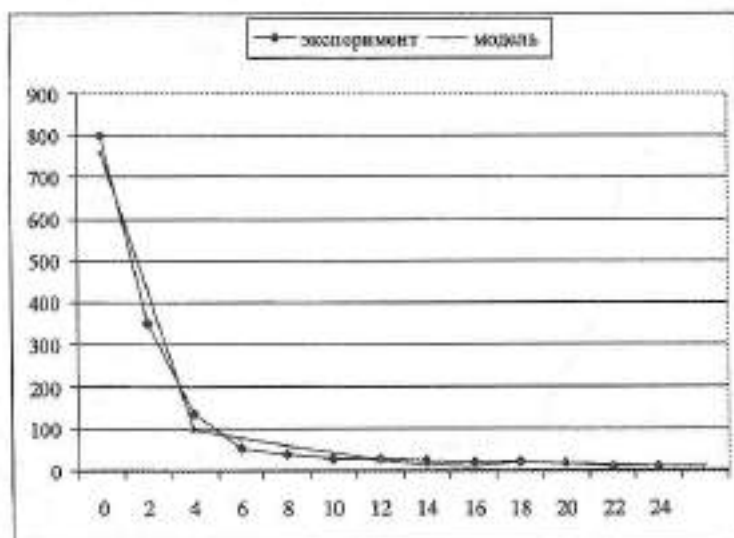


Рис. 2. График удельного сопротивления песка в зависимости от влажности, полученные экспериментально и с помощью модели1



ли от экспериментальных данных было получено на участка «слегка влажный» – 78 Ом·м, а зависимость (2) на этом же интервале дает отклонение  $69,999 \cdot 10^6$  Ом·м. На интервале «сильно влажно» наибольшее отклонение модели от эксперимента составило 1.56 Ом·м, в то же время по зависимости (2) эта разница составляет 360 Ом·м.

Но для определенного круга задач такая точность определения удельного сопротивления может не устроить. В этом случае можно функцию  $\rho$  искать в виде показательной зависимости, а удельное сопротивление в этом случае будет определяться следующим образом:

$$\rho = \sum_{i=1}^M (b_0 \cdot b_i^x) \cdot \mu_{M_i}(x). \quad (8)$$

В результате моделирования была получена функция, график которой изображен на рисунке 3. Назовем эту модель «модель2». Максимальное отклонение модели от экспериментальных данных составило 19.4 Ом·м для интервала «слегка влажный», а для интервала «сильно влажный» отклонение не превышало 1.5 Ом·м.

Сравнение графиков позволяет с уверенностью сказать, что полученная модель может успешно применяться для определения удельного сопротивления любого типа грунта при изменении влажности. Достаточно лишь определить при несложных лабораторных экспериментах параметры регрессионных зависимостей для ряда интервалов влажности. Полученные

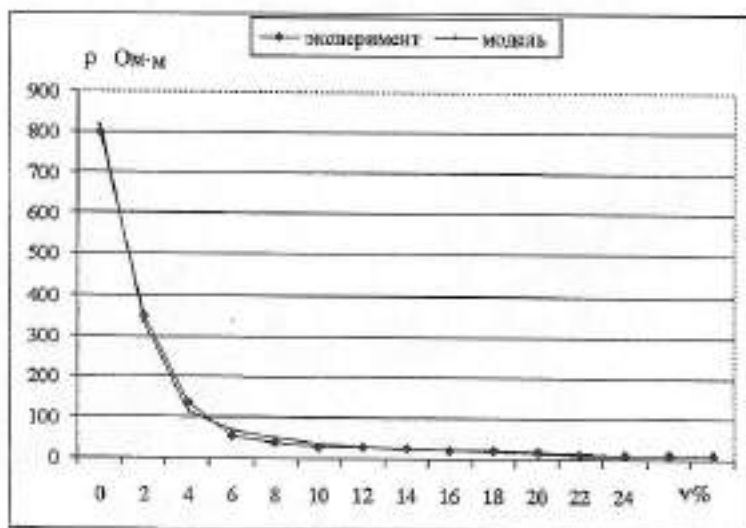


Рис. 3. Графики удельного сопротивления песка в зависимости от влажности, полученные экспериментально и с помощью модели 2

зависимости могут быть применены как на этапе проектных работ, так и для разработки алгоритмов искусственного интеллекта для релейной защиты энергоустановок.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Бургсдорф В.В., Яковс А.И. Заземляющие устройства электроустановок. – М.: Энергоатомиздат, 1987. – 400 с.: ил.
  2. Карякин Р.Н., Солнцев В.И. Заземляющие устройства промышленных электроустановок. – М.: Энергоатомиздат, 1989. – 191 с.: ил.
  3. Васильев А.А., Крючков И.П., Наяшкова Е.Ф. и др. Электрическая часть станций и подстанций. – М.: Энергоатомиздат, 1990. – 576 с.: ил.
  4. Попов А.А. Регрессионное моделирование на основе нечетких правил. / Сборник научных трудов НГТУ. – Новосибирск: НГТУ, 2000. – №2(19). – С.49-57.
-

УДК 624.131.439.5:539.376

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ПОЛЗУЧЕСТИ ТРАНСТРОПНЫХ ПОЛУСКАЛЬНЫХ ГРУНТОВ ПРИ СДВИГЕ КРУЧЕНИЕМ

В.А. Козионов

Павлодарский государственный университет  
им. С. Торайгырова

*Табиғи жағдайдағы трансверсал-изотроптық жартылай жартасты топырақты ірі масштабты монолиттік жылжымалы емес сынақ ретінде зерттеу әдістері қарастырылады. Олардың изотропиясының перпендикулярлық жазықтығының сынақтан өткен топырақтың сөне бастаған жылжымалы параметрлерін анықтау нәтижелері және оның әдістемесі берілген.*

*Рассматриваются результаты экспериментальных исследований ползучести на сдвиг кручением крупномасштабных монолитов трансверсально-изотропного полускального грунта в условиях их естественного состояния. Приводится методика и результаты определения параметров затухающей ползучести испытанных грунтов при сдвиге перпендикулярно плоскости их изотропии.*

*The article dwells on the results of experimental research of creep influencing the torsion shear of large monoliths of transversal-isotropic semirock soil under the conditions of their natural state. The author gives the technology and the results of the identification of parameters of slowing down creep damaged soils perpendicular to the plane of their isotropy.*

При проектировании различных сооружений в полускальных грунтах возникает необходимость учета их реологических свойств. Кроме того, эти грунты в массиве обладают в той или иной степени анизотропией механических свойств. В работе [1] показано, что учет ползучести анизотропного массива приводит к увеличению перемещений контура подземной выработки в несколько раз, в зависимости от реологических свойств окружающей породы. Поэтому для надежного определения параметров подземных сооружений необходимо иметь данные о характе-

ристик ползучести анизотропных полускальных грунтов в условиях их естественного залегания. Естественная трещиноватость и неоднородность полускальных грунтов затрудняют, а в ряде случаев делают невозможным отбор представительных образцов для стандартных лабораторных испытаний. Это обуславливает необходимость использования и разработки специальных методик исследования ползучести таких грунтов. При решении практических вопросов наиболее часто встречается задача определения механических характеристик трансформных, т.е. трансверсально-изотропных полускальных грунтов. Такой тип анизотропии обусловлен наличием в массиве слоистости, системной трещиноватости и др. В существующих методиках испытаний решение данной задачи выполняется, как правило, путем проведения штамповых опытов с приложением нагрузки в двух взаимно-перпендикулярных направлениях: в плоскости изотропии и перпендикулярно к ней. Наиболее полно такие методики разработаны для определения стабилизированных во времени характеристик деформируемости трещиноватых грунтов, в особенности методом кольцевого нагружения (МКН) [2]. Ниже рассматривается одна из возможных методик применения данного способа к оценке ползучести трансверсально-изотропных грунтов при сдвиге на основе выполненных ранее экспериментальных исследований [3] и полученного теоретического решения [4].

Сущность метода заключается в приложении к поверхности основания через кольцевой бетонный штамп или целиком грунта вертикальной нагрузки и последующего ступенчатого приложения крутящего момента вплоть до разрушения грунта путем сдвига. Принципиальная схема к определению характеристик ползучести трансверсально-изотропных грунтов МКН приведена на рисунке 1.

Опытные исследования проводились на крупномасштабных монолитах аргиллита естественного состояния с размером стороны до 0.5 м. Размер кольцевой нагрузки составлял:  $r_2 = 0.1$  м;  $e = r_1 / r_2 = 0.6$ . В ходе опытов осуществлялось измерение вертикальных и горизонтальных перемещений поверхности основания, как на участке приложения нагрузки, так и за ее пределами. Проведено три испытания аргиллита. Продолжительность отдельных опытов составляла более 8 месяцев. Такие испытания позволяют, в определенной мере, моделировать крупномасштабные полевые опыты и используются в практике подземного строительства для оценки свойств массива грунтов.

На рисунке 2 приведены эпюры изменения во времени горизонтальных (круговых) перемещений поверхности монолита вокруг кольцевого штампа.

Анализ экспериментальных данных позволяет выделить два характерных интервала зависимостей  $\delta = f(r, t)$ .

Первый интервал. Величина касательного напряжения меньше предела длительной прочности грунта на сдвиг —  $\tau_{\infty}$ . Здесь, при  $\tau < 0.6 \dots 0.8 \cdot \tau_{\infty}$ , огibaющие зависимости  $\delta = f(r)$  для штампа (двигка) и точек поверхности монолита близки к линейным. Характерные кривые ползучести и изохронные зависимости  $\delta(r_2) = f(\tau)$  приведены на рисунке 3.

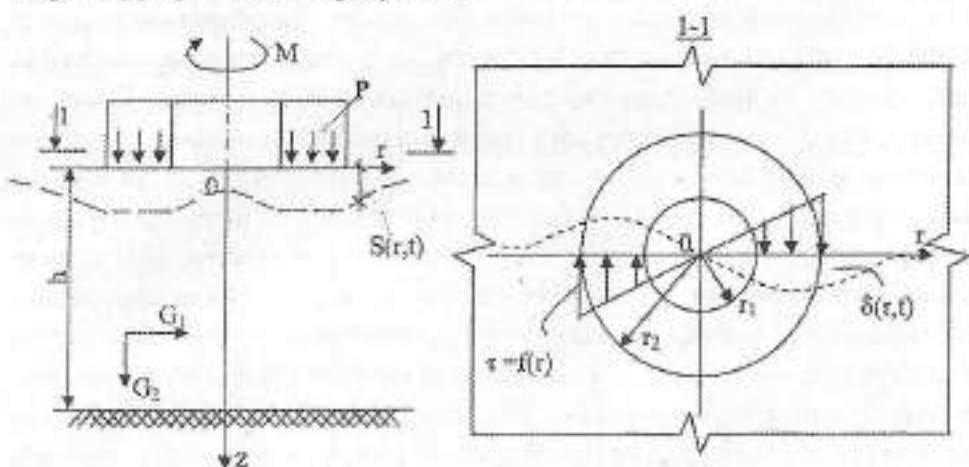
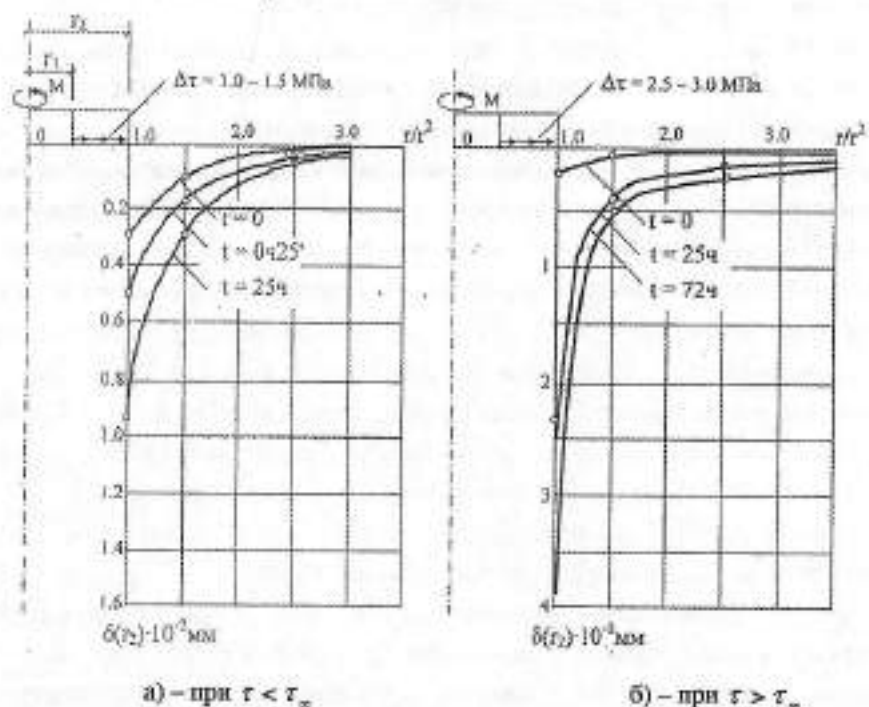


Рис. 1. Принципиальная схема испытания МКН



а) — при  $\tau < \tau_{\infty}$

б) — при  $\tau > \tau_{\infty}$

Рис. 2. Эпюры горизонтальных перемещений поверхности монолита грунта

Второй интервал. Здесь, при касательных напряжениях, больших  $\tau_*$ , линейный характер зависимостей  $\delta = f(\tau)$  существенно нарушается. Деформации сдвига штампа (целика) начинают значительно опережать соответствующие перемещения точек на поверхности монолита. В основании формируется фаза прогрессирующего разрушения.

Представленные на рисунках 2 и 3 экспериментальные данные позволяют использовать для определения параметров ползучести грунта при сдвиге в интервале линейной зависимости  $\delta(r_2) = f(\tau)$  аппарат теории упруго-наследственного грунтового массива [1].

Для определения характеристик ползучести трансверсально-изотропных грунтов при сдвиге по результатам испытаний МКН представим зависимость между горизонтальными (угловыми) перемещениями поверхности массива –  $\delta(r, t)$  и крутящим моментом –  $M$  для различных моментов времени в следующем виде

$$\delta(r, t) = \frac{2M \cdot \sqrt{g}}{\pi \cdot G_{02} \cdot (1 - \varepsilon^4) \cdot r_2^2} \cdot \omega \cdot \left[ 1 + \int_0^t K(t - \tau) \cdot d\tau \right], \quad (1)$$

где  $\varepsilon = r_1/r_2$ ;  $g = G_{02}/G_{01}$ ;  $\omega = f(g, m)$  – безразмерный табличный коэффициент, определяемый на основе решения [5];

$m = h/r_2$  – относительная мощность сжимаемой толщи грунта;

$G_{01}$ ,  $G_{02}$  – модули условно-мгновенной деформации сдвига грунта вдоль и перпендикулярно плоскости изотропии.

Методика определения условно-мгновенных и стабилизированных во времени параметров деформируемости грунтов рассматриваемым методом

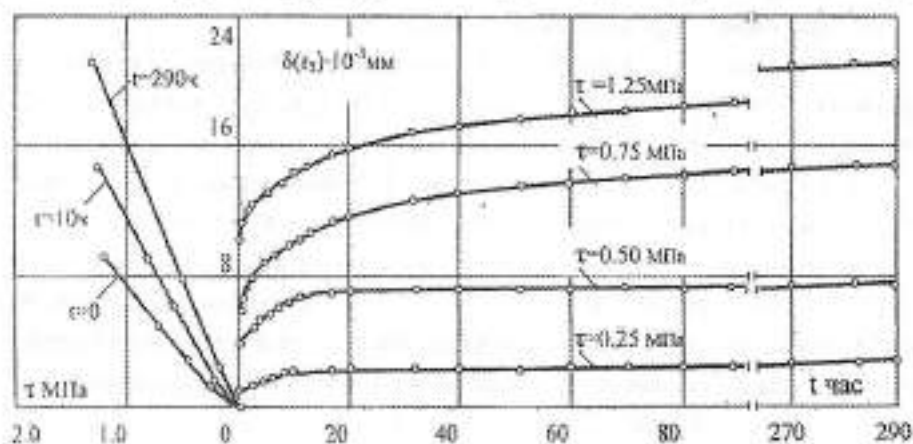


Рис. 3. Кривые ползучести при сдвиге кручением и синхронные зависимости  $\delta(r_2) = f(\tau)$

подробно изложена в работе [2] и поэтому здесь подробно не рассматривается. В настоящей работе использовались следующие упрощающие предпосылки:

1) На основании работы [1, с. 21] принято условие, что анизотропия свойств грунтов проявляется при  $t = 0$ , а развитие деформаций во времени происходит изотропно.

2) По данным исследований [2] принято условие равенства коэффициентов Пуассона грунта, т.е.  $\nu_1 = \nu = const$ .

Ядро ползучести в уравнении (1) принимается в виде

$$K(t - \tau) = G_{02} \cdot \lambda \cdot \theta \cdot \exp[-\lambda(t - \tau)] + \frac{(G_{02}/G_{2\infty} - G_{02} \cdot \theta - 1) \cdot T}{[T + (t - \tau)]^2} \quad (2)$$

где  $\lambda$ ,  $\theta$ ,  $T$ ,  $G_{2\infty}$  — параметры ползучести грунта;

$G_{02}$  — модуль условно-мгновенной деформации сдвига грунта.

Данный тип ядра ползучести был предложен В.Л. Кубецким для описания деформирования грунтов по результатам штамповых испытаний. В работе [3] дано обоснование применимости этого ядра ползучести к аналитическому описанию процесса деформирования слабых скальных грунтов во времени при различных напряженных состояниях.

С учетом (2) зависимость (1) представляется в виде

$$\delta(r, t) = \delta(r, 0) \cdot \left[ 1 + G_{20} \cdot \theta \cdot (1 - e^{-\lambda t}) + \left( \frac{G_{20}}{G_{2\infty}} - G_{20} \cdot \theta - 1 \right) \cdot \frac{t}{T + t} \right] \quad (3)$$

где  $\delta(r, 0)$  — условно-мгновенное горизонтальное перемещение поверхности массива.

Основные элементы методики определения параметров ползучести грунта при сдвиге приведены на рисунке 4.

Вычисление параметров  $\lambda$ ,  $T$  производилось по разработанной программе на ПЭВМ [5]. В результате получены следующие значения характеристик ползучести аргиллита при сдвиге кручением.

Анализ работы [4] показал, что при кручении штампа (целика) величина горизонтального перемещения произвольной точки основания на некоторой глубине  $Z$  может быть представлена как функция двух параметров деформируемости —  $G_1$  и  $G_2$ . Тогда выполнив измерение перемещений на двух глубинах, например, на поверхности и некоторой глубине  $Z$ , можно составить два уравнения относительно неизвестных параметров анизотропии.

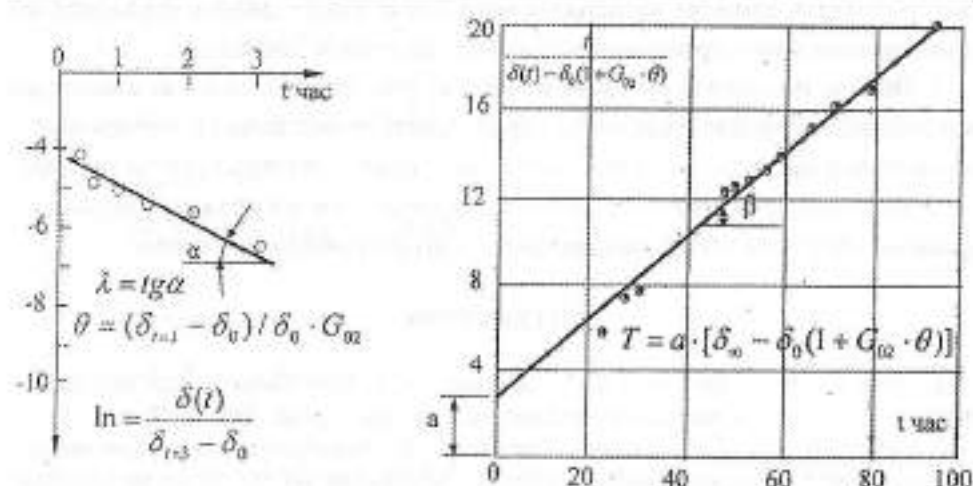


Рис. 4. Определение параметров ползучести

Таблица 1

Параметры ползучести грунта при сдвиге кручением

Тип грунта № опыта	Аргумент		
	1	2	3
Расчетный интервал $\Delta\tau$ , МПа	0.5-1.5	0.25-0.75	0.75-1.25
Нормальное давление $\sigma$ , МПа	3.5	0.1	2.5
$G_0$ , МПа	1129	1085	1486
$G_{-}$ , МПа	356	492	519
$\theta$ , МПа	49.2	33.5	31.7
$\lambda$ , МПа	60.0	36	58.6
$T$ , МПа	0.53	0.46	3.28
Расчетная схема $h/r_2$	0.8	2.0	2.0

Так, например, при  $t = 0$  система уравнений для определения параметров анизотропии будет иметь вид

$$\delta_0(r, 0) = (2M \cdot \sqrt{g} \cdot \omega_0) / (\pi \cdot G_{a2} (1 - \varepsilon^4) \cdot r_2^2), \quad (4)$$

$$\delta_z(r, z) = (2M \cdot \sqrt{g} \cdot \omega_z) / (\pi \cdot G_{a2} (1 - \varepsilon^4) \cdot r_2^2),$$

где  $\omega_0 = f_1(g)$ ;  $\omega_z = f_2(g)$ .

Измеряя перемещения в указанных точках основания в различные моменты времени можно выполнить анализ изменения коэффициента анизотропии во времени. Если  $g(t) = const$ , то ползучесть изотропна. При  $h/r_2 = const$  или  $\rightarrow \infty$  параметры анизотропии можно оценивать по кривизне эпюры  $\delta = f(r)$ .

#### ВЫВОДЫ

1. Представленная методика испытаний полускальных грунтов МКН позво-



дует учитывать влияние их естественной анизотропии деформируемости на определяемые характеристики ползучести при сдвиге кручением.

2. Оценку изменения во времени параметров трансверсальной изотропии полускальных грунтов МКН можно осуществить по результатам приложения к основанию кольцевой касательной нагрузки и измерения горизонтальных перемещений в совокупности точек на его поверхности и некоторой глубине или по кривизне эпюр горизонтальных перемещений поверхности основания.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Ержанов Ж.С., Айталиев Ш.М., Масанов Ж.К. Устойчивость горизонтальных выработок в наклонно-слоистом массиве. – Алма-Ата: Наука, 1971. – 160 с.
  2. Кубецкий В.Л., Семенов В.В., Королев М.В. Определение характеристик деформируемости трансверсально-изотропных трещиноватых пород по результатам штамповых испытаний // Приложение численных методов к задачам геомеханики. – М.: МИСИ, 1986. – С. 22–38.
  3. Kabetsky V.L., Kozionov V.A. Investigating rheological properties of fissured semirocks. – Proceedings of the international symposium weak rock. – Tokyo: 1981, p. 111–118.
  4. Козьонов В.А. Определение перемещений верхней границы анизотропного основания при его кручении кольцевой нагрузкой // Вестник ПГУ. – 2003. – №2. – С. 65–73.
  5. Козьонов В.А. Методы лабораторных испытаний грунтов. – Павлодар: НИЦ ПГУ им. С. Торайгырова, 2004. – 97 с.
-

УДК 001.894.003.1

## ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ВНЕДРЕНИЯ ИЗОБРЕТЕНИЯ (ПАТЕНТ № 12371 РК)

Р.К. Наурызбаев

КазНАУ, г. Алматы

К.А. Исаков, А.Р. Наурызбаев

КазНТУ им. К.И. Сатпаева, г. Алматы

*Аталмыш мақалада жеткізетін және жеткізбейтін валдар арасындағы айналмалы сәтті беретін құрылғыны ойлап шығарудың экономикалық бағасы қарастырылады. Жеткізетін механизм иілігінің параллелограмм түрінде болып табылады. Сонымен қатар, аталған ойлап шығарудың экономикалық эффектісін айтатын көрсеткіштерін береді.*

*Данная статья рассматривает экономическую оценку внедрения изобретения устройства для передачи крутящего момента между приводными и не приводными валами. Передаточный механизм выполнен в виде гибкого параллелограмма, что является наиболее эффективным в настоящее время. Кроме того, даются показатели, говорящие об экономическом эффекте данного изобретения.*

*The article gives the economic estimation of the implementation of a mechanism for torque transfer between power and powerless shafts. The transferring mechanism made in the shape of flexible parallelogram that is the most effective shape nowadays. Beside it there are indices that show economic value of the invention.*

Патент № 12371 РК от 09.10.2002 года относится к транспортным средствам и касается устройств для передачи крутящего момента между приводным и не приводными валами. Техническим результатом предлагаемого изобретения является увеличение КПД передачи крутящего момента, упрощение конструкции и технологии изготовления.

Передаточный механизм, устройства для передачи крутящего момента между приводным 1 и не приводным 2 валами (см. рис. 1), выполнен в виде гибкого параллелограмма. Параллелограммный механизм с двумя гибкими связями в замкнутом предварительно напряженном кон-

туре выполнен самоустанавливающимся. Число степеней свободы механизма на основе структурной формулы А. П. Малышева – Р. К. Наурызбаева равно:

$$\begin{aligned} W &= 6(n+n_1) - 5p_1 - 4p_2 - 3p_3 - 2p_4 - p_5 = 1, \\ n &= 1, p_1 = 1, n_1 = 1, p_2 = 1, p_3 = 0, p_4 = 0, p_5 = 2, (n+n_1) = 2. \end{aligned} \quad (1)$$

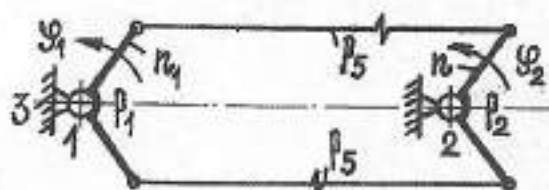


Рис. 1

Механизм, на основе однозвенной гибкой кинематической цепи III-го класса и нудевого семейства по систематизации И.И. Артоболевского, реверсивный. На высокоскоростных режимах эксплуатации механизм – двухмассовая динамическая система. Основная динамическая характеристика – крутильная жесткость механизма нелинейная функция вида:

$$C_{кр} = 2CR^2 \cdot \cos(\varphi_1 - \varphi_2) + 2C \cdot e^{\delta} \cdot R \cdot [R\cos(\varphi_1 - \varphi_2) + d\sin\varphi_1]. \quad (2)$$

Изобретение (патент №12371 РК) может быть применено в автомобильной отрасли, как частными владельцами автомобилей, так и их производителями.

Общий объем инвестирования в проект [1] внедрения составляет 132185 \$ (долларов) США. Средняя цена реализации механизма гибкого параллелограмма [патент № 12371 РК] будет составлять от 85,0-90,0 \$ (долларов) США в зависимости от марки автомобиля, на которую эта конструкция приобретает. Производство гибкого механизма планируется на внутреннем рынке Казахстана. В Казахстане насчитывается свыше 1100 тыс. легковых автомобилей, а доля рынка торговли составляет 0,2% от имеющегося парка, т.е. 2400 гибких параллелограммных механизмов в год.

Таким образом, экономический эффект для компании, занимающейся производством гибкого механизма параллелограмма на внутреннем рынке Казахстана, оценивается нижеследующими показателями:

1. Сумма первоначальной инвестиции – 132185 \$ США.
2. Общий объем продаж за год – 204 000 \$.
3. Затраты – 95 269 \$.
4. Чистая прибыль – 43 000 \$.

5. Прирост капитала – 15 670 \$.
6. Срок окупаемости – 33 месяца.
7. Срок проекта по внедрению – 3 года.
8. Цена одного механизма, гибкого параллелограмма (устройства) – 85,0+90,0 \$.
9. Доля рынка торговли в год – 2400 механизмов (шт.).

#### ЛИТЕРАТУРА

1. *Наурызбаев Р.К., Исаков К.А., Наурызбаев А.Р.* Бизнес-план внедрения изобретения «Устройство для передачи крутящего момента между приводным и не приводными валами» – Алматы, 2004.– 60 с.
-

УДК 536:53

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ГИДРОТЕРМОДИНАМИЧЕСКОЙ АНАЛОГИИ ДЛЯ ПОЯСНЕНИЯ СМЫСЛА ЭНТРОПИИ

В.В. Рындин

Павлодарский государственный университет  
им. С. Торайгырова

*Термодинамикалық жүйенің энтропиясының және шартты резервуарлардың жиынтығының негіздер ауданының арасындағы аналогиясы өткізіледі. Мұнда шартты резервуарлардағы су көлеміне тең, ал олардың негіздер ауданы олардағы су деңгейлеріне кері пропорционалды болады.*

*Проводится аналогия между энтропией термодинамической системы и площадью оснований совокупности условных резервуаров, суммарный объём воды в которых равен объёму воды в исходном резервуаре, а площади оснований которых обратно пропорциональны уровням воды в них.*

*The analogy between an entropy of a thermodynamic system and area of the foundations of set of conditional reservoirs, the general water volumes in which is equal to volume of water in the initial reservoir, while the areas of the foundations of which inversely proportional to height of water in theirs, is conducted.*

В работах [1, 2] гидротермодинамическая аналогия используется для пояснения смысла таких термодинамических величин, как теплота, работа, энергия и теплоёмкость. В данной работе эта аналогия используется для пояснения смысла энтропии – одной из самых трудно понимаемых величин.

В работе [2] проведена аналогия между теплоёмкостью и площадью поперечного сечения резервуара, заполненного водой. Аналогия  $C_V \Leftrightarrow A$  основана на формальном сходстве дифференциальных уравнений, описывающих изменение внутренней энергии (ВЭ) термодинамической системы и изменения объёма воды в резервуаре:

$$dU = C_V dT \Leftrightarrow dV = AdH ,$$

где  $dU$  – изменение внутренней энергии системы;  $dV$  – изменение объёма воды в резервуаре;  $C_V$  – изохорная теплоёмкость системы;  $A$  – площадь

поперечного сечения резервуара;  $dT$  – изменение температуры системы;  $dH$  – изменение уровня воды в резервуаре.

Теплоёмкость используется не только для расчёта изменения ВЭ идеального газа, но и для расчёта теплоты в произвольном процессе. Поскольку в общем случае изменение температуры системы происходит как за счёт подвода тепла, так и за счёт совершения работы, то, чтобы рассчитать теплоту через полное изменение температуры  $dT$ , приходится вводить для каждого процесса соответствующую теплоёмкость  $C_V$ :

$$\delta Q = C_V dT' = k_V C_V dT = C_V dT, \quad (1)$$

где  $k_V = \delta Q / dU = dT' / dT$  – доля теплоты в полном изменении внутренней энергии идеального газа при протекании произвольного процесса.

Конкретизируя  $k_V$ , мы конкретизируем процесс. В случае протекания изопроцессов  $X = p, v = \text{const}$  в качестве индекса  $Y$  используется индекс  $X$  и теплоёмкость обозначается  $C_X$ ; в случае протекания политропного процесса используется индекс  $n$  ( $C_n$ ).

В качестве аналога теплоёмкости произвольного процесса вводится новая величина «каплеёмкость» (созвучная термину «теплоёмкость»)

$$\Lambda = \delta V_{\text{вст}} / dH = k_{\text{вст}} \Lambda = A_{\text{вст}}, \quad (2)$$

под которой понимается площадь поперечного сечения условного резервуара, изменение объёма воды в котором соответствует объёму воды, поступившей через открытую поверхность во время дождя в исходный резервуар в произвольном процессе его наполнения при одном и том же изменении уровней воды в этих резервуарах. В случае одного только каплеобмена (без подвода воды по трубам) каплеёмкость равна площади поперечного сечения исследуемого резервуара ( $\Lambda = A$ ), так как в этом случае доля капель в полном изменении объёма воды в резервуаре равна единице ( $k_{\text{вст}} = 1$ ).

В случае изотермического процесса ( $dT = 0$ ) формула (1) непригодна для расчёта теплоты через теплоёмкость. Для этого служит энтропия, которая, в отличие от теплоёмкости, позволяет рассчитать теплоту в любом процессе. Подобно тому, как в работе [2] аналогом теплоёмкости была введена каплеёмкость (2), введём в качестве аналога энтропии, созвучную ей величину – «каплепию», которая, в отличие от энтропии, не отягощена различными теориями, обосновывающими (доказывающими) её существование.

Аналогом изотермического процесса ( $T = \text{const}$ ), теплота которого не может быть рассчитана через теплоёмкость, является процесс подвода

воды в резервуар при постоянном уровне воды в нём ( $H = \text{const}$ ), когда объём воды, поступившей в резервуар в виде капель, не может быть рассчитан через каплеёмкость (в этом случае площадь сечения условного резервуара, как и теплоёмкость изотермического процесса, равна бесконечности) и определяется как объём воды, вытекающей по трубам.

Рассчитать объём воды, поступающей через открытую поверхность резервуара в виде капель дождя, через высоту уровня  $H$  можно, если организовать слив воды через верхний край резервуара по лотку в мерный сосуд с подвижной стенкой, перемещающейся по мере заполнения мерного сосуда при постоянной высоте уровня воды в нём  $H$  (рисунок 1).

Измерив площадь поперечного сечения мерного (условного) сосуда  $\delta A_{\text{мер}}$  и высоту уровня воды в нём  $H$ , можно рассчитать объём воды, поступившей в исследуемый резервуар во время дождя за малый промежуток времени, по формуле  $\delta V_{\text{кап}} = H\delta A_{\text{мер}}$ .

В этом соотношении площадь поперечного сечения мерного резервуара  $\delta A_{\text{мер}}$  никак не связана с площадью поперечного сечения  $A$  исследуемого резервуара, а конечный объём  $V_{\text{кап}}$  может быть любым в зависимости от продолжительности дождя и его интенсивности, т. е. он также не связан с объёмом воды в резервуаре.

Установить связь между площадью поперечного сечения мерного резервуара  $\delta A_{\text{мер}}$  и геометрическими характеристиками исследуемого резервуара  $A$  и  $H$  можно, если воду из него сливать (наливать) в мерные резервуары тонкими слоями толщиной  $dH$  в окрестности высоты уровня  $H$ , чтобы процесс истечения можно было считать (принять) процессом квази (почти) постоянного уровня ( $H = \text{const}$ ). Процесс слива по лотку слоя дождевой воды толщиной  $dH$  на высоте  $H$  в мерный резерву-



Рис. 1

ар (той же высоты  $H$ ) можно представить как процесс только одного каплеобмена (без слива воды по трубам), что аналогично только одному теплообмену (без совершения работы) – изохорному процессу, протекающему в термодинамической системе. В этом случае каплеёмкость, как уже отмечалось, равна площади поперечного сечения резервуара ( $\Lambda = \Lambda_{\text{каплеоб}} = A$ ), а изменение объёма воды в резервуаре будет равно объёму капель:  $dV_{\text{рез}} = \delta V_{\text{кап}}$ , что аналогично  $dU = \delta Q_V = C_V dT$ .

Для каждой порции воды  $dV_{\text{рез}} = \delta V_{\text{кап}} = \Lambda_{\text{кап}} dH = AdH$ , вытекающей из исследуемого резервуара в окрестности уровня воды  $H$ , можно подобрать мерный (условный) резервуар<sup>1</sup>, объём воды, в котором при высоте  $H$ , будет равен объёму вытекшей (испарившейся, просочившейся) воды (рисунок 2), т. е.

$$\delta V_{\text{мер}} = H_1 \delta A_{\text{мер}_2} = dV_{\text{рез}} = \delta V_{\text{кап}} = \Lambda_{\text{кап}} dH = AdH .$$

Откуда можно определить площадь поперечного сечения мерного резервуара

$$\delta A_{\text{мер}_1} = \delta V_{\text{кап}} / H_1 = \delta V_{\text{мер}} / H_1 = dV_{\text{рез}} / H_1 = \Lambda_{\text{кап}} dH / H_1 = AdH / H_1 . \quad (3)$$

Как видим, в правой части выражения (3) стоят величины, относящиеся только к исследуемому резервуару, т.е. величина  $\delta A_{\text{мер}}$  является функцией только геометрических параметров исследуемого резервуара. Поскольку величина  $\delta A_{\text{мер}}$  является функцией параметров  $A$  и  $H$ , то её можно рассматривать не только как элементарную величину (на что указывает символ  $\delta$ ), но и как изменение (которое принято обозначать знаком дифференциала  $d$ ) нового параметра резервуара (обозначим его символом  $\Psi$ ):

$$d\Psi = \delta A_{\text{мер}} = \delta A'_{\text{рез}} .$$

Величину  $\Psi$ , служащую для расчёта объёма воды, поступившей (испарившейся) в процессе каплеобмена (дождя), назовём «каплением». В соответствии с (3) дифференциал каплепли определяется как величина, обратно пропорциональная высоте уровня воды  $H$  в резервуаре,

$$d\Psi = \delta V_{\text{кап}} / H = \Lambda_{\text{кап}} dH / H = AdH / H = \delta V_{\text{мер}} / H = \delta A_{\text{мер}} . \quad (4)$$

Конечное изменение каплепли резервуара можно найти, если из него слить воду тонкими слоями в мерные сосуды, характеризующиеся высотами  $H_i$  и площадями поперечного сечения  $\delta A_{\text{мер}_i}$ , от начального уровня  $H$

<sup>1</sup> Заметим, что для такого условного резервуара площадь поперечного сечения подбирается через известные значения уровня воды  $H$  и порции вытекшей (поступившей) воды в отличие от условного резервуара, используемого для расчёта каплеёмкости в работе [2], площадь поперечного сечения которого подбирается по заданным значениям изменения уровня воды  $dH$  и порции поступившей воды.



до конечного  $H_0$  и сложить все найденные площади поперечных сечений мерных сосудов (см. рисунок 2),

$$\Delta\Psi = \Psi - \Psi_0 = \int_{H_0}^H A dH/H = \sum \delta A_{\text{мер}}.$$

В случае постоянства площади поперечного сечения исследуемого резервуара  $A = \text{const}$

$$\Delta\Psi = \Psi - \Psi_0 = A \int_{H_0}^H dH/H = A \ln(H/H_0).$$

Тогда при устремлении  $H_0$  к нулю ( $H_0 \rightarrow 0$ )  $\ln(H/H_0) \rightarrow \infty$  и  $\Delta\Psi \rightarrow \infty$ , а значит и каплепия  $\Psi \rightarrow \infty$ . Можно задать конечное значение высоты уровня воды в резервуаре  $H_0$  сколь угодно малым, но не равным нулю, гораздо меньшим высоты уровня воды, измеряемой на практике, например,  $H_0 = 10^{-6} \text{ м} = 10^{-3} \text{ мм}$ , и принять при этом значении  $H_0$  значение каплепии равным нулю ( $\Psi_0 = 0$ ).

Тогда каплепия резервуара постоянного сечения будет иметь однозначное (конечное) значение, определяемое выражением

$$\Psi = A \ln(H/H_0) = \sum \delta A_{\text{мер}}. \quad (5)$$

Из выражения (5) можно найти функциональную зависимость высоты уровня  $H$  в функции от каплепии

$$H = H_0 e^{\Psi/A}. \quad (6)$$

Следовательно, в случае резервуара постоянного сечения ( $A = \text{const}$ ) кривая, проходящая через середины вершин прямоугольников, обозначающих объемы соответствующих мерных сосудов (в случае энтропии аналогами мерных сосудов будут условные термодинамические системы), является экспонентой в координатах  $\Psi - H$ .

В случае резервуара переменного сечения, площадь поперечного сечения которого при  $H_0 \rightarrow 0$  также стремится к нулю:  $A_0 \rightarrow 0$  (рисунок 3), значение каплепии будет конечным и определится выражением

$$\Psi = \int_0^H A dH/H = \sum A_{\text{мер}}. \quad (7)$$

Сходимость интеграла в выражении (7) (конечность значения каплепии) можно показать, если взять любую геометрическую фигуру, площадь которой при  $H \rightarrow 0$  также стремится к нулю, и вычислить для неё этот интеграл. Например, при линейной зависимости площади поперечного сечения исходного резервуара от его высоты ( $A = aH$ ) значение каплепии будет конечным и равным площади поперечного сечения резервуара на высоте  $H$ :

$$\Psi = \int_0^H A dH/H = \int_0^H aH dH/H = aH = A.$$

Итак, в соответствии с выражениями (5) и (7) для любого резервуара

произвольной формы можно прямым путём, не прибегая к каким-либо дополнительным гипотезам и законам, ввести, наряду с геометрическими характеристиками резервуара  $A$  и  $H$ , новую величину – каплепни, позволяющую однозначно рассчитывать объём воды  $V_{\text{кап}}$ , поступившей в резервуар в процессе каплеобмена (дождя, испарения):

$$V_{\text{кап}} = \int_{\Psi_1}^{\Psi_2} H d\Psi.$$

Эта формула аналогична расчёту теплоты через энтропию  $Q = \int_{S_1}^{S_2} T dS$ .

Аналогичными рассуждениями можно прийти к понятию энтропии для термодинамической системы, как это сделано в работе [3]. Теплоту изохорного процесса  $\delta Q_V$  (аналог  $\delta V_{\text{кап}}$ ), подводимую к системе в узком интервале температур от  $T$  до  $T + dT$ , можно представить, с одной стороны, в виде изменения ВЭ  $dU_V$  исходной системы с постоянной теплоёмкостью  $C_V$  (с переменной теплоёмкостью будет рассмотрено ниже) и при постоянном объёме, а с другой стороны, в виде внутренней энергии  $\delta U_{V_{\text{энт}}}$  условной элементарной системы с теплоёмкостью  $\delta C_{V_{\text{энт}}}$  и температурой  $T$  (рисунок 4)<sup>2</sup>:

$$\delta Q_V - C_V dT = dU_V = \delta U_{V_{\text{энт}}} = \delta C_{V_{\text{энт}}} T$$

Откуда находим изохорную теплоёмкость  $\delta C_{V_{\text{энт}}}$  условной элементарной системы

$$\delta C_{V_{\text{энт}}} = \delta U_{V_{\text{энт}}} / T = dU_V / T = \delta Q_V / T = C_V dT / T. \quad (8)$$

Поскольку в правой части выражения (8) стоят величины, относящиеся только к исследуемой термодинамической системе, то величина  $\delta C_{V_{\text{энт}}}$  является функцией параметров состояния системы ( $C_V$  и  $T$ ) и, следовательно, её можно рассматривать не только как элементарную величину (на что указывает символ  $\delta$ ), но и как дифференциал новой величины – энтропии:

$$dS_V = \delta C_{V_{\text{энт}}} = C_V dT / T. \quad (9)$$

Выражение (9) для дифференциала энтропии аналогично выражению (4) для дифференциала каплепни.

Конечное изменение энтропии системы в изохорном процессе можно получить, если просуммировать (проинтегрировать) выражение (9) в интервале значений температуры от  $T_0$  (здесь штрих, чтобы не путать с  $T_0 = 273,15$  К) до  $T$ :

$$\Delta S_V = S_V - S_{0V} = \int_{T_0}^T \frac{\delta Q_V}{T} = \int_{T_0}^T C_V \frac{dT}{T} = \sum_{[1]}^{\infty} (\delta U_{V_{\text{энт}}} / T)_1 = \sum_{[1]}^{\infty} \delta C_{V_{\text{энт}}}.$$

<sup>2</sup> Рисунок 4 аналогичен рисунку 1.

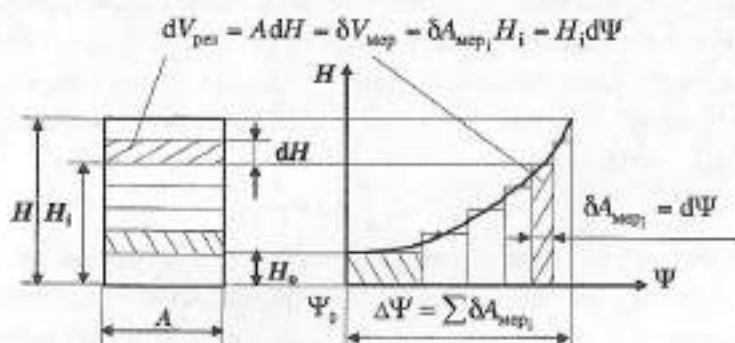


Рис. 2

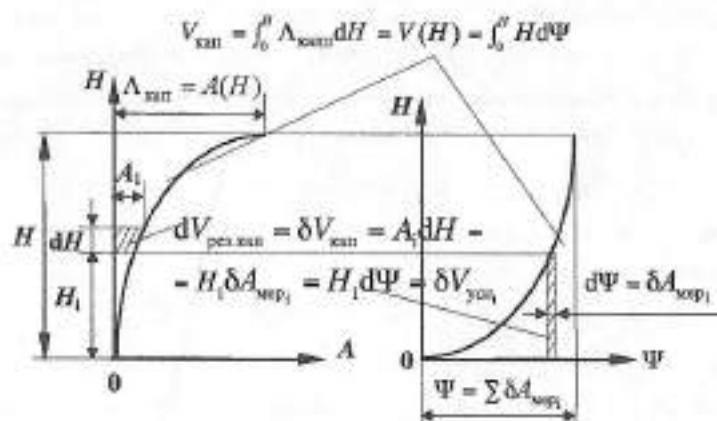


Рис. 3

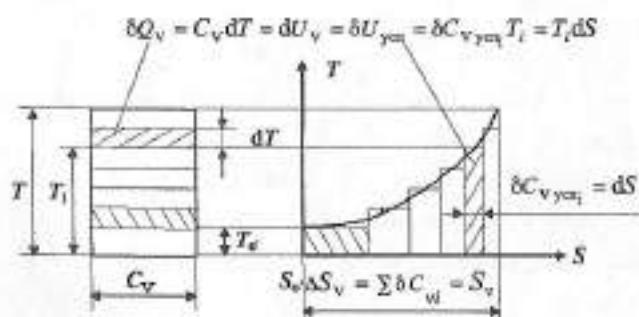


Рис. 4

В случае постоянства теплоёмкости системы ( $C_v = \text{const}$ ) конечное изменение энтропии

$$\Delta S_v = S_v - S_{v'} = C_v \ln(T / T_{v'})$$

В этом случае (при  $C_v = \text{const}$ ) при устремлении  $T_{v'}$  к нулю  $\Delta S_v = C_v \ln(T / 0) = \infty$ , а значит, и энтропия  $S = S_{v'} + \Delta S_v$  будет стремиться к бесконечности, т.е. при  $T_{v'} \rightarrow 0$   $S \rightarrow \infty$ . Следовательно, при постоянной теплоёмкости (точнее при ненулевом значении теплоёмкости при нулевой температуре) энтропия не имеет определённого конечного значения. Однако значение энтропии можно сделать конечным и однозначным, если во всех расчётах принять одно и то же минимальное значение  $T_{v'}$ , неравное нулю, при котором можно принять  $S_{v'} = 0$ . В качестве значения такой температуры можно принять  $T_{v'} = 10^{-100}$  К, что значительно меньше минимального значения температуры, получаемого на практике  $\sim 10^{-8}$  К [4].

Тогда энтропия идеального газа с постоянной теплоёмкостью при температуре  $T$  будет иметь конечное значение, определяемое выражением

$$S_v = C_v \ln(T / T_{v'}), \quad (10)$$

где  $T_{v'} = 10^{-100}$  К – температура, при которой условно принимается значение энтропии  $S_{v'}$  равным нулю, т.е. при  $T_{v'} = 10^{-100}$  К  $S_{v'} = 0$ .

Откуда можно определить функциональную зависимость температуры  $T$  от энтропии

$$T = T_{v'} e^{S_v / C_v} \quad (11)$$

Следовательно, в случае постоянной теплоёмкости системы ( $C_v = \text{const}$ ) кривая, проходящая через середины вершин прямоугольников, обозначающих внутренние энергии соответствующих условных систем, является экспонентой в координатах  $S - T$ . Формулы (10) и (11) аналогичны соответственно формулам (5) и (6).

В случае вещества с переменной теплоёмкостью  $C_v = f(T)$ , стремящейся к нулю при  $T \rightarrow 0$  (рисунок 5), значение энтропии будет конечным и определяться выражением

$$S_v = \int_{T_{v'}=0\text{K}}^T \frac{\delta Q_v}{T} = \int_{T_{v'}=0\text{K}}^T C_v \frac{dT}{T} = \sum_{i=1}^{\infty} (\delta U_{\text{yxn}} / T)_i = \sum_{i=1}^{\infty} \delta C_{v_i} \quad (12)$$

Здесь индекс  $v$  показывает, что значение энтропии  $S_v$  вычисляется через теплоту  $Q_v$  изохорного процесса. Выражение (12) справедливо как для идеального газа с переменной теплоёмкостью, так и для любого реального вещества, для которого возможен изохорный процесс от 0 К до  $T$ . В

связи с тем, что большинство процессов протекает при постоянном давлении (в том числе и фазовые переходы), то абсолютное значение энтропии с учётом фазовых переходов вычисляются для различных веществ через теплоту изобарного процесса (энтальпию) [3].

В соответствии с рисунком, 3 каплевия  $\Psi$  имеет смысл площади (это основной вывод), но не исследуемого резервуара, для которого она рассчитывается, а совокупности мерных (условных) резервуаров, площади сечений которых обратно пропорциональны их высотам, изменяющихся скачками на  $dH$  в интервале от 0 до  $H$ , а их объёмы при соответствующей высоте  $H$  равны изменениям объёма воды в резервуаре при изменении уровня воды в нём на  $dH$  вблизи соответствующей высоты  $H$ . Или короче, каплевия равна площади оснований совокупности условных резервуаров, суммарный объём воды в которых равен объёму воды в исходном резервуаре, а площади оснований которых обратно пропорциональны уровням воды в них.

Аналогичным образом, в соответствии с рисунком 5 энтропия имеет смысл теплоёмкости, но не исследуемой системы, для которой она рассчитывается, а теплоёмкости (изохорной или изобарной) совокупности условных систем, энергия (внутренняя или энтальпия) которых равна энергии исходной системы, а теплоёмкости которых обратно пропорциональны их температурам, изменяющихся скачками на  $dT$  в интервале от 0 до  $T$ .

Итак, энтропия является чисто расчётной величиной (непосредственно измерить энтропию невозможно), которую можно интерпретировать как расчётную теплоёмкость совокупности условных систем, вводимых для представления порций тепла (теплоты) в виде внутренних

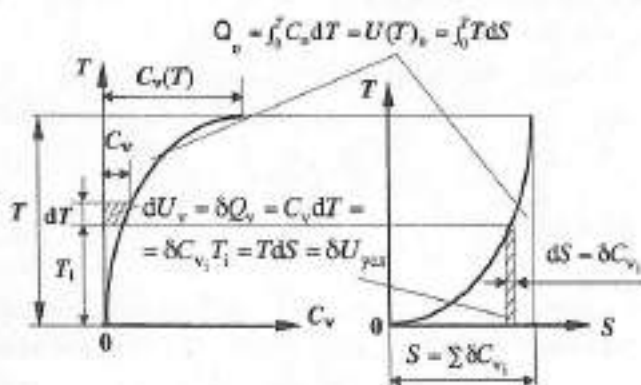


Рис. 5

энергий или энтальпий этих условных систем, взятых при средних температурах подвода соответствующих порций тепла.

Для резервуара постоянного сечения ( $A = \text{const}$ ) можно сказать и так: воду резервуара, имеющего форму прямоугольного параллелепипеда, можно заморозить в виде глыбы льда, верхняя поверхность которой спрофилирована по экспоненте  $H = H_0 e^{\Psi/A}$  в интервале высот от  $H_0$  до  $H$  (где  $H_0$  может быть сколь угодно малой величиной, но не равной нулю). Площадь основания  $A_{\text{основания}}$  такой специально изготовленной глыбы льда и будет каплей  $\Psi$  (аналога энтропии) воды, находящейся внутри резервуара в форме параллелепипеда высотой  $H$  и площадью основания  $A$  (рисунок 6).

Следовательно, капля  $\Psi$ , наряду с площадью поперечного сечения резервуара  $A$ , также является геометрической характеристикой этого резервуара, так как однозначно определяется через его параметры  $A$  и  $H$ ; т. е. для любого резервуара, зная зависимость  $A = f(H)$ , определённую опытным или расчётным путём, можно найти каплю  $\Psi = \int_0^H A dH/H$ , а через неё можно находить как объём воды в резервуаре, так и объём воды, поступающей в резервуар в виде капель дождя (в процессе каплеобмена). Как видим, для введения капли не требуется никаких дополнительных законов и предположений, кроме соотношения (7), в котором должна быть известна зависимость  $A = f(H)$ .

Аналогичным образом, в случае идеального газа постоянной теплоёмкости ( $C_v = \text{const}$ ,  $C_p = \text{const}$ ), его внутреннюю энергию ( $U = C_v T$ ) и энтальпию ( $H = C_p T$ ) можно представить в виде прямоугольных параллелепипедов с основаниями, равными соответственно  $C_v$  и  $C_p$ , и высотой, равной температуре системы  $T$ . Если эти параллелепипеды перестроить в соответствии с рисунком 6 в криволинейные фигуры, верхняя

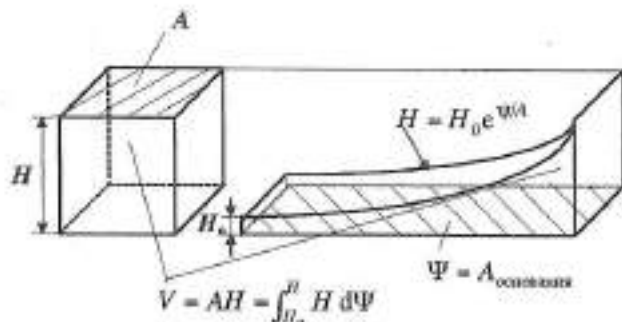


Рис. 6

поверхность которых спроецирована по экспоненте  $T = T_0 e^{S_v/C_v}$  или  $T = T_0 e^{S_p/C_p}$  в интервале высот от  $T_0$  до  $T$  (где  $T_0$  может быть сколь угодно малой величиной, но не равной нулю), то площади оснований этих криволинейных фигур будут изображать соответственно энтропии  $S_v$  и  $S_p$ .

Поскольку энтропия является аналогом каплини, то и для её введения также не требуется никаких дополнительных законов (например, первой части второго начала термодинамики о существовании энтропии), кроме уравнения связи энтропии с теплотой и температурой

$$S_x = \int_{T=0K}^T \frac{\delta Q_x}{T}$$

или, в случае отсутствия фазовых переходов и полиморфных превращений, соотношения (12), в котором должна быть известна зависимость теплоёмкости от температуры.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Рындин В.В. Использование гидротермодинамической аналогии для пояснения смысла теплоты, работы, энергии // Энергетика (Изв. высш. учеб. заведений). – 1991. – №8. – С. 78–82.
2. Рындин В.В. Использование гидротермодинамической аналогии для пояснения смысла теплоёмкости // Наука и техника Казахстана. – 2004. – № 1. – С. 42–48
3. Рындин В.В. Новый метод введения энтропии // Учёные записки Павлодарского государственного университета. – 1998. – № 4. – С. 29–35.
4. Эткинс П. Порядок и беспорядок в природе // Пер. с англ. / Предисл. Ю.Г. Рудого. – М.: Мир, 1987. – 224 с.: ил.

УДК 619.615

## ОЦЕНКА ДЕМОДЕКОЗНЫХ ПОВРЕЖДЕНИЙ В КОЖЕВЕННОМ ПОЛУФАБРИКАТЕ И ГОТОВОМ ТОВАРЕ

Л.Н. Скосырских

*Тюменская государственная сельскохозяйственная академия, Россия*

*Тері өңдеу өндірістерінде теріні өңдеу барысында, клиникалық зерттеумен салыстырғанда, демодекоз колониялары 8–14 есе (148) артық табылған (10–18 колония орнына). Терінің ең бағалы бөлігегі, арқаның мойнынан құйымшаққа дейінгі тұсында, жартылай өңделген теріде – 70%, толық өңделген – былғарыда – 80,8% көлемі демодекоз колонияларымен зақымдалған. Демодекозбен зақымдалған жердің жуқарып, тесілуіне байланысты, дайын былғары сапасы ең төмен сортқа жатқызылған.*

*В кожевенной промышленности в процессе обработки кожи обнаруживали в 8–14 раз больше демодекозных колоний (148), чем при клиническом исследовании (10–18). В процессе обработки кожи, в наиболее ценной части кож – чепраке (часть кожи от воротка до корня хвоста) количество демодекозных пороков в зеленом товаре – 70%, в готовом – 80,8%. Кожа оценена как несортная, за счет демодекозных пороков и отдушиности.*

*In the tannery industry during processing skin found out in 8–14 times more colonies of demodexosive (148), than at clinical research skin-in back quality defects of demodexosive in the green goods – 70%, in ready – 80,8%. The skin is appreciated as low grade, for the account defects and air-hole of demodexosive.*

В литературе имеются сведения о том, что количество демодекозных колоний, выявляемых клинически на животных, а также в кожевнном сырье, значительно отличается от их количества, которое обнаруживают на кожах в процессе их переработки. Этот факт имеет важное значение для предварительной оценки экономического ущерба вследствие снижения сортности кож, полученных из пораженного сырья. Поэтому мы провели количественную оценку демодекозных повреждений в голяе, кожевнном полуфабрикате и готовом товаре.

Пораженные демодекозными клещами шкуры крупного рогатого скота были отобраны на Ленинградском заводе первичной переработки



скота производственного объединения им. Кирова. Для этого было осмотрено 157 голов крупного рогатого скота, поступившего из хозяйств пяти районов Ленинградской области. Демодекозные поражения были выявлены у 21 животного. Шкуры четырех коров, имевших наибольшее количество колоний клещей *D. bovis*, были отобраны отдельно, помечены бирками, засолены врасстил и отправлены на кожсырьевой завод. На кожевенно-сырьевом заводе три шкуры были оценены первым сортом и одна – вторым. На шкуры («яловка тяжелая») поставили дополнительные меты и отправили для переработки в экспериментальный цех кожевенного завода им. Коминтерна Ленинградского производственного кожевенного объединения. В процессе технологической переработки шкуры были осмотрены на стадии голяя, дубильного полуфабриката и готового товара – кожи барабанного крашения и кожи покрывного крашения.

Подсчет колоний в голье проводили на ограниченных участках размером 20x20 см в передней части кожи, что топографически соответствует области лопатки и лопатко-плечевого сустава (места, где наиболее часто встречаются колонии демодекозных клещей). Это было сделано для удобства подсчета колоний именно на этой стадии переработки кож, так как демодекозных повреждений было чрезвычайно много. В кожевном полуфабрикате и готовом товаре колонии подсчитывали полностью по всей поверхности кожи, условно разделив ее на четыре равные части. Результаты количественной оценки демодекозных повреждений на различных стадиях ее переработки представлены в таблице.

Количество колоний в голье, подсчитанное на ограниченных участках, составило 148 в среднем на одну полукожу. Следует отметить, что при пальпации этих же участков кожного покрова животных на мясокомбинате мы обнаруживали 10–18 колоний, т.е. в 8–14 раз меньше.

Количество демодекозных пороков в кожевном полуфабрикате и готовом товаре составило 500,6 и 205,6 соответственно в среднем на одной полукоже.

Анализируя данные таблицы, можно сделать вывод о том, что количество демодекозных повреждений, обнаруживаемых в кожах в процессе переработки, намного больше, чем их выявляли клинически. Наибольшее их количество обнаруживали в голье. Затем, по мере обработки кож, количество демодекозных пороков уменьшалось. Так, в готовом товаре их обнаруживали в 2,4 раза меньше по сравнению с кожевным полуфабрикатом.

Таблица

Количество демодекозных повреждений на различных стадиях переработки кожи крупного рогатого скота

Вид кожи	Верхняя четверть		Нижняя четверть		В среднем на одной полукоже (S=1,9 м <sup>2</sup> )
	передняя	задняя	передняя	задняя	
Голье	–	–	–	–	148*
Зеленый товар (полуфабрикат)	224,8	125,8	99,8	50,4	500,6
Крашенная неокрашенная кожа (готовый товар)	90,8	75,4	31,4	8,4	205,6

Примечание: \* – на участке размером 20x20 см.

Оценивая кожевенное сырье для нужд промышленности, прежде всего обращают внимание на пороки, расположенные в наиболее ценной части кожи – чепраке (часть кожи от воротка до корня хвоста и до середины ребер). Количество демодекозных пороков, расположенных на чепраке (в таблице обозначен как верхняя половина кожи) составило в зеленом товаре 350,6, в готовом товаре – 166,2 (70% и 80,8% от общего количества повреждений соответственно).

При сортировке кож, выделанных как кожа хромовая для верха обуви, одна полукожа была оценена четвертым сортом, семь остальных отнесли к несортной коже – кожускам, в то время как поставщик оценил 3 шкуры первым сортом и одну – вторым. На снижение сортности кож повлияло наличие двух основных пороков – демодекозного («болячка») и отдушистости. Необходимо отметить, что порок «отдушистость» может быть как сырьевым, так и производственным, возникающим в результате нарушения режимов обработки кожи. В связи с тем, что в период наших исследований на кожах из общих партий не наблюдалось такого порока, как эффект отдушистости, ведущими специалистами завода был отнесен к разряду сырьевого, обусловленного паразитированием клещей *D.bovis*.

УДК 539.3

## РАЗНОСТНАЯ СХЕМА ДЛЯ ЧИСЛЕННОГО РЕШЕНИЯ УПРУГО-ПЛАСТИЧЕСКОЙ ЗАДАЧИ

В.М. Степаненко

Павлодарский государственный университет  
им. С. Торайгырова

*Жазық деформациялы сертімді пластикалық есептің шешімін табу үшін қолданылатын итерациялық әдіс қарастырылған.*

*Рассмотрен итерационный процесс численного решения упруго-пластической задачи для случая плоской деформации.*

*The iterative process of a numerical solution of elastic-plastic problem for case of a flat strain is considered.*

Для численного решения задачи теории упругости в напряжениях в [1] предложен итерационный процесс, в основу которого положена нестационарная форма уравнений теории упругости [2].

В настоящей работе показано, что отмеченный процесс с незначительной модификацией может быть использован при численном решении статических задач за пределами упругости.

Напряженно-деформированное состояние упруго-пластического тела в случае плоской деформации, согласно теории малых упруго-пластических деформаций [3], описывается системой уравнений равновесия

$$\sum_{i=1}^2 \frac{\partial \sigma_i(M)}{\partial x_i} + \rho \cdot \bar{f}(M) = 0, \quad M \in S, \quad i = 1, 2 \quad (1)$$

условием совместности деформаций

$$2 \cdot \frac{\partial^2 \varepsilon_{12}}{\partial x_1 \partial x_2} = \frac{\partial^2 \varepsilon_{11}}{\partial x_2^2} + \frac{\partial^2 \varepsilon_{22}}{\partial x_1^2} \quad (2)$$

условиями на границе

$$\sum_{j=1}^2 \sigma_{ij}(M') \cdot n_j = g_i(M'), \quad M' \in L, \quad i = 1, 2 \quad (3)$$

и соотношениями между напряжениями и деформациями

$$\varepsilon_{ij} - \delta_{ij} \cdot \varepsilon_0 = \frac{3\varepsilon_i}{2\sigma_i} (\sigma_{ij} - \delta_{ij} \cdot \sigma_0), \quad i, j = 1, 2 \quad (4)$$

где  $\vec{f}(M) = \{f_1; f_2\}$  – вектор массовых сил;

$\rho$  – плотность среды;

$\vec{g}(M') = \{g_1; g_2\}$  – вектор поверхностных сил;

$\vec{n} = \{n_1; n_2\}$  – единичный вектор внешней нормали к границе  $L$  области  $S$ ;

$\delta_{ij}$  – символ Кронекера;

$$\sigma_0 = 3 \cdot K \cdot \varepsilon_0, \quad 3 \cdot \varepsilon_0 = \varepsilon_{11} + \varepsilon_{22}, \quad 3 \cdot \sigma_0 = \frac{3\lambda + 2\mu}{2(\lambda + \mu)} (\sigma_{11} + \sigma_{22}),$$

$K = \frac{\lambda + 2\mu}{3}$ ,  $\lambda, \mu$  – постоянные Ламе;

$$\sigma_i = \frac{1}{\sqrt{2}} \sqrt{(\sigma_{11} - \sigma_{22})^2 + \frac{1}{2}(\sigma_{11} + \sigma_{22})^2 + 6\sigma_{12}^2} \quad (5)$$

$$\varepsilon_i = \frac{\sqrt{3}}{2} \sqrt{(\varepsilon_{11} - \varepsilon_{22})^2 + \varepsilon_{11}^2 + \varepsilon_{22}^2 + \frac{3}{2}\varepsilon_{12}^2}$$

Диаграмма деформирования материала задается равенством (модель с линейным упрочнением)

$$\sigma_i = \begin{cases} 3 \cdot \mu \cdot \varepsilon_i, & \varepsilon_i \leq \varepsilon_T \\ \sigma_T + H_T \cdot (\varepsilon_i - \varepsilon_T), & \varepsilon_T < \varepsilon_i < \varepsilon_p, \end{cases} \quad (6)$$

где  $\varepsilon_i$  – интенсивность деформаций, при которых в материале появляются пластические деформации;

$\varepsilon_T$  – предельная деформация;

$H_T$  – модуль упрочнения;

$$\sigma_T = 3\mu \cdot \varepsilon_T.$$

Будем предполагать, что необходимые для разрешимости поставленной задачи условия

$$\iint_S \vec{f}(M) dS + \int_L \vec{g}(M') dl = 0$$

$$\iint_S \vec{f}(M) \times \vec{r} dS + \int_L \vec{g}(M') \times \vec{r} dl = 0$$

выполнены, а область  $S$  является прямоугольником

$$S = \{0 \leq x_k \leq l_k\}, \quad k = 1, 2.$$

Обращая (4), имеем

$$\sigma_{ij} = \lambda(\varepsilon_i) \delta_{ij} (\varepsilon_{11} + \varepsilon_{22}) + 2\mu(\varepsilon_i) \varepsilon_{ij} \quad (7)$$

где 
$$\lambda(\varepsilon_i) = 3K - \frac{2\sigma}{3\varepsilon_i}, \quad \mu(\varepsilon_i) = \frac{\sigma_i}{3\varepsilon_i}, \quad (8)$$

причем, согласно (5) и (6), справедливы оценки

$$\lambda \leq \lambda(\varepsilon_i) \leq 3K - \frac{2}{3} H_T, \quad \frac{\sigma_i}{3\varepsilon_i} \leq \mu(\varepsilon_i) \leq \mu. \quad (9)$$

Разностная схема

$$L_1 \bar{\sigma}_h = (\sigma_{11})_{x_1} + (\sigma_{12})_{x_2} + f_{1h} = 0, \quad (10)$$

$$L_2 \bar{\sigma}_h = (\sigma_{21})_{x_1} + (\sigma_{22})_{x_2} + f_{2h} = 0,$$

$$2(\varepsilon_{12})_{x_1 x_2} = (\varepsilon_{11})_{x_2 x_2} + (\varepsilon_{22})_{x_1 x_1}. \quad (11)$$

$$\sum_{j=1}^2 \sigma_{ij} \cdot n_j = g_{hi} \quad (12)$$

$$\sigma_{ij} = \lambda(\varepsilon_i) \cdot \delta_{ij} (\varepsilon_{11} + \varepsilon_{22}) + 2\mu(\varepsilon_i) \cdot \varepsilon_{ij} \quad (13)$$

аппроксимирует задачу (1)–(4) на сетке

$$S_h = \{(lh_1; mh_2); l = 0, \dots, N_1; m = 0, \dots, N_2; l_i = h_i \cdot N_i\}$$

с первым порядком по  $h = \max h_i$  в пространстве сеточных функций со скалярным произведением

$$(u, v) = \sum_{l=1}^{N_1} \sum_{m=1}^{N_2} u_l \cdot v_m \cdot H,$$

$$H = \begin{cases} h_1 \cdot h_2, & \text{если } M - \text{внутренняя точка} \\ 0.5 h_1 \cdot h_2, & \text{если } M - \text{граничная точка} \\ 0.25 h_1 \cdot h_2, & \text{если } M - \text{угловая точка.} \end{cases}$$

Для численной реализации разностной схемы (10)–(13) используем итерационную разностную схему [1]

$$\frac{\varepsilon_{ij}^{n+1} - \varepsilon_{ij}^n}{\tau} = (L_1 \bar{\sigma}_h)_{x_i}, \quad i = 1, 2 \quad (14)$$

$$2 \cdot \frac{\varepsilon_{12}^{n+1} - \varepsilon_{12}^n}{\tau} = (L_1 \bar{\sigma}_h)_{x_1} + (L_2 \bar{\sigma}_h)_{x_2} \quad (15)$$

Нулевую итерацию  $\sigma_h^0 = \{\sigma_{11}^0, \sigma_{22}^0, \sigma_{12}^0\}$  зададим следующим образом. По произвольно выбранному вектору  $\tilde{u}_h = \{u_{1h}, u_{2h}\}$  вычислим  $\varepsilon_h^0$  по формулам:

$$\varepsilon_{12}^0 = \frac{1}{2}[(u_{1x})_{x_2} + (u_{2x})_{x_1}], \quad \sigma_{ij}^0 = (u_{ix})_{x_j} \quad (16)$$

Далее, используя формулы (5)–(8) в каждом внутреннем узле области  $S_0$  определим  $\sigma_{ij}^0$ , а из уравнений (14) –  $\varepsilon_{ij}^1$ .

Для реализации уравнения (15) на границе  $x_1 = 0$  необходима информация об  $\sigma_{22}^0$ , а на  $x_2 = 0$  об  $\sigma_{11}^0$ . Доопределим  $\sigma_{11}^0$  и  $\sigma_{22}^0$  так, чтобы на рассматриваемых участках они удовлетворяли уравнениям (10), в которых вектор  $\vec{f}$  доопределен на границе произвольным образом. На последующих итерациях процедура продолжения  $\sigma_{ij}^0$  на границу осуществляется аналогичным образом.

Заметим, что в упругой задаче [1] для подобного доопределения дифференциальные уравнения не используются. Необходимые величины там можно получить из закона Гука.

Отличие итерационной разностной схемы (14)–(15) от соответствующей схемы для упругой задачи [1] состоит в том, что коэффициенты  $\lambda(\varepsilon)$  и  $\mu(\varepsilon)$  не являются постоянными. Однако это никоим образом не сказывается на ее сходимости. Для последнего важно лишь то, что эти коэффициенты, согласно оценок (9), положительны и ограничены.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Коновалов А.Н. Итерационные разностные схемы для численного решения задачи теории упругости в напряжениях // Численные методы механики сплошной среды. – Новосибирск, 1975. – Т.6. – №2.
2. Коновалов А.Н. Нестационарная форма уравнений плоской статической задачи теории упругости в напряжениях // Численные методы механики сплошной среды. – Новосибирск, 1974. – Т.5. – №5.
3. Малinin Н.Н. Прикладная теория пластичности и ползучести. – М.: Машиностроение, 1975.

УДК 669.182

## УДАЛЕНИЕ НЕМЕТАЛЛИЧЕСКИХ ВКЛЮЧЕНИЙ ПРИ ВНЕПЕЧНОМ РАФИНИРОВАНИИ СТАЛИ СИНТЕТИЧЕСКИМ ШЛАКОМ

Е.Б. Сулеймен

Павлодарский государственный университет  
им. С. Торайгырова

*Төменгі көміртекті оттекті конвертер болатын кремнеземі жоғарылау ізбес-глиноземді қозбел шөміште өңдеу кезінде, екі фазаның бір-бірімен араласып, металл фазаның металл емес кірділері қож тамырларымен қосылып, содан кейін екі фазаның бөлінуі арқылы болатын металл емес кірділерден тазаруы қаралап.*

*Рассмотрено удаление неметаллических включений при обработке низкоуглеродистой кислородно-конвертерной стали в ковше известково-глиноземистым шлаком с повышенным содержанием кремнезема путем эмульгирования шлага в металле, ассимиляции неметаллических включений стали с капельками шлага и последующим разделением обеих реагирующих фаз.*

*The article considers removal unmetal insertions by treatment of lowcarbon oxyden-converter stell in ladle by lime-alumina slag with high content of silicia. Removal of unmetal insertions makes by emulsification of slag in metal, assimilation of unmetal insertion with drops of slag and next division of react phase.*

Ранее отмечалось о достаточно высокой эффективности применения известково-глиноземистого шлага с повышенным содержанием кремнезема для рафинирования кислородно-конвертерных низкоуглеродистых сталей [1]. Металл, обработанный шлаком, отличался низким содержанием неметаллических включений, кислорода, серы и др.

Сущность метода заключается в том, что из сталеплавильного агрегата сталь выпускают в ковш с синтетическим шлаком. При этом происходит интенсивное перемешивание обеих фаз, в начале эмульгирование шлага в металле, а затем разделение фаз. На эти процессы влияние

оказывают: масса металла и шлака, высота и скорость слива металла, вязкость стали и шлака, межфазное натяжение шлака на границе с металлом и др. [2].

При одинаковой емкости сталеплавильного агрегата и расхода шлака, высоты падения и диаметра струи стали процессы перемешивания фаз и их последующее разделение в основном определяются вязкостью и межфазным натяжением металл-шлак.

Определенное значение имеет температура плавления, выше которой шлак обладает технологически приемлемой вязкостью. Однако процесс эмульгирования шлака в металл в большей степени зависит от вязкости, чем от температуры его плавления. Было установлено, что вязкость шлака при реальных температурах перемешивания металла и шлака в ковше составляет около 2,5 пз, что примерно на 0,5 пз больше, чем у известково-глиноземистого шлака, т.е. шлак обладает достаточно низкой вязкостью.

Эмульгирование шлака в металле и последующее их разделение зависит от соотношения сил сцепления внутри шлака, определяемых работой когезии:

$$W_c = 2\sigma_m$$

и сил сцепления между жидким металлом и шлаком, определяемых работой адгезии:

$$W_A = \sigma_m + \sigma_n - \sigma_{m-n}$$

где  $\sigma_m$  – поверхностное натяжение металла;

$\sigma_n$  – поверхностное натяжение шлака;

$\sigma_{m-n}$  – межфазное натяжение между металлом и шлаком.

С увеличением коэффициента растекания эмульгирующая способность шлака в металл возрастает:

$$S_p = W_A - W_c$$

Для удаления имеющихся в стали неметаллических включений важное значение имеет процесс соединения их с эмульгированными каплями шлака. Соединение шлаковой капли и включения происходит с уменьшением межфазной поверхностью на границах шлак-металл и включение-металл и образованием межфазной поверхности шлак-включение. При этом процессе изменяется свободная энергия системы:

$$\left(\frac{dF}{dS}\right)_{p,T} = \sigma_{m-n} - \sigma_{m-m} - \sigma_{n-n},$$



Для самопроизвольного протекания процесса ассимиляции неметаллических включений эмульгированной шлаковой каплей необходимо, чтобы

$$\frac{dF}{dS} < 0 \text{ или } \sigma_{m-s} < \sigma_{m-w} + \sigma_{w-s}$$

где  $\sigma_{m-s}$  – межфазное натяжение на границе шлак-включение;  
 $\sigma_{m-w}$  – межфазное натяжение на границе металл-шлак;  
 $\sigma_{w-s}$  – межфазное натяжение на границе металл-включение.

Термодинамическая вероятность процесса ассимиляции включения каплей шлака возрастает при увеличении межфазного натяжения на границе раздела металл-шлак и металл-включение. Процесс слияния неметаллических включений с каплями шлака будет определяться не только термодинамическими, но и кинетическими факторами. Для лучшего очищения металла от включений следует обеспечить получение в стали жидких включений с низким значением межфазного натяжения на границе металл-включение.

При обработке металла синтетическим шлаком межфазное натяжение меняется в процессе рафинирования, вследствие перехода примесей из металла в шлак. В начальный момент рафинирования создаются условия, благоприятные его эмульгированию и, напротив, после окончания рафинирования довольно существенное повышение межфазного натяжения способствует отделению шлаковой фазы от металлической, тем самым очищая сталь от неметаллических включений.

Сказание подтверждается данными, проведенных плавов. Так, содержание неметаллических включений, выделенных электролизом, в малоуглеродистой стали составляет всего 0,0041%.

Таким образом, при выпуске плавки с большой высоты мощной струей в ковше известково-глиноземистым шлаком с повышенным содержанием кремнезема, обладающим низкой вязкостью, происходит эмульгирование шлака в металле, а может быть и эмульгирование металла в шлаке, вследствие чего удельная контактная поверхность между двумя фазами чрезвычайно возрастает.

Ввиду благоприятных термодинамических и кинетических факторов происходит слияние неметаллических включений стали с капельками эмульгированного шлака, а затем и разделение обеих реагирующих фаз. В результате металл содержит низкие содержания неметаллических включений, кислорода (0,003–0,005%) и серы (0,005–0,010). Кроме того, металл характеризуется малыми размерами оксидных, сульфидных и глобулярных включений.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Сулеймен Е.Б. Виспечная обработка стали. // Материалы международной научно-практической конференции «Актуальные проблемы горно-металлургического комплекса Казахстана». – Караганда: КарГТУ, 2003.
  2. Воинов С.Г., Шалимов А.Г., Косой Л.Ф., Кашиников Е.С. Рафинирование стали синтетическими шлаками. – М.: Металлургия, 1970.
-

УДК 621.74.01

## ВОЗМОЖНОСТИ ВЛИЯНИЯ ГАЗООБРАЗОВАНИЯ В ЛИТЕЙНОЙ ФОРМЕ НА РЕЖИМ ТЕЧЕНИЯ МЕТАЛЛА В ЛИТНИКОВОЙ СИСТЕМЕ

М.М. Суяндиков, М.Ж. Тусупбекова

*Павлодарский государственный университет  
им. С.Торайгырова*

*Мақалада құю қалыбы бойындағы газдардың құю мейісі арнасымен азатын сұйық металл араласу мүмкіндігі туралы және сол себепті қалықта металл құю түзіміне әсер ету мәселесі талқыланады.*

*В статье обсуждается возможность попадания газов из атмосферы литейной формы в поток жидкого металла при его течении по каналам литниковой системы и тем самым влияние газов на режим заливки металла в форму.*

*The article discuss a possibility of hit of gas in the liquid metal flowing from atmosphere of casting mould by flowing in the runner. The article discuss influence of gas on condition of flowing of metal in casting mould.*

В процессе заливки литейной формы горячий расплавленный металл входит в интенсивное взаимодействие с материалом формы. Литейная форма представляет из себя пористую среду, состоящую из кварцевого песка как огнеупорного наполнителя, глины как связующего, воды как растворителя глины и различных добавок, для увеличения податливости, уменьшения пригораемости и т.д. В результате воздействия высокой температуры протекают процессы деструкции, разложения, кипения составляющих литейной формы. Продукции этих процессов заполняют поры и, расширяясь, устремляются в направлении более низких температур и давлении.

Проблема инжекции газов в поток жидкого металла в литниковой системе рассмотрены в работах [1,2]. Общеизвестно, что замешанные в расплав газы являются причиной образования газовых раковин в отливках. Кроме этого, в [1] показано влияние замешивания газов в поток на

режим заливки литевой формы. Например, наглядно представлены изменения объемного расхода в зависимости от условия входа в стояк. Влияние газов на расход из литниковой системы особенно отчетливо предстает при сравнении данных опытов на прозрачных газопроницаемых моделях с результатами производственных испытаний в условиях заливки металла в литниковую систему с пористыми стенками из песчано-глинистых смесей.

При прочих равных условиях газонепроницаемая литниковая система, состоящая из чаши и стояка без закругления верхней кромки стояка обеспечивала расход  $Q=1,53$  л/с, а та же система с тщательно закругленной кромкой стояка увеличивает расход до  $Q=1,7$  л/с. В то же время те же опыты уже с газопроницаемыми стенками литниковой системы (стояка) дают данные  $Q=0,58$  л/с для случая без закругления и  $Q=1,07$  л/с с закруглением кромки стояка.

Как видно, самый большой расход  $Q=1,7$  л/с имеет место в газонепроницаемой литниковой системе с закругленным входом в стояк. Уменьшение расхода до  $Q=1,53$  л/с вызвано сужением потока во входе в стояк с закругленной кромкой.

В следующих примерах литниковых систем с газопроницаемыми стенками стояка расход уменьшается до  $Q=0,58$  л/с, т.е. почти в 3 раза меньше по сравнению с  $Q=1,53$  л/с, при одинаковых условиях входа в стояк из-за незаполнения сечения стояка по всей высоте. В последнем варианте закругление кромки стояка исключает возможность незаполнения сечения стояка, однако, расход  $Q=1,07$  л/с все же довольно низкий. Это объясняется подсосом газов из атмосферы в поток. Тогда часть сечения потока жидкости оказывается занятой атмосферным воздухом и расход самой жидкости уменьшается.

Для постановки модельных опытов и разработки методики расчета литниковой системы исходят из соображения обеспечения в «опасном» верхнем сечении стояка давления в потоке равного или несколько больше атмосферного. Этого считается достаточно для предотвращения попадания газов в поток.

Данное представление послужило основанием целому ряду исследователей для определения методики гидромодельных исследований и успешно переносить данные лабораторных опытов на эксперименты в натуре.

Однако, открытым оставался вопрос – почему при определенных соотношениях  $F_{ст} : F_{ин} : F_{п}$  расхождение между лабораторными и натурными опытами становится заметными.

Можно предположить, что данный подход оправдывает себя только в отдельных случаях, когда  $F_{п}$  намного меньше  $F_{ст}$  и  $F_{ин}$ .

В подавляющем большинстве случаев следует ожидать влияние газов в литейной форме на режим заливки металла. Этому имеются следующие предпосылки.

Во-первых, в слоях формы, окружающих литниковую систему, фактическое давление газов не равно атмосферному, а намного больше этого. В момент испарения вода увеличивает свой объем примерно в 1700 раз. Это вызовет увеличение давления в порах формовочной смеси. Первоначальное газовое давление по литературным данным составляет  $P_g = 16$  кПа, что равно приблизительно 200 мм столба жидкого чугуна. Это значительно больше давления в потоке металла в литниковой системе.

Во-вторых, литниковая система включает в себя различного вида местных сопротивлений типа «поворот канала», «резкое сужение», «внезапное расширение» и др., что нарушает плавное течение металла, вызывая турбулизацию потока. Все это облегчает замешивания газов в металл.

В-третьих, на пути движения газов в противоположном от металла направлении образуется «водяной затвор» из-за конденсации паров и газов в холодных слоях формы, что вынуждает к повторному увеличению давления в порах формовочной смеси.

Обсуждаемая проблема относится к литью в песчано-глинистые формы. В металлических формах благодаря отсутствию источников газообразования (если пренебречь влиянием слоя теплоизоляционной краски толщиной  $< 0,5$  мм) исключено замешивание газов в поток. Из этих соображений требуется постановка экспериментов для сравнительной оценки процессов заливки в песчано-глинистые и металлические формы. В лабораторных условиях необходимо провести серию экспериментов по гидромоделированию с измерением гидравлических параметров потока в различных сечениях литниковой системы и построением эпюры давления вдоль потока.

Практическим результатом данных исследований следует считать разработку оптимальной конструкции и усовершенствованной методики расчета литниковой системы для литья в песчано-глинистые формы.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Рабинович Б.В. Литниковые системы для чугунных отливок. — М., 1958. — 61 с.
2. Тодоров Р.П., Пешев П.Ц. Дефекты в отливках из черных сплавов. — М., 1984. — 184 с.

УДК 666. 914.4 (088.8)

## ВЛИЯНИЕ РАЦИОНАЛЬНОЙ ГРАНУЛОМЕТРИИ СЫРЬЕВОЙ СМЕСИ НА СВОЙСТВА БЕЗАВТОКЛАВНОГО ГАЗОЗОЛОШЛАКОБЕТОНА

Ш.К. Торпищев, Ф.Ш. Торпищев,  
Ж.А. Темербаева, Б.Н. Кабдышева

*Павлодарский государственный университет  
им. С. Торайгырова*

*Жұмыста жүйенің негізгі реологиялық және физико-механикалық қасиетінің ықпалына гранқұрылым газқұлақбетонды қоядың оптимізациясы бойынша зерттеудің нәтижесі көрсетілген.*

*В работе представлены результаты исследований по оптимизации грансостава газозолошлакобетонных смесей с позиции влияния его на основные реологические и физико-механические свойства системы.*

*The work deals with the results of the investigations on grading of gas-slag concrete mixtures in the light of contribution of the granule composition to main rheological and physico-chemical concrete properties.*

Трещиностойкость является одним из основных показателей долговечности конструкций из газобетонов. Вопросами повышения трещиностойкости занималось множество авторов, однако, до сих пор нет достаточно полного анализа данных по влиянию на нее гранулометрического состава сырьевых смесей.

К обсуждению предлагаются результаты работ по оптимизации грансостава газозолошлакобетонных (ГЗШБ) смесей с позиции влияния его на основные реологические и физико-механические свойства системы.

В качестве сырьевых компонентов использовались зола сухого отбора Аксусской ГРЭС, которую по результатам седиментометрического

анализа можно отнести к материалу средней крупности ( $S_{\text{м}} = 1800-2200 \text{ см}^2/\text{г}$ ), а по однородности – к полидисперсной, саморассыпающийся металлургический шлак АО «Кастинг», грансостав которого представлен совокупностью трех фракций: 1 – менее 0,08 мм – 10–12%, 2 – 0,08–0,3 мм – 67–81%, 3 – 0,3–5 мм – 9–21%, портландцемент М-500 Усть-Камского производства, известь и гипс. В дальнейшем ни зола, ни шлак не подвергались дополнительному доходу или какому-либо диспергированию. Поскольку для всех составов сырьевых смесей использовалась одна и та же зола, грансостав системы изменяли путем гомогенизации ее с различными фракциями просеянного шлака. Для каждого зернового состава системы зола + шлак В/Т подбирались таким, чтобы обеспечить постоянную техническую вязкость, характеризуемую диаметром расплыва по вискозиметру Суттарда – 12–14 см.

Прочность на сжатие и растяжение определялась на образцах-кубах  $10 \times 10 \times 10$  см, усадка – на образцах-балочках  $4 \times 4 \times 16$  см (усадку измеряли с точностью до 0,001 мм).

Твердение образцов осуществлялось в лабораторной пропарочной камере при температуре 95–100°C по режиму 3+8+3 час. Испытания газозолошлакобетонов на растрескивание проводилось по методике Б.Г.Скрамтаева с помощью образцов-колец внешним диаметром 150 мм и высотой 50 мм, плотно прилегающих к цилиндрическому стальному сердечнику диаметром 80 мм. Кольца подвергались пропариванию и в дальнейшем хранились вместе с остальными образцами.

Как показали результаты исследований, прочность газобетона увеличивается по мере увеличения в системе зола + шлак фракции крупностью 0,08 мм (правда до определенных пределов). При переходе от мелкодисперсных композиций к крупнозернистым относительная прочность на растяжение ( $R_t/R_{\text{сж}}$ ) увеличивается более чем вдвое (с 0,056 до 0,128). Как известно, величина этого показателя для газобетонов как автоклавного, так и неавтоклавного твердения находится в пределах 0,05–0,08, а газозолобетонов – 0,06. Это имеет важное значение для повышения трещиностойкости, поскольку она определяется не только усадкой, но и прочностью на растяжение.

По результатам проведенных работ, фракционный состав шлака для сочетания его с золой для обеспечения оптимальной гранулометрии смеси должен находиться в пределах: фр. – менее 0,08 мм – 22–29%, фр. – 0,08–0,3 мм – 2–5%, фр. – 0,3–5 мм – 59–75%. При этом достигается получение наилучшей структуры межпоровых перегородок газобетона, максимальной величины относительной прочности на растяжение, соответствующей минимальной усадке.

Процесс усадки бетонов, как известно, обуславливается удалением воды, различно физико-химически связанной в его структуре. В работе было непрерывно уменьшение водосодержания смеси ( $B/T = 0,54-0,28$ ) по мере уменьшения мелкой фракции. Соответственно уменьшалась и влажность газобетона после пропаривания. Минимальная усадка газозолошлакобетона составила 0,79 мм/м (для сравнения, усадка неавтоклавного газобетона обычного грансостава колеблется от 2,7–5,5 мм/м).

Подтверждением того, что оптимальные свойства газобетона можно получить лишь при определенном грансоставе системы, служит, например, увеличение усадки с уменьшением водо-твердого отношения.

При испытаниях ГЗШБ на трещиностойкость растрескивание образцов-колец имело место в составах не оптимизированной гранулометрии, т.е. в случаях наибольшей усадки и наименьшей относительной прочности на растяжение. Растрескивание образцов наблюдалось, как правило, через 2–3 суток с момента окончания пропарки. Максимальная ширина раскрытия трещин в образцах-кольцах составила 1,5 мм, минимальная – 0,1 мм. В образцах изготовленных из смесей оптимизированного гранулометрического состава появления трещин не наблюдалось.

Сопоставляя все характеристики ГЗШБ можно сделать вывод, что оптимальной областью гранулометрического состава системы является следующий: зола-уноса ( $S_{\text{зу}} = 1800-2200 \text{ см}^2/\text{г}$ ) – 1 часть, шлак саморассыпавшийся ( $S_{\text{ш}} = 1000-2200 \text{ см}^2/\text{г}$ ) – 1,65 части.

Позитивное влияние оптимизации гранулометрического состава распространяется и на реологические характеристики ГЗШБ. Как показывают результаты опытов, в интервале 10–20 мин. После затворения разница в величине пластической прочности доходит до 8–10 раз, что бесспорно должно сказаться на интенсивности вспучивания. Таким образом, можно констатировать, что гранулометрические составы смесей для получения оптимальных реологических и физико-механических свойств газобетона не совпадают. Более того, составы бетона, характеризующегося высокой пластической прочностью неприемлемы по трещиностойкости.

Для обеспечения оптимума реологических, прочностных, деформативных и теплофизических свойств материала скорее всего необходим полидисперсный гранулометрический состав системы.

Следует отметить важность фракционирования шлака в технологии ГЗШБ. В процессе распада (саморазрушения) частицы шлака (после выхода из процесса плавки) разрушаются по плоскостям минимальной прочности и приобретают более окатанную форму. Таким образом, наи-



более дисперсной фракцией, характеризующейся повышенной гидравлической активностью, является стеклофаза шлака, а не его кристаллическая часть.

Сравнение физико-механических и деформативных свойств ГЗШБ, где зола унос сочетается со шлаком в естественном (не просеянном) и фракционированном (после отсева) виде показывает существенное преимущество оптимизации гранулометрического состава смеси (путем отсева шлака по фракциям и применения нужных в расчетных количествах).

Газобетон оптимизированного грансостава характеризуется несколько меньшей прочностью на сжатие в сравнении с газобетоном, изготовленным на тех же компонентах без регулирования их зернового состава. Однако это неизбежное снижение прочности окупается резким улучшением практически всех других механических, деформативных и теплотехнических свойств газобетона. Это называется рационализацией гранулометрического состава системы.

Газозолошлакобетон с оптимальным зерновым составом системы зола+шлак имеет значительно большую (по сравнению с газобетоном на ШПЦ) морозостойкость, пониженную влажность после пропаривания. Последнее очень важно не только с позиций уменьшения усадки и повышения трещиностойкости, но и улучшения теплозащитных свойств в процессе эксплуатации, поскольку период установления равновесной влажности газозолобетонных весьма длителен.

В сравнении с газозолобетоном изготовленным по традиционной технологии влажность ГЗШБ после выхода из пропарочной камеры составляет 18–20% по массе, что в 1,7–2 раза ниже, сорбционное увлажнение – 8–11% (28–30%), коэффициент теплопроводности – 0,30 ккал /м·час·°С (0,37).

Таблица 1  
Свойства газобетонов различного гранулометрического состава

Вид газобетона	ВТ	Объемная масса, кг/м <sup>3</sup>		Влажность после пропаривания, % по массе	$R_{сж}$	$R_p/R_{сж}$	Водопоглощение по массе, %	Морозостойкость, циклов	Коэффициент теплопроводности, ккал/м·ч·°С		Усадка, мм/м
		П/н	С/с						А	Б	
Г-1	0,58	1260	90	39	6,4	0,06	55	75	0,2	0,38	1,72
Г-2	0,51	1390		22	5,6	0,08	29	95	0,28	0,56	1,28
Г-3	0,32	1020		18	5,3	0,12	30	100	0,17	0,30	0,71

Примечания:

Г-1 – ГЗБ на ШПЦМ-400;

Г-2 – ГЗШБ неоптимизированного грансостава на ПЦ М-500;

- 
- Г-3 – ГЗШБ оптимизированного грансостава на ПЦ М-500;  
П/п – объемная масса газобетона после пропаривания;  
С/с – объемная масса в сухом состоянии;  
А – коэффициент теплопроводности в сухом состоянии;  
Б – коэффициент теплопроводности при влажности 15%.
-

УДК 621.311.13:004.16.001.26

## ОПТИМИЗАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ СИСТЕМ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ПРЕДПРИЯТИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПОНЯТИЯ ОБ ОПТИМАЛЬНОЙ ПОТЕРИ НАПРЯЖЕНИЯ

Б.Б. Утегулов, А.Б. Утегулов,  
Д.Б. Утегулова, З.Д. Турсынбаева

*Павлодарский государственный университет им. С. Торайгырова*

В.В. Ткаченко

*Костанайский государственный университет им. А. Байтурсынова*

*Бұл жұмыста тораптағы тиімді кернеу мөлшері туралы түсінікті қалданып, тиімді параметрі өндірістің электрмен жабдықтау жүйесін құруға болатыны бекітілді.*

*В работе установлено что, используя понятие об оптимальной потере напряжения в сети, можно построить систему электроснабжения предприятия с оптимальными параметрами.*

*In work it is established that, using concept about optimum loss of a pressure (voltage) in a network, it is possible to construct system of electrosupply of the enterprise with optimum parameters.*

Эффективная работа современных предприятий с их сложными технологическими процессами и широким применением средств автоматического управления и регулирования во многом зависит от качества электроснабжения. Поэтому важнейшими требованиями к проектируемым и существующим системам электроснабжения предприятий являются надежность, экономичность и обеспечение требуемых показателей качества электроэнергии. Это означает прежде всего принятие наиболее совершенных технических решений, обеспечивающих рациональное сочетание капитальных затрат на сооружение систем электроснабжения и ежегодных эксплуатационных расходов.

В настоящее время основным экономическим критерием выбора технических решений при проектировании и эксплуатации систем электро-

снабжения является уровень приведенных затрат [1, 7]. Таким образом, всякие оптимизационные расчеты в настоящее время должны обеспечивать в первую очередь минимум приведенных затрат, которые можно назвать критерием оптимизации.

В связи с требованиями экономической целесообразности принимаемых технических решений особую актуальность приобретают исследования связанные с нахождением оптимальных параметров. Исследованиями многих авторов [1 ÷ 6] показано, что даже приближение выбираемых параметров к оптимальным обеспечивает высокий экономический эффект.

Необходимым условием правильного выбора оптимальных параметров систем электроснабжения при задании требуемых количественных и качественных характеристик систем является учет технических ограничений задаваемых исходной информацией при проведении оптимизации.

Огромные масштабы развития промышленных предприятий, высокие темпы роста производства и потребления электрической энергии ставят перед наукой и практикой все более сложные задачи, связанные с нахождением оптимальных решений при проектировании и эксплуатации систем электроснабжения.

К настоящему времени выполнено большое количество работ посвященных оптимизации систем электроснабжения промышленных предприятий в различных отраслях, а также отдельных параметров систем электроснабжения. При этом используются различные математические методы, широко применяются современные средства вычислительной техники. Полученные результаты могут использоваться при реальном проектировании систем электроснабжения предприятий. Вместе с тем каждый из применяемых методов оптимизации имеет свои недостатки, обусловленные, прежде всего принимаемыми исходными допущениями при построении математических моделей объектов. Эти недостатки сужают область применения методов оптимизации и являются основанием для дальнейшего совершенствования методов.

Кроме того, некоторые параметры систем электроснабжения и вопросы их оптимизации до настоящего времени рассмотрены недостаточно. К ним в частности относятся габаритно-стоимостные параметры линий электропередач и электропроводок напряжением до 1000 В и potencia напряжения в линиях электропередачи.

Из выше изложенного следует, что проблема оптимизации параметров систем электроснабжения промышленных предприятий имеет важ-

ное народно-хозяйственное значение и является актуальной, т.к. соответствует государственной программе энергосбережения Республики Казахстан.

Так как, рациональное построение систем электроснабжения определяется решением следующих главных технико-экономических задач:

- определение рационального размещения подстанций на территории предприятий с учетом планируемого роста электрических нагрузок;
- определение рационального напряжения;
- выбор экономически целесообразных сечений проводов жил и кабелей.

Указанные технико-экономические задачи по своему характеру относятся к оптимизационным. Для решения оптимизационных задач применяются разнообразные методы. В настоящее время существует множество работ посвященных вопросам оптимизации перечисленных выше задач [1-6]. Однако, до настоящего времени не предложено удобной в практическом применении методики позволяющей выполнить оптимальное построение системы внутреннего электроснабжения предприятия.

Следует отметить, что вопросы, связанные с определением рациональных напряжений и связанные с ними вопросы определения рационального числа трансформации в настоящее время, как правило, имеют очень большое число ограничений. Всегда заданы возможные варианты величины питающего напряжения, причем его зависимость на технико-экономические показатели системы хорошо изучена [1]. Величина внутреннего электроснабжения предприятий также определяется современным состоянием выпуска электротехнического и технологического оборудования. Хотя давно известно, что повышение величины внутреннего напряжения предприятий даст значительный экономический эффект, полный переход на более высокое напряжение по сравнению с применяемым в настоящее время, потребует очень больших капитальных затрат, кроме того, появятся трудности с заменой и ремонтом электрооборудования. Поэтому применение новых значений величин внутреннего напряжения, например, 20 кВ вместо 6 – 10 кВ, 0,66 кВ вместо 0,38 кВ целесообразно использовать только для крупных вновь строящихся предприятий. Причем величина напряжения не влияет на качественное соотношение других параметров сети электроснабжения: количество и месторасположение подстанций, оптимальную длину и сечение линий электропередачи, т.к. эти параметры будут изменяться пропорционально величине напряжения.

Таким образом, к основным параметрам сети внутреннего электро-

снабжения предприятий в настоящее время относятся: число и мощность потребительских (цеховых) подстанций, место их расположения, длина и сечение линий 6 – 10 кВ и 0,38 кВ. Эти параметры взаимно влияют друг на друга и оптимальным будет являться такое построение системы электроснабжения, при котором суммарные приведенные затраты на систему будут минимальными.

При определении оптимальных параметров сети электроснабжения всегда требуется построить математическую модель системы. Ввиду большого многообразия исходных условий, учет всех факторов определяющих систему электроснабжения представляет сложную задачу. Точный учет и не требуется, т.к. полученные выводы должны отражать характер технико-экономических закономерностей сети электроснабжения и определять порядок значений ее экономических критериев. Следует помнить, что независимо от метода решения поставленной задачи окончательные выводы при конкретном проектировании всегда должны уточняться в соответствии с местными условиями.

Используя понятие об оптимальной потере напряжения в сети, можно построить систему электроснабжения с оптимальными параметрами.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Федоров А.А. Теоретические основы электроснабжения промышленных предприятий. – М.: Энергия, 1976. – 272 с.
  2. Гордиевский И.Г., Лоркипанидзе В.Д. Оптимизация параметров электрических сетей. – М.: Энергия, 1978. – 144 с.
  3. Методы оптимизации режимов энергосистем. /Под ред. В.М. Горюштина. – М.: Энергоиздат, 1981. – 336 с.
  4. Арнон В.Д., Журавлев В.Г. Применение динамического программирования к задачам электроэнергетики. – Кишинев: Штиинца, 1981. – 134 с.
  5. Городничев А.В. Выбор оптимальных параметров городских кабельных сетей 380/220 В. Труды Всесоюзного НИИ электроэнергетики. Выпуск 30. – М., 1967. – С.16-30.
  6. Зейлигер А.Н., Лисочкина Т.В., Хобочев Л.Д. Экономические основы оптимизации и проектирования энергетических систем. – Л.: Энергия, 1977. – 74 с.
  7. Инструкция по определению экономической эффективности капитальных вложений в развитие энергетического хозяйства. – М.: Энергия, 1983. – 56 с.
-

УДК 621.311.001.26

## МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЭКОНОМИЧЕСКОГО РАДИУСА СЕТИ ПРИ ОПТИМИЗАЦИИ ПАРАМЕТРОВ СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ

Б.Б. Утегулов, А.Б. Утегулов,

Д.Б. Утегулова, З.Д. Турсынбаева

*Павлодарский государственный университет им. С. Торайгырова*

В.В. Ткаченко

*Костанайский государственный университет им. А. Байтурсынова*

*Рұқсат етілген тура кермеуге тура пропорционал және меншікті шығын кермеуі мен оптималды берілген қуатқа кері пропорционал болатын, ізделінп отырған шаманың функциясына негізделген, электрмен жабдықтау жүйесінің параметрлерінің оптимизациясы кезінде экономикалық радиусты анықтау әдісі жасалған.*

*Разработан метод определения экономического радиуса сети при оптимизации параметров системы электроснабжения основанный в функции искомой величины, которая прямо пропорциональна допустимой прямо напряжения и обратно пропорциональна оптимальной передаваемая мощность и удельной потери напряжения.*

*The method of definition of economic radius of a network is developed by optimization of parameters of system of electrosupply based in function of required size which is directly proportional allowable directly pressure (voltage) and capacity transmitted and specific loss of a pressure (voltage) is inversely proportional optimum.*

Потеря напряжения в сети является одним из значимых параметров системы электроснабжения. Потеря напряжения может изменяться в широких пределах в допустимом диапазоне отклонений напряжения, и ее оптимальное значение позволяет оптимизировать другие параметры сети: сечение линий и передаваемую по ним мощность. Рассмотрим, как можно построить сеть электроснабжения с оптимальными параметрами, используя понятие об оптимальной потере напряжения.

В [1] по технико-экономическим вопросам систем электроснабжения используется такое понятие, как "экономический радиус сети", под которым понимается протяженность линий электропередачи данного напряжения при которой приведенные расчетные затраты на систему электроснабжения минимальны.

С учетом обеспечения отклонения у потребителей в допустимых пределах, приравняв допустимые потери напряжения к оптимальным можно определить экономический радиус сети:

$$l_{\text{эк}} = \frac{\Delta U_{\text{доп}}}{\Delta U_{\text{опт.уд.}\%}} \quad (1)$$

где  $\Delta U_{\text{опт.уд.}\%}$  – удельная оптимальная потеря напряжения для данного элемента сети, %/км.

Экономическому радиусу сети будет соответствовать передаваемая по линии оптимальная мощность  $S_{\text{опт}}$ .

Используя понятие об оптимальной потере напряжения в линии, можно определить оптимальную мощность, передаваемую по данной линии, т.е. соответствующую минимуму приведенных затрат.

Значение удельной оптимальной потери напряжения в линии можно выразить как:

$$\Delta U_{\text{опт.уд.}\%} = \frac{100 \cdot S_{\text{опт}} \cdot (r_0 \cdot \cos \varphi + x_0 \cdot \sin \varphi)}{U_n^2} \quad (2)$$

где  $S_{\text{опт}}$  – оптимальная мощность, кВА;

$U_n$  – номинальное напряжение линии, кВ;

$\cos \varphi$  – коэффициент мощности нагрузки;

$r_0, x_0$  – активное и реактивное удельные сопротивления проводов, Ом на 1 км;

Удельное оптимальное потери напряжения в линии определяем по математической формуле выраженное через значения стоимостных оценок:

$$\Delta U_{\text{опт.уд.}\%} = \frac{100}{U_n} \cdot \left( \frac{S \cdot \sin \varphi}{U_n} \cdot x_0 + \cos \varphi \cdot \sqrt{\frac{p \cdot c \cdot 10^{-5}}{\tau \cdot C_{\text{л}}}} \right) \quad (3)$$

где  $S$  – транспортируемая мощность в линии электропередачи, кВА;

$c$  – коэффициент, зависящий от сечения (сопротивления) проводов;

$\tau$  – время максимальных потерь энергии в линии, ч;

$C_{\text{л}}$  – стоимость 1 кВт·ч потерянной электроэнергии;

$p$  – норма отчислений от стоимости трансформатора;

$$p = E_n + p_c$$



где  $E_n$  – нормативный коэффициент эффективности капитальных вложений;  
 $p_a$  – норма амортизационных отчислений.

Приравняв выражения (2) и (3) и выполнив преобразования, можно определить значение оптимальной мощности  $S_{\text{опт}}$ , соответствующей оптимальной потере напряжения и минимуму приведенных затрат в линии.

$$\frac{100 \cdot S_{\text{опт}} \cdot (\tau_0 \cdot \cos \varphi + x_0 \cdot \sin \varphi)}{U_n^2} = \frac{100}{U_n} \cdot \left( \frac{S_{\text{опт}} \cdot x_0 \cdot \sin \varphi}{U_n} + \cos \varphi \cdot \sqrt{\frac{p \cdot c \cdot 10^{-3}}{\tau \cdot \Pi_n}} \right),$$

$$S_{\text{опт}} \cdot \tau_0 \cdot \cos \varphi + S_{\text{опт}} \cdot x_0 \cdot \sin \varphi = S_{\text{опт}} \cdot x_0 \cdot \sin \varphi + U_n \cdot \cos \varphi \cdot \sqrt{\frac{p \cdot c \cdot 10^{-3}}{\tau \cdot \Pi_n}},$$

$$S_{\text{опт}} \cdot \tau_0 \cdot \cos \varphi = U_n \cdot \cos \varphi \cdot \sqrt{\frac{p \cdot c \cdot 10^{-3}}{\tau \cdot \Pi_n}},$$

$$S_{\text{опт}} = \frac{U_n}{\tau_0} \cdot \sqrt{\frac{p \cdot c \cdot 10^{-3}}{\tau \cdot \Pi_n}}. \quad (4)$$

Используя выражение (4) можно определить для любой линии электропередачи, любого конструктивного исполнения, с конкретным числом часов максимальных потерь и стоимостью потерь электроэнергии значение оптимальной мощности для любого сечения проводника с известным активным удельным сопротивлением  $\tau_0$ .

Обычно, при проектировании систем электроснабжения стоит обратная задача, т.е. по известной расчетной нагрузке линии требуется определить оптимальное сечение проводников, соответствующее минимуму приведенных расчетных затрат. Т.е. требуется подобрать удельное сопротивление линии  $\tau_0$ , при котором расчетная мощность будет являться оптимальной. В связи с тем, что стандартный ряд сечений проводников дискретен, подобрать оптимальное сечение провода для конкретной передаваемой мощности затруднительно. Но для каждого сечения проводника с удельным сопротивлением  $\tau_0$  можно найти интервал мощностей, при которых приведенные затраты на линию будут минимальными по сравнению с проводниками других сечений.

Из выражения (4) видно, что:

$$S_{\text{опт}} = \frac{A}{\tau_0}, \quad (5)$$

где  $A = U_{II} \cdot \sqrt{\frac{\rho \cdot c \cdot 10^{-3}}{\tau \cdot \Pi_x}}$  – постоянный коэффициент для линии одного напряжения и конструкции.

При передаче оптимальной мощности на оптимальное расстояние потери напряжения в линии будут равны оптимальным. Из анализа выражений (1) и (5) видно, что значение передаваемой по линии оптимальной мощности зависит от сечения проводников линии, а длина при оптимальной передаваемой мощности определяется только величиной допустимой в линии потери напряжения. Выражение (4) определяющее удельную оптимальную потерю напряжения в линии может быть преобразовано:

$$\Delta U_{\text{опт.уд.}\%} = S_{\text{опт}} \cdot \epsilon, \quad (6)$$

где  $\epsilon = \frac{100 \cdot (r_0 \cdot \cos \varphi + x_0 \cdot \sin \varphi)}{U_{II}^2} \cdot \frac{\%}{\text{кВА} \cdot \text{км}}$ .

Величину « $\epsilon$ » называют удельной потерей напряжения, ее значения приводятся в справочной литературе [2] для линий разного конструктивного исполнения, при различных значениях коэффициента мощности нагрузки.

С учетом выражений (1) и (6) экономический радиус сети:

$$l_{\text{эк}} = \frac{\Delta U_{\text{доп}}}{S_{\text{опт}} \cdot \epsilon}. \quad (7)$$

Если приравнять расчетную нагрузку линии к оптимальной, по расчетной нагрузке линии выбрать ее экономическое сечение (например, по таблицам экономических интервалов нагрузки), определить значение « $\epsilon$ », (либо расчетом, либо по готовым справочным таблицам), то можно легко определить экономический радиус сети по выражению (7).

Зная значение экономического радиуса сети можно легко определить другие параметры оптимальной сети.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Будзко И.А., Зуль В.М. Электроснабжение сельского хозяйства. – М.: Агропромиздат. 1990. – 456 с.
2. Анастасиев П.И., Бранзбург Е.З. и др. Проектирование кабельных сетей и проводок / Под общ. ред. Хромченко Г.Е. – М.: Энергия, 1979. – 328 с.

УДК 656.136:621.431.004.624

## ВЛИЯНИЕ ТЕХНИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ НА ПОКАЗАТЕЛЯ ИЗНОСА ДВИГАТЕЛЯ И ТЯГОВО-СКОРОСТНЫХ СВОЙСТВ АВТОПОЕЗДА

Э.З. Файзуллаев

Ташкентский автомобильно-дорожный институт, Узбекистан

*Мақалада автокөлік құралдарының техникалық параметрлерін оптимизациялау үшін қызмет ететін мақсат пен міндеттер қарастырылады. Біріншіден, автопоездардың жылдамдық қасиетін жақсартудың аса эффектілі жолдары анықталады, екіншіден, автопоездардың жылдамдық қасиеті мен тоғу көрсеткіштеріне ықпал ететін техникалық параметрлері сәйкестендіріледі. Автопоездың оптималды конструктивтік параметрлерін анықтай алатын регрессияның теңестіру анализі беріледі. Ковфакторлы анализ әдістерін қолдану тәжірибесі мен комплекстік көрсеткіштер олардың жоғары нәтижелілігіне негіз болады.*

*В данной статье рассматриваются цели и задачи, служащие для оптимизации технологических параметров автотранспортных средств, в первую очередь – это определение наиболее эффективных путей улучшения скоростных средств автопоезда; во-вторых – сочетание технических параметров, влияющих на показатели износа и скоростных средств автопоезда. Дается непосредственно анализ уравнений регрессий, при которых можно выявить оптимальные конструктивные параметры автопоезда. Опыт использования методов многофакторного анализа и комплексных показателей свидетельствует о высокой их результативности.*

*The article considers aims and tasks of motor transport technological parameters optimization. First it is necessary to determine the efficient ways of improvement of a motor train speed means. Second, it is necessary to determine technical parameters combination affecting the speed means of a motor train. The analysis of regress equations, that show optimum construction parameters of a motor train, is given in the article. The experience of multifactor analysis and complex indices methods usage proves their high efficiency.*

Целью оптимизации технических параметров АТС (автотранспортные средства) является максимально возможное повышение производительности, срока службы и, в целом, их эффективности. При оптимизации конструктивных параметров решаются две задачи:

– установление степени влияния технических параметров на показатели износа и скоростных свойств автопоезда и определение наиболее эффективных путей их улучшения;

– определение наилучшего сочетания технических параметров, влияющих на показатели износа и скоростных свойств автопоезда в реальной области варьирования параметров.

При решении этих задач, применительно к топливно-скоростным свойствам, успешно применяются методы многофакторного исследования с использованием ЭВМ, которые основаны на применении теории планирования эксперимента [1]. Это позволяет значительно сокращать объем расчетов (число опытов), обеспечивает достаточную достоверность получаемых результатов и учитывает количественное влияние и взаимодействие показателей топливной экономичности и скоростных свойств на эффективность работы АТС.

Теорию планирования эксперимента с таким же успехом можно применять при исследовании влияния износо-скоростных свойств на эффективность работы автопоезда.

Согласно теории планирования расчетные факторы должны быть управляемыми, однозначными и независимыми. На основе этих требований и анализа априорной информации проводятся отсеивания факторов.

Непосредственное влияние на показатели износо-скоростных свойств оказывает полная масса АТС, которую безусловно следует принять в качестве исследуемого фактора.

Тип двигателя в большинстве случаев является заданным, поэтому может быть исключен из исследования.

Максимальная мощность двигателя связана с крутящим моментом и номинальной частотой вращения коленчатого вала, поэтому последняя также применяется в качестве независимой переменной.

Часовой износ (полученный из единой износной характеристики [2]) двигателя при заданных режимах работы двигателя определяется как произведение удельного износа двигателя и затрачиваемой мощности, поэтому он принят постоянным.

Моменты инерции вращающихся масс двигателя, колес и трансмиссии, а также радиус качения ведущих колес могут быть приняты в качестве независимых переменных.

Такие переменные факторы, как давление воздуха в шинах, пересеченность продольного профиля, интенсивность движения, помехонасы-

ценность, стиль езды, тип маршрута, также приняты постоянными как факторы одностороннего действия.

Таким образом, в качестве независимых переменных приняты следующие параметры:

- полная масса автопоезда  $G_{av}$ ;
- номинальная частота вращения вала двигателя  $n_N$ ;
- число ступеней трансмиссии  $n_{cm}$ ;
- радиус качения  $r_k$ ;
- коэффициент сопротивления качению  $f$ ;
- коэффициент сопротивления воздуха  $K_a$ .

На первом этапе средняя скорость и износ двигателя могут являться необобщенными параметрами оптимизации, применяя которые можно добиться сужения исследуемой области факторного пространства. Экстремальные значения средней скорости и износа двигателя могут служить границами такой области. На втором этапе проведения после определения границ, используются обобщенные параметры оптимизации.

Выбранные для исследования уровни и интервалы варьирования факторов приведены в таблице 1.

Влияние воздействующих факторов исследовалось при моделировании на ЭВМ магистральных условий движения с допускаемой скоростью 70 км/ч [3]. В каждом опыте подсчитывались по программе моделирования движения автопоезда значения выходных параметров системы (средней скорости и износа двигателя). С помощью специальной программы определялись коэффициенты регрессии.

Таблица 1

Значение уровней и интервала варьирования факторов

Фактор	Уровни факторов			Интервал варьирования
	-1	0	+1	
$G_{av}$ , кг	24421	25272	26125	1704
$n_N$ , мин <sup>-1</sup>	2000	2300	2600	600
$n_{cm}$	5	-	10	-
$r_k$ , м	0,49	0,54	0,59	0,05
$K_a$ , кгс <sup>2</sup> /м <sup>4</sup>	0,0968	0,0131	0,165	0,0682
$f$	0,0088	0,0123	0,0158	0,007

Таким образом, получены следующие уравнения для магистральных режимов движения:

$$V_{sp} = 21,098 + 46,423r_k - 24,12K_a + 0,011n_N + 0,423n_{cm} - 57,027f - 0,701G_{av} \quad (1)$$

$$H_{pos} = -6,757 - 171,43r_k + 76,782K_a + 0,058n_N - 1,812n_{cm} + 126f + 1,431G_{av} \quad (2)$$

$$W_{ra} = 14,648 + 68,620r_k - 33,974K_a - 0,013n_N + 0,711n_{cm} - 80,066f + 0,017G_{av} \quad (3)$$

Анализ полученных уравнений позволяет выявить влияние факторов на среднюю скорость и на износ двигателя. Знак плюс означает, что с увеличением фактора растет значение параметра оптимизации, а знак минус, что оно уменьшается.

Из результатов анализа влияния вышепринятых для исследования факторов на выходные параметры системы следует, что коэффициенты  $f$  и  $K_0$  не нуждаются в оптимизации ввиду ограниченной возможности варьирования этими факторами на практике.

Таким образом, остаются четыре исследуемых фактора:  $G_{ав}$ ,  $n_{кр}$ ,  $r_x$  и  $n_{ср}$  каждый из которых является количественным, независимым и управляемым.

Для решения поставленной задачи методом полного факторного эксперимента обозначим:

$$X_1 = G_{ав}; x_2 = n_{кр}; x_3 = r_x; x_4 = n_{ср}$$

Математическое выражение модели (уравнение регрессии) в этом случае имеет вид:

– для средней скорости

$$V_{ср} = 54,91 - 0,66x_1 + 3,75x_2 + 221x_3 + 0,64x_4 + 0,42x_1x_2 - 0,31x_1x_3 - 0,38x_1x_4 - 0,6x_2x_3 - 0,75x_2x_4 + 6,21x_3x_4 \quad (4)$$

– для величины износа двигателя

$$I_{рвс} = 56,51 + 0,69x_1 + 11,55x_2 - 5,4x_3 - 2,75x_4 + 0,01x_1x_2 + 0,07x_1x_3 + 0,43x_1x_4 - 1,19x_2x_3 - 0,99x_2x_4 + 8,3x_3 \quad (5)$$

– для условной удельной производительности по износу

$$W_{рв} = 25,67 + 0,08x_1 - 3,57x_2 + 3,57x_3 + 1,63x_4 + 0,31x_1x_2 - 0,27x_1x_3 - 0,49x_1x_4 - 0,79x_2x_3 - 0,4x_2x_4 + 2,79x_3x_4 \quad (6)$$

По результатам анализа уравнений регрессии (4)–(6) для параметров  $V_{ср}$ ,  $I_{рвс}$ ,  $W_{рв}$  можно выявить оптимальные конструктивные параметры автопоезда.

Опыт использования методов многофакторного анализа и комплексных показателей для решения задач оптимизации конструктивных параметров автомобилей свидетельствует о высокой их результативности [1].

## ЛИТЕРАТУРА

1. Токарев А.А. Топливная экономичность и тягово-скоростные качества автомобиля. – М.: Машиностроение, 1982. – 224 с.
2. Метцгер Б.Н. Исследование проблемы оптимизации скоростей движения междугородных автопоездов. – Дисс. к.т.н. – М., 1977. – 181 с.
3. Фаробин Я.Е., Файзуллаев Э.З. Расчет износа двигателя автомобиля при движении его по заданному маршруту. // Известия ВУЗов. Машиностроение. – 1987. – №9.

УДК 622.349.5 (574)

## ИССЛЕДОВАНИЕ ЕСТЕСТВЕННОЙ РАДИОАКТИВНОСТИ ГОРНЫХ ПОРОД КОКШЕТАУСКОГО РЕГИОНА

С.М.Шарипов, В.И. Соловьёв Д.О. Байджанов,  
А.М.Васильев, Ш.Ж. Касым

*Карагандинский государственный технический университет  
им. Е.А. Букетова*

*Бұл жұмыста Кокшетау өңіріндегі тау жыныстарының табиғи радиоактивтілігін зерттеу нәтижелері көрсетілген*

*В данной работе приводятся исследования естественной радиоактивности горных пород и руд Кокшетауского региона.*

*In the given work it is resulted researches of a natural radio-activity of rocks and ores of Kokshetau region.*

Горные породы и руды Кокшетауского региона Акмолинской области отличаются чрезвычайным разнообразием состава, возраста и физического состояния. Здесь есть и древнейшие метаморфические комплексы пород протерозойского возраста – кристаллические сланцы, гнейсы, амфиболиты, эклогиты и др., и разнообразные по возрасту и составу интрузивные образования от Кембрийских пироксенитов, серпентинитов, габбро и др. до лейкократовых разновидностей гранитов среднего девона, и осадочно-вулканогенные отложения палеозоя – порфириты, туфы, песчаники, сланцы, алевролиты, известняки и др., мезозойские коры выветривания пород (щебнисто-глинистые, щебнистые, глинистые, каолиновые), и глины, суглинки, пески, галечники, конгломераты и др. породы мезозойской и кайнозойской эр. Имеются в области также и многочисленные месторождения различных полезных ископаемых, начиная от радионуклидов урана и тория, золота, олова, вольфрама и др., кончая месторождениями разнообразных строительных материалов.

В настоящей работе мы поставили себе целью охарактеризовать по естественной радиоактивности не все из вышеназванных горных пород

и руд, что практически и невозможно, а, главным образом, лишь те из них, которые являются основой для производства разнообразных строительных материалов, извлечения химических и других полезных рудных и нерудных компонентов.

Так, глины являются сырьем для производства кирпича, плитки, черепицы, керамзита, керамики, фарфора, фаянса, красок, замазок и др., камень – это облицовочная плитка, блоки, щебень, отсев, фундаменты, бордюры, памятники и др., песок – это руда титана, циркония, олова, золота, урана, алмазов, это бетоны, штукатурки, стекло, это пляжи и др., коры выветривания пород – это руды олова, золота, серебра, титана, редких металлов (тантала и ниобия), вермикулита, апатита, каолина и др.

Необходимость в знаниях о радиоактивности горных пород и руд диктуется, с одной стороны, все возрастающими в Акмолинской области объемами разработок месторождений полезных ископаемых, в особенности местных строительных материалов, а с другой – вообще отсутствием каких бы то ни было обобщений по этому вопросу.

Радиоактивными в Кокшетауском рудном районе могут быть все без исключения из называвшихся ранее горных пород и руд. Это объясняется как геохимическими особенностями радионуклидов урана (радия) и тория (высокая миграционная способность урана, устойчивость некоторых минералов тория к химическому выветриванию и др.), так и спецификой геологического строения региона. В частности, исключительно широким развитием здесь пользуются гранитоидные интрузии, занимающие обширные по площади территории и состоящие из гранитоидов (граниты, гранодиориты, сиениты), обладающих повышенной радиоактивностью (табл.1). Последняя объясняется повышенным содержанием в них радиоактивной минерализацией урана, тория и радиоактивного калия (калий – 40) и продуктов их распада.

Гранитных массивов в пределах Кокчетавского поднятия выявлено гораздо больше (более 50), чем в любом геологическом регионе Казахстана. Здесь зарегистрировано более 40 геологически изученных месторождений камня.

Другими источниками эмиссии радионуклидов в окружающую среду (вмещающие и вскрышные породы, почвы) являются многочисленные месторождения и рудопроявления урана и тория.

В Северо-Казахстанской рудной провинции их выявлено более 100, причем большая их часть приходится на Кокчетавский рудный район.



Таблица 1

Аномальная и фоновая радиолоактивность некоторых интрузивных пород Кочетавского среднего массива  
(по данным гамма-картировки)

№	Наименование горных пород и их возраст	Наименование интрузивных пород	Кол-во образцов	Радиолоактивность в мкР/час									
				Аномальная					Фоновая				
2				min	max	cp	min	max	cp	min	max	cp	
1	3			4	5	6	7	8	9	10			
I. Девонские интрузии Орлынского комплекса													
1.	Гранит - оверформ, г. Д <sub>3</sub>	Карагайский	22	15	153	58	13	150	55				
2.	Граниты легитовые, лейкоклазовые, г. Д <sub>3</sub>	Карагайский	15	82	155	112	60	145	94				
3.	Граниты среднезернистые, биотитовые, г. Д <sub>3</sub>	Карагайский	13	44	180	102	46	105	81				
4.	Граниты биотитовые, г. Д <sub>3</sub>	Усманский	4	87	115	102	60	75	66				
5.	Граниты мусковитовые, лейкоклазовые	Белая Аудан и Сосерка	3	33	118	67	24	100	50				
6.	Граниты, г. Д <sub>3</sub>	Калдарский блок	5	104	300	154	62	110	86				
7.	Граниты мусковит-биотитовые, среднезернистые, г. Д <sub>3</sub>	Орлынский	5	38	108	68	35	98	60				
8.	Граниты биотитовые, лейко-кратовые, порфировидные, г. Д <sub>3</sub>	Степковский	8	15	120	52	10	100	41				
9.	Граниты двухкратные, крупнозернистые, г. Д <sub>3</sub>	Коммунальный	34	23	228	104	21	120	75				
10.	Граниты двухкратные, среднезернистые, г. Д <sub>3</sub>	Коммунальный	12	52	120	88	30	92	67				
11.	Граниты лейкоклазовые, мелкозернистые, г. Д <sub>3</sub>	Коммунальный	4	82	117	106	62	90	75				
12.	Граниты биотитовые, крупно-зернистые, г. Д <sub>3</sub>	Золотой	27	16	190	82	13	130	65				
13.	Граниты биотитовые, средне-зернистые, г. Д <sub>3</sub>	Золотой	9	35	79	54	31	60	46				
II. Орлынок-Сулуртские интрузии Зердынского комплекса													
14.	Граниты биотитовые, биотитово-кварцевые, г. О <sub>1</sub> - S <sub>1</sub>	Субботинский	40	23	100	50	12	90	40				
15.	Граниты, гранодиориты, г. У б О <sub>1</sub> - S <sub>1</sub>	Субботинский	6	30	55	38	22	51	32				
16.	Гранодиориты, г. б О <sub>1</sub> - S <sub>1</sub>	Субботинский	32	17	175	46	15	60	30				
17.	Гранодиориты биотитовые, г. б О <sub>1</sub> - S <sub>1</sub>	Яловский	2	64	80	70	30	55	42				
18.	Гранодиориты, г. б О <sub>1</sub> - S <sub>1</sub>	Каракамынский	3	12	50	26	10	32	18				
19.	Гранодиориты, кварцевые диориты, г. б О <sub>1</sub> - S <sub>1</sub>	Светловский	7	12	30	22	9	28	18				
20.	Диориты, б О <sub>1</sub> - S <sub>1</sub>	Светловский	5	10	24	18	8	22	15				
21.	Диориты, б О <sub>1</sub> - S <sub>1</sub>	Корнеевский	3	13	130	59	6	55	28				
22.	Гранодиориты, г. б О <sub>1</sub> - S <sub>1</sub>	Корнеевский	4	13	46	19	5	20	12				
23.	Габбро, г <sub>б</sub>	Булалына	8	6	23	16	5	18	11				
24.	Габбродиориты, г <sub>б</sub>	Булалына	9	10	45	24	7	30	15				
25.	Габбро-габбро-диориты, г - г <sub>б</sub>	Булалына	5	15	22	18	10	13	12				
26.	Диориты, г <sub>б</sub>	Булалына	3	15	45	33	10	30	20				
27.	Габбро, г <sub>б</sub>	Дайын и степи Обуховской и Булакской зон	2	6	55	31	5	22	14				
28.	Габбро-диориты, г <sub>б</sub>	Дайын и степи Обуховской и Булакской зон	3	6	94	36	5	22	11				

Среди них урано-фосфорные с торием и др. элементами месторождения: Грачевское, Тасты-коль, Заозерное и др.; урано-селеновые: Семизбай, Абайское и Чаглинское; урано-ториево-оловянные и др.: Ускен и Февральское. Преобладающее большинство месторождений других металлов и неметаллических полезных ископаемых в области содержит в качестве попутных полезных ископаемых или мешающих (вредных примесей) уран и торий. Среди них следует отметить Васильковское золото-висмут-уран-мышьяковистое, Сырымбетское оловянно-вольфрамо-полиметаллическое с ураном (торием) и др. элементами, Павловское торий-бериллиевое, Обуховское титано-циркониевое с радиоактивной минерализацией циркона и монацита, Барчинское вермикулитовое и торий-урановое, Дубравское – апатита с ураново-ториевой минерализацией и др.

Вследствии высокой насыщенности недр Кокшетау месторождениями и рудопроявлениями радионуклидов, широкой распространенности гранитоидных пород и в результате длительно действовавших процессов химического и физического выветривания, инфильтрации, эвапорации, гидротермальной проработкой и др. в трещинно или пористо проницаемых зонах, пластах, блоках пород и др. коллекторах происходило накопление радионуклидов во всех горизонтах вмещающих, перекрывающих (вскрышных) горных пород, грунтах и почвах. В результате поисковых геологоразведочных работ, сопровождающихся глубинными наземными и аэрометрическими и гамма-спектроскопическими съемками практически во всех литологических разностях пород, встречающихся в районе, выявлены тысячи поверхностных и глубинных гамма-аномалий различной интенсивности (100–1000 мкр/час) природы. Как показывают данные (табл. № 1 и 2), интенсивность радиоактивных аномалий не зависит от состава пород. Интенсивные аномалии, как и месторождения урана (тория), наблюдаются как в рыхлых молодых образованиях (пески, глины, коры выветривания), так и в коренных (скальных) породах различного литологического состава и возраста.

Среди коренных пород наибольшей радиоактивностью обладают девонские интрузивные породы кислого и щелочного (калий содержащие) составов (граниты лейкократовые, биотитовые, мусковитые, гранат-порфиры, сиениты и др.). Их аномальная радиоактивность в среднем составляет 88 мкр/час, а максимальная (А max) до 300 мкр/час при фоновой в среднем 66 мкр/час и максимальной 145 мкр/час. Средняя аномальная радиоактивность аналогичных по составу пород более древнего ордовик-силурийского возраста составляет 88 мкр/час, а фоновая 36 мкр/час, т.е. примерно в два раза ниже. Во временном интервале от верхнего ордовика до верхнего девона (440–350 млн. лет) естественная радиоактивность возрастает более чем в два раза от 30 до 80 мкр/

Таблица 2

Аномальная и фоновая радиоактивность некоторых интрузивных пород Кызылтанского среднего массива (по данным гамма-картировки)

№	Наименование горных пород и руд	Геологический объект	К-во определений	Радиоактивность в мкр/час							
				Аномальная		Фоновая		Зв.			
				min	max	ср/мед	min	max	ср/мед	min	max
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1.	Главы	Кумдыколь, Сырдыбег, Инаевка, Ускен, Койнсай	57	55	1150	213/125	8	60	24/15	2,3	28,7
2.	Пески титано-циркониевые	Обуховское титано-циркониевое м-ние	21-36	18	197	86,75	2,2	29,2	6,9/75	2,2	29,2
3.	Прочие, в т.ч. урановые пески	Ускен, Койнсай, Инаевка	26	58	842	187/125	10	90	26,3/17,5	2,0	28,0
4.	Коры выветривания по гранитам	Сырдыбег, Ускен, Инаевка, Давранка	138	62	1400	164/125	5	150	56/40	1,4	23,2
5.	Коры выветривания по осадочным породам (сланцы, аргиллитам и ДР-)	Сырдыбег, Ускен	61	70	2250	262/100	10	100	33/25	1,9	90,0
6.	Коры выветривания гнейсовитов	Барчиское вермилузитовое м-ние	24	53	305	165/125	12	155	45/20	1,7	12,0
7.	Коры выветривания карбонатное (редкометаллическое)	Барчиское вермилузитовое м-ние	11	110	1800	543	20	45	39	5,5	45
8.	Коры выветривания габбро и габбродиоритов	Ускен, Дубровка, Кувандыкент-Сыланка	37	80	1700	347/125	10	56	30,0/15,45	2,4	113,5
9.	Руды урана	Фланги Васильевского м-ния	43	260	2300	628/400	10	180	73/60	3	50
10.	Руды урана	Южно-Васильевское (Чаглинское) м-ние урана	27	200	3230	895/400	10	40	25/25	8	108
11.	Руды урана	м-ние Ускен	32	250	2250	653/300	10	25	49/35,70	3	75,0
12.	Руды золота, совместно с урановой, урано-платиновой минерализацией	Сырдыбегское олово-паламгаллитическое м-ние	46	98	2400	268/150	8	50	2	2,6	220
13.	Руды олова, совместно с урановой, урано-платиновой минерализацией	Сырдыбегское олово-паламгаллитическое м-ние	51	96	975	260/160	10	166	50/35,55	2,0	29,6
14.	Каламидиты	м-ние Жолдыбай	48	-	-	-	3	36	11,6/10	-	-
15.	Мрамор	м-ние Жолдыбай	40	-	-	-	3	23	6,9/5	-	-
16.	Гнейсы в т.ч. оловяные	м-ние Жолдыбай	31	-	-	-	12	28	18,8/18	-	-
17.	Скарны	м-ние Жолдыбай	71	-	-	-	3	28	11,7/9	-	-
18.	Почвы	м-ние Чаглинское	67	19	52	27,6/24	15	22	18/17,5	-	-
19.	Бурий уголь	м-ние Кызылтанское	12	2	10	5,5/5	6	35	22,3/27,5	0,1	0,43

час. и она уменьшается по мере повышения основности пород от гранитов-плагиогранитов до габбро.

Наименьшей радиоактивностью из интрузивных пород обладают кембрийские габбро, габбро-диориты. Аномальные ее значения в среднем составляют 28 мкр/час, а фононы 14 мкр/час, при максимальных, соответственно, 55 и 20 мкр/час. Также низкой радиоактивностью характеризуются и древнейшие протерозойские метаморфические комплексы пород – кристаллические сланцы, гнейсы, амфиболиты и эклогиты. У последних радиоактивность понижается до первых единиц мкр/час. Среди этой категории пород находятся и основные разновидности декоративных облицовочных и поделочных камней области – кальцифиры, мраморы, гнейсы и кварны (табл. 2). Как видно из табличных данных, они также характеризуются очень низкой радиоактивностью, позволяющей отнести их по радиационно-гигиенической классификации к I классу пород, применяющихся в жилищном и гражданском строительстве без ограничений.

Среди рыхлых пород образовавшихся в результате разрушения и преобразования коренных отложений широким распространением пользуются мезозойские коры выветривания щебнистого, щебнисто-глинистого и глинистого (каолинового) составов. Они развиты в районе практически повсеместно, мощность их колеблется от нуля до первых сотен метров. В подавляющем большинстве случаев коры выветривания наследуют от материнских пород концентрации радиоактивных элементов. В зоне границы кора выветривания – коренные породы радионуклиды в какой-то степени перераспределяются – выщелачиваются (объединяются) или обогащаются. Аномальная радиоактивность образований коры выветривания может достигать значительных величин (1800–2250 мкр/час) и в среднем варьирует от 164 до 543 мкр/час. Средние фоновые значения колеблются в пределах от 30 до 56 мкр/час. Аномальная радиоактивность превышает фоновую в 3,2–16,5 раз. (табл. 2), коры выветривания обычно перекрывают чехлом третичных и четвертичных отложений (глины, суглинки, пески, почвы мощностью от 0 до первых десятков метров. Эти породы, как правило, имеют нормальное кларковое распределение радиоактивных элементов. Но и здесь бывают исключения, когда в отдельных зонах, пластах в результате инфильтрации водных растворов, процессов окисления /восстановления, волной сортировкой и др. происходит накопление урана (Аиртауское месторождение) или тория (Обуховское месторождение).

Из кайнозойских покровных отложений наибольшая радиоактивность у глин (до 1150 мкр/час), среднее значение аномальной радиоактивности 213 мкр/час, фоновой 24. Среднее превышение аномальной радиоактивности над фоном составляет 9. Некоторые разности глин, например, тем-

ноцветные (до черных) озерные (илистые, до илов), богатые органикой содержат линзы или прелой с рудными концентрациями урана. Радиоактивность песков несколько ниже, но также может достигать значительных величин (до 842 мкр/час) в случаях обогащения их урано-ториевой минерализацией. Самым верхним слоем четверичного покрова является почвеннорастительный. Радиоактивность его обычно низкая, но на отдельных участках над месторождениями и рудопроявлениями урана-ториевых руд, или там, где к поверхности приближаются или выходит на нее гранитоидные породы она может быть в следствие процессов инсоляции (эвапорации) несколько повышена. В качестве примера в табл.2 приводятся данные по радиоактивности почв над Чаглинским месторождением урана. Максимальная радиоактивность почв здесь достигает 52 мкр/час, что примерно в 3 раза превышает фоновую.

Наибольшей радиоактивностью среди руд обладают коренные урановые руды месторождений Чаглинского, Васильковского и Ускен, а также коровое оруденение урана на месторождении Ускен ( $A_{\max}$  2250 мкр/час). Максимальная их радиоактивность в изученных случаях достигает 2250–3230 мкр/час.

Средняя аномальная ( $A_{\text{ср}}$ ) варьирует от 628 до 895 мкр/час. Превышения над фоном колеблется от 10,1 до 26,4 раз. К рудам урана условно могут быть отнесены и ураноносные пески, вскрытые на участках Ивановском и Конысбай в долине р. Чаглинка ( $A_{\max}$  842 мкр/час,  $A_{\text{ср}}$  187 мкр/час). Урановое оруденение образовалось здесь в результате инфильтрации уран содержащих растворов в проницаемых отложениях и выпадения из них урана на границе восстановительно-окислительных сред. Подобного типа, так называемое, гидрогенное промышленное урановое оруденение разведано в Юрских конгломератах, песчаниках и алевропесчаниках в районе оз. Селетытениз на урано-молибден-селеновом месторождении Семизбай.

Примером руд тория служат коры выветривания по пироксенитам и редкометалльным карбонатитам на Барчинском месторождении вермикулита ( $A_{\max}$  1800 мкр/час,  $A_{\text{ср}}$  543 мкр/час), являющиеся одновременно рудами вермикулита и апатита (фосфора).

В практике геологоразведочных работ имеются многочисленные примеры совмещения руд золота, олова, вольфрама, алмазов, титана и циркония, редких металлов и др. с радионуклидами, вплоть до промышленных концентраций последних. Так, руды золота Васильковского место-

рождения, совмещенные с урановой или ураноториевой минерализацией по радиоактивности имеют следующие параметры:  $A_{\max}$  2400 мкр/час,  $A_{\text{ср}}$  268 мкр/час при среднем превышении аномальной радиоактивности руд над фоном 25,4 раза. Для руд олова Сырымбетского месторождения они соответственно составляют 975, 260 мкр/час и 6,3 раза. Поэтому очевидно, что при извлечении и концентрировании главных компонентов руд и др. месторождений в хвостах обогащения, рудных концентратах повышенная радиоактивность. Причем, радиоактивные элементы входят в кристаллическую решетку циркона. Поэтому улучшить технологические свойства концентрата путем гравитационного разделения в водной среде и избавиться от повышенной радиоактивности практически невозможно.

Радиоактивными, как правило, являются и редкометалльные руды тантала и ниобия (месторождения Сары-Булак, Лосевское и др.) к тому же вмещающей средой для них служат молодые высокорadioактивные граниты, содержание урана в которых достигает 9 г/т. (для сравнения в эколите 1 г/т, справочник «Требования промышленности к качеству минерального сырья. Уран»).

К важным нерудным полезным ископаемым относятся каменный и бурый угли. Хотя и в Кокшетауской области (ныне Акмолинской) нет крупных месторождений угля, а имеющиеся невелики по запасам и качеству (высокая зольность), сложившиеся в настоящее время тяжелое положение с энергоносителями диктует необходимость разработки местных месторождений угля. Краткие и порой отрывочные сведения о радиоактивности углей почерпнуты нами из отчетов по поисково-разведочным работам, проведенными в области в 50–60-е годы.

Бурые угли наиболее крупного Кзылтуского месторождения имеют пониженную по сравнению с вмещающими породами радиоактивность.  $A_{\max}$  – 10 мкр/час,  $A_{\text{ср}}$  – 5,5 мкр/час, что в 3–4 раза ниже средней радиоактивности вмещающих пород (22,3 мкр/час) см. табл. 2. Каменные угли Яблоновского месторождения, разрабатывающегося в 40-е годы имеют невысокую радиоактивность (6 мкр/час) и не отличаются по этому параметру от вмещающих пород угленосной толщ (песчаники, алевролиты и сланцы карбона). Каменный уголь Кокчетавского проявления, расположенного в урочище Кызыл Жулдуз рядом с областным центром, характеризуется повышенной (до 61 мкр/час на фоне 10 мкр/час) радиоактивностью. Общей закономерностью для углей различных угольных бассейнов СНГ является зависимость их радиоактивность

от содержания в них глинистых фракций. Она увеличивается с увеличением их зольности (концентрацией калия).

Таким образом, совершая обзор сведений по радиоактивности горных пород и руд Коңметавского рудного районов следует отметить, что абсолютное большинство всех рудных и нерудных полезных ископаемых, получаемых из них концентратов, стройматериалов, художественных и санитарно-технических изделий, красителей и др. может содержать повышенные концентрации радионуклидов. Радиометрическому обследованию должны подвергаться и горные породы и руды на месте их залегания (скважины, горные выработки, карьеры, хвосты обогащения, отвалы и т.п.) и производимые из них промежуточные и конечные продукты.

Данные обстоятельства не должны служить препятствием широкому использованию богатств земных недр в народном хозяйстве, так как радиометрический контроль на любом по масштабам добывающим или использующим конечную продукцию предприятий организовать в настоящее время технически несложно, материальные затраты при этом невелики, а результаты достаточно всеобъемлющи и объективны. Кроме того, в области имеется большой выбор природных материалов (чем она выгодно отличается от ряда других регионов Республики) и широкая сфера их использования. Следовательно, практически все, что добывается из недр (руды, вмещающие и вскрышные породы, воды и др.) может быть использовано в различных областях народного хозяйства.

Так, преобладающее большинство пород, (за редким исключением выявляемым при радиометрическом контроле) древнего метаморфического комплекса (сланцы, гнейсы, мрамора, амфиболиты, эцлогиты и др.) интрузивных пород среднего и основного составов (габбро, диориты, дуниты, пироксениты и др.), большинство различных литологических разновидностей осадочных пород палеозоя (сланцы, песчаники, известняки, доломиты и др.) являются с большой гарантией экологически чистыми породами I класса. Продукты их переработки могут использоваться в жилищном, гражданском и промышленном строительстве; в быту, как при внутренних, так и наружных работах и т.д.

Среди пород гранитоидного ряда, а также некоторых вскрышных пород (глин, грунтов и др.) имеются как низкорadioактивные, I класса, так и высокорadioактивные породы II и реже III класса, что в каждом конкретном случае устанавливается радиометрическим методом. Применение таких пород, как и продуктов их переработки ограничивается промышленным строительством, наружными работами, отсыпкой полотна дорог, дамб, плотин, покрываемых нерадиоактивными материалами, работой вне населенных пунктов и т. п.

Руды тяжелых, благородных, цветных и редких металлов, исключая радионуклидные могут быть стерильными (по содержанию последних), так и более высоких категорий (II-V классов), что также выясняется в результате радиационно-гигиенической оценки полезных ископаемых и тогда при их переработке и использовании должны применяться специальные технологии, меры предосторожности, радиационной безопасности и т.д.

И, наконец, руды урана и тория – это всегда материалы высших классов, которые не должны использоваться ни в каких видах строительства или сферах народного хозяйства, кроме атомной энергетики или в качестве стратегического сырья.

В практической деятельности, к сожалению, мы сплошь и рядом сталкиваемся с примерами примитивной «в слепую» обработки месторождений полезных ископаемых и использования продуктов их переработки. Известны случаи отсыпки дорог из отвалов забалансовых урановых руд, рассева их вдоль автомобильных трасс, складирования внутри населенных пунктов, закладки радиоактивных фундаментов для жилых домов, использования радиоактивного отсева в качестве «песка» на детских игровых площадках, для засыпки полов, подвалов жилых домов (что приводит к накоплению в них радона), применения радиоактивного щебня для изготовления панельных плит жилых домов, использования радиоактивных титаноциркониевых песков для внутренней штукатурки стен жилых и рабочих помещений, радиоактивных поделочных камней для изготовления внутренних облицовочных покрытий, шкатулок, настольных приборов, брошек, кулонов и т.д., и т.п.

И все же, мы надеемся, что знание и использование полученной информации о естественной радиоактивности горных пород и руд Кокшетауского рудного района специалистами горнодобывающих и геологоразведочных предприятий, экологической и санитарно-эпидемиологической служб, применение ими современных методик радиационно-гигиенической оценки полезных ископаемых и продуктов их переработки, в конечном итоге, приведут к экологически безопасной, грамотной их разработке и использованию горного сырья в народном хозяйстве Республики.

---



УДК 621.01

## К РАСЧЕТУ НАТЯЖЕНИЯ РЕМНЯ ПЕРЕДАТОЧНЫХ МЕХАНИЗМОВ С ТРЕМЯ ШКИВАМИ

М. Эргашов, А.Жураев, З.М. Курбанова, М.М. Салимова

*Ташкентский институт текстильной и легкой  
промышленности, Узбекистан*

*Ташкентский институт ирригации и мелиорации сельского  
хозяйства, Узбекистан*

*Стационарлық режимде айналатын үш шкивпен өперетін  
механизмнің қайыс тартылуын анықтаудың жаңа қойылуы мен есепті  
шығару одістемесі келтірілген.*

*Приведены новые постановка и методика решения задачи  
определения натяжения ремня передаточного механизма с тремя шкивами,  
вращающегося в стационарном режиме.*

*Accounting technique of tension belt of transmission mechanism with  
three pulleys which turns in fixed condition are given.*

Как известно, ремни передаточных механизмов изготавливаются из кожи, прорезиненной хлопчатобумажной ткани, полимерных, синтетических и других материалов. Наиболее перспективны синтетические ремни ввиду их высокой прочности и долговечности. Несущий слой этих ремней выполняется из капроновых тканей, полиэфирных нитей. Материал фрикционного слоя – полиамид или каучук [1, 2].

Для шнуров корда применяют полиамидные и полиэфирные волокна, для передач с особенно высокой нагрузкой – кевлар. Ремни с кордом из кевлара имеют высокую прочность, практически не вытягиваются. Выпускаются также кордтканевые клиновые ремни с несколькими слоями ткани, они имеют меньший модуль упругости и лучше работают при ударной нагрузке.

В эксплуатации ремни должны обладать высокой прочностью при переменных напряжениях, износостойкостью, максимальным коэффициентом трения на рабочих поверхностях, минимальной изгибной жесткостью.

В современных схемах ременной передачи с малым расстоянием между ведущим и ведомым шкивами применяются ремни кругового, прямоугольного, квадратного, поликлинового, клиновидного и многопрофильного сечения.

В передаточных механизмах с большими расстояниями между шкивами по всей длине цельного ремня могут развиваться большие упругие деформации, приводящие к провесам; поэтому ремни для них делают, как правило, составными (из коротких кусков).

Передаточный механизм работает с неизбежным упругим скольжением ремня по шкивам, так как силы натяжения и следовательно, согласно закону Гука относительные удлинения ветвей ремня различны.

Ниже рассматривается задача о движении ремня передаточного механизма с двумя внутренними и одним наружным шкивами, вращающегося в стационарном режиме с заданной скоростью (рис. 1).

Постановка задачи. Пусть  $\rho_0$  – начальная плотность материала ремня;  $F_0$  – площадь поперечного сечения;  $x'$ ,  $y'$  – составляющие скорости движения поперечных сечений ремня на оси  $x$  и  $y$  соответственно;  $s$  – лагранжова координата;  $ds$  – длина рассматриваемого элемента;  $\varphi$  – угол, образованный между касательной к данной точке ремня и горизонтальной осью  $x$ ;  $T$  – натяжение;  $u$  – скорость вращения ремня;  $f$  – коэффициент трения;  $\omega_i$  – частоты вращения шкивов;  $t$  – время.

Неизвестные параметры движения ремня будем снабжать соответствующими

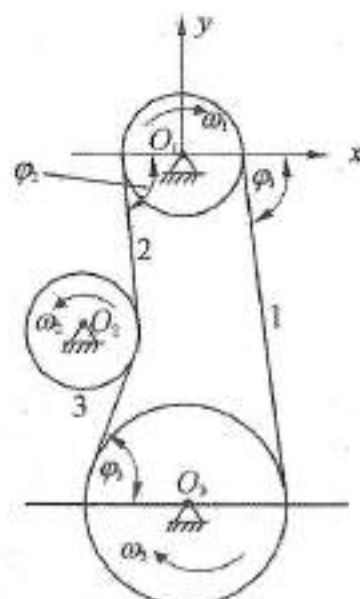


Рис. 1. Схема движения передаточного механизма с одним внешним шкивом

щими индексами принятой на рис. 1 нумерации.

Предположим, что второй – наружный шкив с диаметром  $d_2$  расположен левее остальных шкивов и диаметр первого шкива  $d_1$  меньше, чем диаметр третьего шкива  $d_3$ . Центры шкивов с диаметрами  $d_1$  и  $d_3$  расположены на вертикальной оси (рис. 1).

На участках контакта на ремень действуют распределенные в плоскости  $(x, y)$  силы давления  $R_1, R_2, R_3$ , трения  $F_{тр}^{(1)}, F_{тр}^{(2)}, F_{тр}^{(3)}$ , ведущие и полезные силы  $P_1, P_2, P_3$  (рис. 2–4). В дальнейшем силы  $P_1, P_2$  и  $P_3$  условно будем называть ведущими силами.

Линии действия равнодействующих сил давления совпадают с биссектрисами углов обхвата поверхности соответствующих шкивов. Линии действия сил трения и ведущих сил шкивов перпендикулярны к линиям действия соответствующих сил давления. Равнодействующие силы давления и трения связаны между собой с помощью закона Кулона.

Предположим, что углы обхвата, скорость  $u$ , коэффициент трения, частоты вращения и ведущие силы шкивов известны. Найдем выражения для натяжения и силы давления. Относительные проскальзывания ремня на поверхности контакта и холостые вращения шкивов отсутствуют.

Реактивные силы  $R_1$  и  $R_3$  с горизонтальной осью  $x$  образуют углы  $\beta_1$  и  $\beta_3$  соответственно (рис. 2, 3):

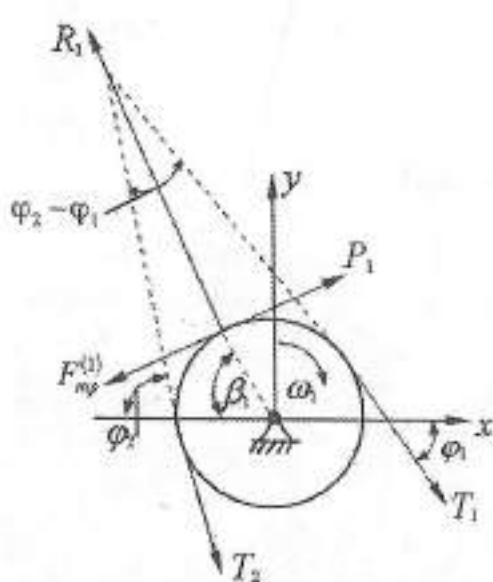


Рис. 2. Схема действия сил на ремень на поверхности первого шкива

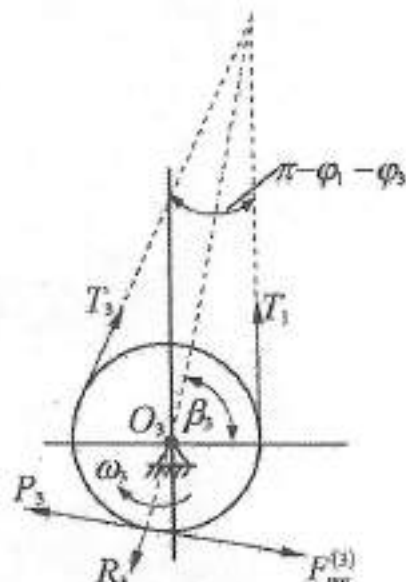


Рис. 3. Схема действия сил на ремень на поверхности третьего шкива

$$\beta_1 = \frac{\varphi_1 + \varphi_2}{2}; \beta_3 = \frac{\pi}{2} - \frac{\varphi_1 - \varphi_2}{2}.$$

Реактивная сила  $R_2$  в зависимости от углов  $\varphi_2$  и  $\varphi_3$  (координаты расположения центра второго шкива), может образовать положительный (рис. 4, а) или отрицательный угол  $\beta_2$  (рис. 4, б)

$$\beta_2 = \begin{cases} \frac{1}{2}(\varphi_2 - \varphi_3) & \text{при } \varphi_2 < \varphi_3 \\ 0 & \text{при } \varphi_2 = \varphi_3 \\ \frac{1}{2}(\varphi_3 - \varphi_2) & \text{при } \varphi_3 > \varphi_2. \end{cases}$$

Условия нерастяжимости и закон сохранения массы бесконечно малого элемента ремня имеют вид соответственно [3, 4]:

$$ds_0 = ds_1 = ds_2 = ds_3; \rho_0 F_0 ds_0 = \rho_1 F_1 ds_1 = \rho_2 F_2 ds_2 = \rho_3 F_3 ds_3.$$

Кинематические условия – условия непрерывности движения механизма принимают вид:

$$x_1^* dt = \cos \varphi_1 ds_1, \quad y_1^* dt = -\sin \varphi_1 ds_1; \quad x_2^* dt = -\cos \varphi_2 ds_2, \quad y_2^* dt = \sin \varphi_2 ds_2;$$

$$x_3^* dt = \cos \varphi_3 ds_3, \quad y_3^* dt = \sin \varphi_3 ds_3,$$

где знаки минус означают, что направления составляющих скоростей  $x_2^*$  и  $y_1^*$  противоположны направлениям горизонтальной и вертикальной оси соответственно.

Уравнения закона сохранения количества движения на поверхности шкивов имеют вид:

– на поверхности первого шкива

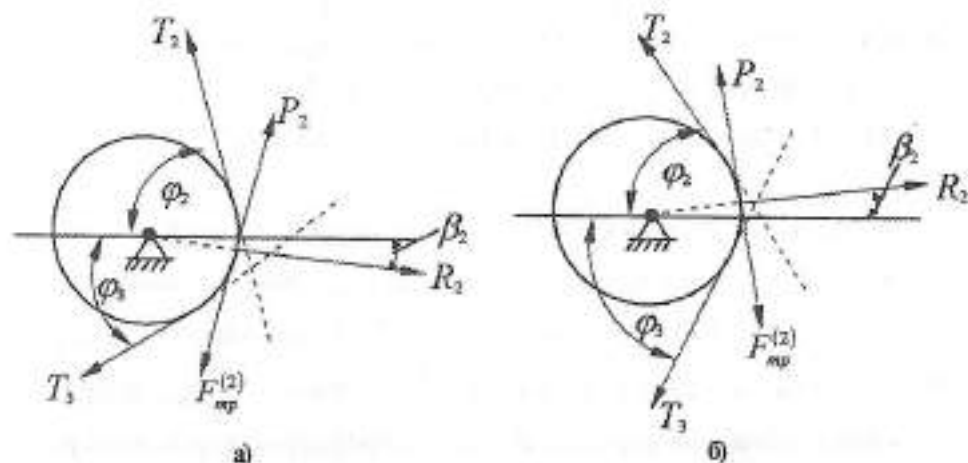


Рис. 4. Схема действия сил на ремень поверхности второго шкива

$$\rho_1 F_1 ds_1 (x_1^* - x_2^*) = (T_1 \cos \varphi_1 + T_2 \cos \varphi_2 - R_1 \cos \beta_1 - f R_1 \sin \beta_1 + P_1 \sin \beta_1) dt,$$

$$\rho_1 F_1 ds_1 (y_1^* - y_2^*) = (-T_1 \sin \varphi_1 - T_2 \sin \varphi_2 + R_1 \sin \beta_1 - f R_1 \cos \beta_1 + P_1 \cos \beta_1) dt;$$

- на поверхности второго шкива

$$\rho_2 F_2 ds_2 (x_2^* - x_3^*) = (-T_2 \cos \varphi_2 - T_3 \cos \varphi_3 + R_2 \cos \beta_2 \mp f R_2 \sin \beta_2 \pm P_2 \sin \beta_2) dt,$$

$$\rho_2 F_2 ds_2 (y_2^* - y_3^*) = (T_2 \sin \varphi_2 - T_3 \sin \varphi_3 \mp R_2 \sin \beta_2 - f R_2 \cos \beta_2 + P_2 \cos \beta_2) dt;$$

- на поверхности третьего шкива

$$\rho_3 F_3 ds_3 (x_3^* - x_1^*) = (-T_1 \cos \varphi_1 + T_3 \cos \varphi_3 - R_3 \cos \beta_3 + f R_3 \sin \beta_3 - P_3 \sin \beta_3) dt,$$

$$\rho_3 F_3 ds_3 (y_3^* - y_1^*) = (T_1 \sin \varphi_1 + T_3 \sin \varphi_3 - R_3 \sin \beta_3 - f R_3 \cos \beta_3 + P_3 \cos \beta_3) dt.$$

Здесь и в дальнейшем верхние знаки берутся, когда сила  $R_3$  образует с осью  $x$  положительный угол  $\beta_3$  ( $\varphi_2 > \varphi_3$ , рис. 4, а), а нижние знаки - отрицательный угол  $\beta_3$  ( $\varphi_2 < \varphi_3$ , рис. 4, б).

Решение задачи. Используя кинематические условия, условия непрерывности движения механизма и закона сохранения массы, уравнения закона сохранения количества движения приводим к виду

$$T_1 \cos \varphi_1 + T_2 \cos \varphi_2 - R_1 (\cos \beta_1 + f \sin \beta_1) = \rho_0 F_0 \mu^2 (\cos \varphi_1 + \cos \varphi_2) - P_1 \sin \beta_1,$$

$$T_1 \sin \varphi_1 + T_2 \sin \varphi_2 - R_1 (\sin \beta_1 - f \cos \beta_1) = \rho_0 F_0 \mu^2 (\sin \varphi_1 + \sin \varphi_2) + P_1 \cos \beta_1,$$

$$T_2 \cos \varphi_2 + T_3 \cos \varphi_3 - R_2 (\cos \beta_2 \mp f \sin \beta_2) = \rho_0 F_0 \mu^2 (\cos \varphi_2 + \cos \varphi_3) \pm P_2 \sin \beta_2,$$

$$T_2 \sin \varphi_2 - T_3 \sin \varphi_3 - R_2 (\pm \sin \beta_2 + f \cos \beta_2) = \rho_0 F_0 \mu^2 (\sin \varphi_2 - \sin \varphi_3) - P_2 \cos \beta_2,$$

$$T_1 \cos \varphi_1 - T_3 \cos \varphi_3 - R_3 (-\cos \beta_3 + f \sin \beta_3) = \rho_0 F_0 \mu^2 (\cos \varphi_1 - \cos \varphi_3) - P_3 \sin \beta_3,$$

$$T_1 \sin \varphi_1 + T_3 \sin \varphi_3 - R_3 (\sin \beta_3 + f \cos \beta_3) = \rho_0 F_0 \mu^2 (\sin \varphi_1 + \sin \varphi_3) - P_3 \cos \beta_3.$$

Отсюда найдем

$$T_1 \cos \varphi_1 + T_2 \cos \varphi_2 - R_1 \eta_{11} = A_1, \quad T_1 \sin \varphi_1 + T_2 \sin \varphi_2 - R_1 \eta_{12} = A_2, \quad (1)$$

$$T_2 \cos \varphi_2 + T_3 \cos \varphi_3 - R_2 \eta_{21} = B_1, \quad T_2 \sin \varphi_2 - T_3 \sin \varphi_3 - R_2 \eta_{22} = B_2, \quad (2)$$

$$T_1 \cos \varphi_1 - T_3 \cos \varphi_3 - R_3 \eta_{31} = C_1, \quad T_1 \sin \varphi_1 + T_3 \sin \varphi_3 - R_3 \eta_{32} = C_2, \quad (3)$$

где

$$\eta_{11} = \cos \beta_1 + f \sin \beta_1, \quad \eta_{12} = \sin \beta_1 - f \cos \beta_1, \quad \eta_{21} = \cos \beta_2 \mp f \sin \beta_2,$$

$$\eta_{22} = \pm \sin \beta_2 + f \cos \beta_2, \quad \eta_{31} = -\cos \beta_3 + f \sin \beta_3, \quad \eta_{32} = \sin \beta_3 + f \cos \beta_3,$$

$$A_1 = \rho_0 F_0 \mu^2 (\cos \varphi_1 + \cos \varphi_2) - P_1 \sin \beta_1, \quad A_2 = \rho_0 F_0 \mu^2 (\sin \varphi_1 + \sin \varphi_2) + P_1 \cos \beta_1,$$

$$B_1 = \rho_0 F_0 \mu^2 (\cos \varphi_2 + \cos \varphi_3) \pm P_2 \sin \beta_2, \quad B_2 = \rho_0 F_0 \mu^2 (\sin \varphi_2 - \sin \varphi_3) - P_2 \cos \beta_2,$$

$$C_1 = \rho_0 F_0 \mu^2 (\cos \varphi_1 - \cos \varphi_3) - P_3 \sin \beta_3, \quad C_2 = \rho_0 F_0 \mu^2 (\sin \varphi_1 + \sin \varphi_3) - P_3 \cos \beta_3.$$

Уравнения (1)-(3) служат для определения неизвестных натяжения  $T_3$ ,

$T_2$ ,  $T_3$  и давления  $R_1$ ,  $R_2$ ,  $R_3$ . Исключая неизвестные реактивные силы эти уравнения представим в виде

$$T_1(\eta_{12} \cos \varphi_1 - \eta_{11} \sin \varphi_1) + T_2(\eta_{12} \cos \varphi_2 - \eta_{11} \sin \varphi_2) = A_1 \eta_{12} - A_2 \eta_{11}, \quad (4)$$

$$T_2(\eta_{22} \cos \varphi_2 - \eta_{21} \sin \varphi_2) + T_3(\eta_{22} \cos \varphi_3 + \eta_{21} \sin \varphi_3) = B_1 \eta_{22} - B_2 \eta_{21}, \quad (5)$$

$$T_3(\eta_{31} \sin \varphi_3 + \eta_{32} \cos \varphi_3) + T_1(\eta_{31} \sin \varphi_1 - \eta_{32} \cos \varphi_1) = C_2 \eta_{31} - C_1 \eta_{32}. \quad (6)$$

Введем обозначения

$$\alpha_{11} = \eta_{12} \cos \varphi_1 - \eta_{11} \sin \varphi_1, \quad \alpha_{12} = \eta_{12} \cos \varphi_2 - \eta_{11} \sin \varphi_2, \quad A = A_1 \eta_{12} - A_2 \eta_{11},$$

$$\alpha_{21} = \eta_{22} \cos \varphi_2 - \eta_{21} \sin \varphi_2, \quad \alpha_{22} = \eta_{22} \cos \varphi_3 + \eta_{21} \sin \varphi_3, \quad B = B_1 \eta_{22} - B_2 \eta_{21},$$

$$\alpha_{31} = \eta_{31} \sin \varphi_1 - \eta_{32} \cos \varphi_1, \quad \alpha_{32} = \eta_{31} \sin \varphi_3 + \eta_{32} \cos \varphi_3, \quad C = C_2 \eta_{31} - C_1 \eta_{32}.$$

Тогда уравнения (4)-(6) принимают вид

$$T_1 \alpha_{11} + T_2 \alpha_{12} = A, \quad T_2 \alpha_{21} + T_3 \alpha_{22} = B, \quad T_1 \alpha_{31} + T_3 \alpha_{32} = C. \quad (7)$$

Отсюда найдем

$$T_1 = \frac{A \alpha_{21} \alpha_{32} - B \alpha_{12} \alpha_{32} + C \alpha_{22} \alpha_{12}}{\alpha_{11} \alpha_{21} \alpha_{32} + \alpha_{31} \alpha_{22} \alpha_{12}}, \quad T_2 = \frac{A \alpha_{31} \alpha_{32} - C \alpha_{22} \alpha_{11} + B \alpha_{32} \alpha_{11}}{\alpha_{12} \alpha_{31} \alpha_{22} + \alpha_{21} \alpha_{32} \alpha_{11}},$$

$$T_3 = \frac{C \alpha_{11} \alpha_{21} - A \alpha_{21} \alpha_{31} + B \alpha_{32} \alpha_{31}}{\alpha_{32} \alpha_{11} \alpha_{12} + \alpha_{22} \alpha_{12} \alpha_{31}}.$$

Неизвестные силы реакции определяются из уравнения (1)-(3)

$$R_1 = \frac{T_1 \sin(\varphi_2 - \varphi_1) - A_1 \sin \varphi_2 + A_2 \cos \varphi_2}{\eta_{11} \sin \varphi_2 - \eta_{12} \cos \varphi_2}, \quad R_2 = \frac{T_2 \sin(\varphi_3 + \varphi_2) - B_1 \sin \varphi_2 - B_2 \cos \varphi_2}{\eta_{21} \sin \varphi_3 + \eta_{22} \cos \varphi_3},$$

$$R_3 = \frac{-T_3 \sin(\varphi_3 + \varphi_1) - C_1 \sin \varphi_1 + C_2 \cos \varphi_1}{\eta_{31} \sin \varphi_1 - \eta_{32} \cos \varphi_1}.$$

Полученное решение позволяет установить законы распределения параметров движения между ветвями 1, 2, 3 ремня и зависимости натяжения от конструктивных показателей и скорости вращения механизма, а также свойства материала ремня.

Наличие силы  $P_1$ ,  $P_2$  и  $P_3$  в уравнениях закона количества движения и в полученном решении позволяют рассматривать любого из двух внутренних шкивов ведущим, а другого ведомым. Если, например первый шкив является ведущим, остальные шкивы ведомыми, то конечно  $P_1 > P_2$  и  $P_1 > P_3$ . Силы  $P_2$  и  $P_3$  в данном случае могут быть полезными силами возникающие в моменты пуска и останова механизма, а также вращения шкивов.

Если отказаться от предположения, что силы сопротивления равны силам трения, то коэффициенты  $\eta$ ,  $A$ ,  $B$  и  $C$  принимают вид

$$\begin{aligned}
\eta_{11} &= \cos \beta_1, \eta_{12} = \sin \beta_1, \eta_{21} = \cos \beta_2, \\
\eta_{22} &= \sin \beta_2, \eta_{31} = \cos \beta_3, \eta_{32} = \mp \sin \beta_3, \\
A_1 &= \rho_0 F_0 \mu^2 (\cos \varphi_1 - \cos \varphi_2) + P_1 \sin \beta_1 - R_C^{(1)}, \\
A_2 &= \rho_0 F_0 \mu^2 (\sin \varphi_1 + \sin \varphi_2) + P_1 \cos \beta_1 - R_C^{(1)}, \\
B_1 &= \rho_0 F_0 \mu^2 (\cos \varphi_2 + \cos \varphi_3) \pm P_2 \sin \beta_2 \mp R_C^{(2)}, \\
B_2 &= \rho_0 F_0 \mu^2 (\sin \varphi_2 + \sin \varphi_3) - P_2 \cos \beta_2 + R_C^{(2)}, \\
C_1 &= \rho_0 F_0 \mu^2 (\cos \varphi_1 + \cos \varphi_3) + P_3 \sin \beta_3 - R_C^{(3)}, \\
C_2 &= \rho_0 F_0 \mu^2 (\sin \varphi_1 - \sin \varphi_3) - P_3 \cos \beta_3 + R_C^{(3)}.
\end{aligned}$$

Все остальные коэффициенты и решение задачи остаются без изменения.

Таким образом, если известны закон задание силы сопротивления вала или ее экспериментальные значения, то в основных уравнениях и полученных решениях силы трения легко можно заменить заданным выражением или значением силы сопротивления. Такая методика позволяет рассматривать любую форму задания силы сопротивления.

Начальные и текущие натяжения ремня следует выдерживать в заданных пределах: оно не должно быть излишне тугим или, наоборот, слабым, так как назначение ременной передачи – осуществлять связь валов без жестких сочленений, передавая при этом постоянное усилие.

Определение начальные натяжения ремня в момент пуска механизма. Пуск приводного механизма происходит в течении некоторого времени  $0 \leq t \leq t'$ . При  $t = 0$  силы привода  $P_1$ ,  $P_2$  и  $P_3$  равны нулю, а при возрастании времени  $t$  от 0 до  $t'$  силы  $P_i$  ( $i = 1, 2, 3$ ) возрастают до некоторого постоянного значения, достаточного для привода механизма к движению. Натяжение ремня в период времени  $0 \leq t \leq t'$  возрастает от  $T_{CT}$  до некоторого значения  $T_i^*$ , где  $T_{CT}$  – значение статического натяжения, возникающего при  $P_i = 0$  и  $\mu = 0$ . При  $T \geq T^*$  механизм начинает вращаться. В рассматриваемой задаче при  $t \geq t'$  силы  $P_i$  и  $T_i \geq T_i^*$  постоянные величины.

Условия равновесия ремня на поверхности шкивов имеют вид:

$$\begin{aligned}
T_1 \cos \varphi_1 + T_2 \cos \varphi_2 - R_1 (\cos \beta_1 + f \sin \beta_1) &= -P_1 \sin \beta_1, \\
T_1 \sin \varphi_1 + T_2 \sin \varphi_2 - R_1 (\sin \beta_1 - f \cos \beta_1) &= P_1 \cos \beta_1; \\
T_2 \cos \varphi_2 + T_3 \cos \varphi_3 - R_2 (\cos \beta_2 \mp f \sin \beta_2) &= \pm P_2 \sin \beta_2, \\
T_2 \sin \varphi_2 - T_3 \sin \varphi_3 - R_2 (\pm \sin \beta_2 + f \cos \beta_2) &= -P_2 \cos \beta_2; \\
T_1 \cos \varphi_1 - T_3 \cos \varphi_3 - R_3 (-\cos \beta_3 + f \sin \beta_3) &= -P_3 \sin \beta_3,
\end{aligned}$$

$$T_1 \sin \varphi_1 + T_3 \sin \varphi_3 - R_3 (\sin \beta_3 + f \cos \beta_3) = -P_3 \cos \beta_3.$$

Здесь и в дальнейшем звездочку над  $T$  будем опускать.

Последние уравнения напомним в виде:

$$T_1 \cos \varphi_1 - T_2 \cos \varphi_2 - R_1 \eta_{11} = M_1; \quad T_1 \sin \varphi_1 + T_2 \sin \varphi_2 - R_1 \eta_{12} = M_2; \quad (8)$$

$$T_2 \cos \varphi_2 + T_3 \cos \varphi_3 - R_2 \eta_{22} = N_1; \quad T_2 \sin \varphi_2 + T_3 \sin \varphi_3 - R_2 \eta_{23} = N_2; \quad (9)$$

$$T_1 \cos \varphi_1 + T_3 \cos \varphi_3 - R_3 \eta_{31} = K_1, \quad T_1 \sin \varphi_1 - T_3 \sin \varphi_3 - R_3 \eta_{32} = K_2, \quad (10)$$

где:  $M_1 = -P_1 \sin \beta_1$ ,  $M_2 = P_1 \cos \beta_1$ ;  $N_1 = \pm P_2 \sin \beta_2$ ,  $N_2 = -P_2 \cos \beta_2$ ;

$$K_1 = -P_3 \sin \beta_3, \quad K_2 = -P_3 \cos \beta_3.$$

Исключая неизвестные силы реакции, уравнения (8)–(10) приводим к виду

$$T_1 (\eta_{12} \cos \varphi_1 - \eta_{11} \sin \varphi_1) + T_2 (\eta_{12} \cos \varphi_2 - \eta_{11} \sin \varphi_2) = M_1 \eta_{12} - M_2 \eta_{11}, \quad (11)$$

$$T_2 (\eta_{23} \cos \varphi_2 - \eta_{21} \sin \varphi_2) + T_3 (\eta_{23} \cos \varphi_3 + \eta_{21} \sin \varphi_3) = N_1 \eta_{23} - N_2 \eta_{21}, \quad (12)$$

$$T_1 (\eta_{31} \sin \varphi_1 - \eta_{32} \cos \varphi_1) + T_3 (\eta_{31} \sin \varphi_3 + \eta_{32} \cos \varphi_3) = K_2 \eta_{31} - K_1 \eta_{32}. \quad (13)$$

Введем обозначения

$$M = M_1 \eta_{12} - M_2 \eta_{11}, \quad N = N_1 \eta_{23} - N_2 \eta_{21}, \quad K = K_2 \eta_{31} - K_1 \eta_{32}.$$

Тогда последние уравнения принимают вид

$$T_1 \alpha_{11} + T_2 \alpha_{12} = M, \quad T_2 \alpha_{21} + T_3 \alpha_{22} = N, \quad T_1 \alpha_{31} + T_3 \alpha_{32} = K. \quad (14)$$

Система линейных алгебраических уравнений (14) имеет решение

$$T_1 = \frac{M \alpha_{21} \alpha_{32} - N \alpha_{12} \alpha_{32} + K \alpha_{12} \alpha_{12}}{\alpha_{11} \alpha_{21} \alpha_{32} + \alpha_{31} \alpha_{22} \alpha_{12}}, \quad T_2 = \frac{M \alpha_{31} \alpha_{32} - K \alpha_{22} \alpha_{11} + N \alpha_{32} \alpha_{11}}{\alpha_{12} \alpha_{31} \alpha_{22} + \alpha_{21} \alpha_{32} \alpha_{11}},$$

$$T_3 = \frac{K \alpha_{11} \alpha_{31} - M \alpha_{21} \alpha_{31} + N \alpha_{12} \alpha_{31}}{\alpha_{32} \alpha_{11} \alpha_{12} + \alpha_{22} \alpha_{12} \alpha_{31}}.$$

Неизвестные силы реакции определяются из уравнения (8)–(10)

$$R_1 = \frac{T_1 \sin(\varphi_2 - \varphi_1) - M_1 \sin \varphi_2 + M_2 \cos \varphi_2}{\eta_{11} \sin \varphi_2 - \eta_{12} \cos \varphi_2},$$

$$R_2 = \frac{T_2 \sin(\varphi_3 + \varphi_2) - N_1 \sin \varphi_3 - N_2 \cos \varphi_3}{\eta_{21} \sin \varphi_3 + \eta_{22} \cos \varphi_3},$$

$$R_3 = \frac{-T_2 \sin(\varphi_3 + \varphi_1) - K_1 \sin \varphi_1 + K_2 \cos \varphi_1}{\eta_{31} \sin \varphi_1 - \eta_{32} \cos \varphi_1}.$$

Полученные решения позволяют проследить за изменениями и перераспределением натяжения между ветвями ремня до момента начала вращения с заданной скоростью  $\omega = \text{const}$ .



## ЛИТЕРАТУРА

1. Жураев А.Ж. Динамика рабочих механизмов хлопкоперерабатывающих машин. – Ташкент: Фан, 1987.
  2. Паномарев С.А. и др. Основы современных методов расчета на прочность в машиностроении. – М.: Машгиз, 1952.
  3. Эргашов М., Мавлонов М.Т. Скольжение гибкой нити по поверхности неподвижного твердого тела // Прикладная механика. – 2002. – №6. – С. 89–96.
  4. Эргашов М., Максудов Р.Х., Усманкулов А.К., Курбанова З.М. Определение натяжения композитного ремня передаточного механизма // Композиционные материалы. – 2003. – № 3.
-

## ИНФОРМАЦИЯ

### НАШИ АВТОРЫ

**Бийжанов Джумагельды Омарович** – декан ИСФ, Карагандинский государственный технический университет им. Е.А. Букетова, д.т.н., профессор.

**Баубекев Куат Талгатович** – доцент Павлодарского государственного университета им. С. Торайгырова, к.т.н.

**Бисенов Кылышбай Алдабергенович** – академик НИА РК, ректор Кызылординского государственного университета им. Коркыт-Ата, д.т.н., профессор.

**Бойко Федор Константинович** – профессор кафедры электроэнергетики, Павлодарский государственный университет им. С. Торайгырова, д.т.н.

**Васильев Александр Михайлович** – доцент кафедры ПЭ, Кокшетауский университет, к.т.н., доцент.

**Гордиенко Анатолий Николаевич** – профессор кафедры транспортной техники, Институт металлургии, машиностроения и транспорта, Павлодарский государственный университет им. С. Торайгырова, к.т.н., доцент.

**Данилов Василий Иванович** – доцент кафедры инженерных сетей и геотехнических сооружений Архитектурно-строительного Института, Павлодарский государственный университет им. С. Торайгырова, к.т.н., доцент.

**Дивилова Мина Эмануэловна** – доцент кафедры инженерных сетей и геотехнических сооружений Архитектурно-строительного Института, Павлодарский государственный университет им. С. Торайгырова, к.т.н., доцент.

**Джураев А.** – Ташкентский институт текстильной и легкой промышленности, Узбекистан.

**Ельмуратов Сембай Каишевич** – старший научный сотрудник кафедры промышленного и гражданского строительства, Павлодарский государственный университет им. С. Торайгырова, к.т.н., профессор.

**Ельмуратова Анна Федоровна** – директор департамента науки, Павлодарский государственный университет им. С. Торайгырова, к.т.н., доцент.

**Зайцева Наталья Михайловна** – доцент кафедры вычислительной техники и программирования, Павлодарский государственный университет им. С. Торайгырова, к.т.н., доцент.

**Ибрагимова Гульшира Ермековна** – зам. директора Института металлургии, машиностроения и транспорта, Павлодарский государственный университет им. С. Торайгырова.

**Исаев Кадыржан Адилевич** – доцент, Казахский национальный технический университет им. К. Сатпаева, к.т.н., г. Алматы.

**Избасарова Индира Жамаладиновна** – аспирант кафедры ТСМНИ, Карагандинский государственный технический университет им. Е.А. Букетова.

**Жадрасинов Нагашбай Таргитович** – зав. кафедрой теоретической механики, Карагандинский государственный технический университет, д.т.н., профессор.

**Жураев А.** – Ташкентский институт текстильной и легкой промышленности, Узбекистан.

**Кабдышева Бахытгуль Нурумханова** – ст. преподаватель, кафедры промышленного и гражданского строительства, Павлодарский государственный университет им. С. Торайгырова.

**Касым Шокан Жанатулы** – ассистент кафедры ПЭ, Кокшетауский университет.

**Кознонов Валерий Александрович** – доцент кафедры инженерных систем и геотехнических сооружений, Павлодарский государственный университет им. С. Торайгырова, к.т.н.

**Курбанова З.М.** – Ташкентский институт ирригации и мелиорации сельского хозяйства, Узбекистан.

**Кучербаев Ерболсын Тулебаевич** – аспирант кафедры ТСМИИ, Карагандинский государственный технический университет им. Е. А. Букетова.

**Мардапов Аlishbek Канатбекович** – студент кафедры промышленного и гражданского строительства, Павлодарский государственный университет им. С. Торайгырова.

**Мукимов А.** – Ташкентский институт текстильной и легкой промышленности, Узбекистан.

**Наурызбаев Айдын Рахымжанович** – аспирант, Казахский национальный технический университет им. К. Сатпаева, г. Алматы.

**Наурызбаев Рахимжан Кажикеевич** – профессор, КазНАУ, д.т.н., г. Алматы.

**Птицына Елена Вячеславовна** – студент факультета автоматизации, Омский государственный технический университет, Россия.

**Птицына Елена Витальевна** – доцент кафедры электроэнергетики, Павлодарский государственный университет им. С. Торайгырова, к.т.н.

**Рядин Владимир Витальевич** – профессор кафедры двигателя и организация дорожного движения, Павлодарский государственный университет им. С. Торайгырова, к.т.н.

**Салимова М.М.** – Ташкентский институт ирригации и мелиорации сельского хозяйства, Узбекистан.

**Сквозьских Людмила Николаевна** – зам. декана факультета ветеринарии, Тюменская государственная сельскохозяйственная академия, к. вет. наук, доцент.

**Соловьев Владимир Иванович** – академик ИНА, зав. лаб. композиционных материалов, НИИ стромпроект, д.т.н., профессор, г. Алматы.

**Степаненко Владимир Михайлович** – канд. физ.-мат. наук, доцент, кафедра прикладной математики Павлодарский государственный университет им. С. Торайгырова.

**Суюнцов Мерхат Мадениевич** – зав. кафедрой металлургии, Павлодарский го-

сударственный университет им. С. Торайгырова, к.т.н., доцент.

**Сулеймен Ермек Бейсекулы** – доцент кафедры металлургии, Павлодарский государственный университет им. С. Торайгырова, к.т.н.

**Темербаева Жанна Амангельдиновна** – ст. преподаватель кафедры профессионального обучения и инженерной графики, Павлодарский государственный университет им. С. Торайгырова

**Удербасов Саган Сейтканович** – старший научный сотрудник, Кызылординский государственный университет им. Коркыт-Ата, к.т.н.

**Утегулов Арман Болатбекович** – доцент кафедры электроснабжение промышленных предприятий, Павлодарский государственный университет им. С. Торайгырова, канд. техн. наук.

**Утегулов Болатбек Бахытжанович** – зав. кафедрой электроэнергетики, Павлодарский государственный университет им. С. Торайгырова, доктор техн. наук, профессор.

**Утегулова Дана Болатбековна** – аспирант кафедры электроэнергетики Павлодарский государственный университет им. С. Торайгырова.

**Ткаченко Владимир Васильевич** – зав. кафедрой электроснабжение и электрификация сельских предприятий, Костанайский государственный университет имени А. Байтурсынова, г. Костанай.

**Турсынбаева Зауре Дуйсенбековна** – магистр кафедры электроэнергетики, Павлодарский государственный университет им. С. Торайгырова.

**Тусунбекова Марал Жанбулатовна** – ассистент кафедры металлургии, Павлодарский государственный университет им. С. Торайгырова.

**Торнищев Шамиль Камильевич** – доцент кафедры промышленного и гражданского строительства, к.т.н., Павлодарский государственный университет им. С. Торайгырова.

**Торнищев Фарид Шамильевич** – студент, Павлодарский государственный университет им. С. Торайгырова.

Файзуллаев Э.З. – Ташкентский автомобильно-дорожный институт, к.т.н., Узбекистан.

Шарипов Серик Мурзабаевич – до-

цент кафедры ПЭ, Кокшетауский университет, к.т.н.

Эргашов М. - Ташкентский институт текстильной и легкой промышленности, Узбекистан.

## ПРАВИЛА ДЛЯ АВТОРОВ

1. В журнал принимаются рукописи статей по всем направлениям естественных и технических наук в двух экземплярах, набранных на компьютере, напечатанных 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" (кегель – 12 пунктов, гарнитура – Times New Roman/KZ Times New Roman).

2. Статья подписывается всеми авторами. 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: кегель – 14 пунктов, гарнитура – Times New Roman Cyr (для русского, английского и немецкого языков), KZ Times New Roman (для казахского языка), заглавные, жирные, абзац центrovанный;

– инициалы и фамилия(-и) автора(-ов), полное название учреждения: кегель – 12 пунктов, гарнитура – Arial (для русского, английского и немецкого языков), KZ Arial (для казахского языка), абзац центrovанный;

– аннотация на казахском, русском и английском языках: кегель – 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: кегель – 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.)

3. Петров И.И. Название диссертации: дисс. канд. биолог. наук. М.: Название института, год. Число страниц.

4. C.Christopoulos, The transmission-Line Modelling (TLM) Method, Piscataway, NJ: IEEE Press, 1995.

На отдельной страничке (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) авто-

ра(-ов) на казахском, русском и английском языках (для «Содержания»).

4. Иллюстрации. Перечень рисунков и подрисовочные надписи к ним предоставляются отдельно и в общий текст статьи не включают. На обратной стороне каждого рисунка следует указать его номер, название рисунка, фамилию автора, название статьи. На дискете рисунки и иллюстрации в формате TIF или JPG с разрешением не менее 300 dpi (файлы с названием «Рис1», «Рис2», «Рис3» и т.д.).

5. Математические формулы должны быть набраны как Microsoft Equation (каждая формула – один объект). Нумеровать следует лишь те формулы, на которые имеются ссылки.

6. Автор просматривает и визирует граф-

иче 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:

637034, Республика Казахстан, г. Павлодар, ул. Ломова 64,

Павлодарский государственный университет им. С. Торайгырова,

«Научный издательский центр ПГУ».

Тел. (3182) 45-11-23, 45-11-43,

факс: (3182) 45-11-23.

E-mail: [publish@psu.kz](mailto:publish@psu.kz)

Подписано в печать 04.12.2003 г.  
Формат 297х 420/2. Бумага книжно-журнальная.  
Объем 6,1 уч.-изд. л. Тираж 300 экз.  
Заказ № 0339.

Научный издательский центр  
Павлодарского государственного университета  
им. С. Торайгырова  
637034, г. Павлодар, ул. Домова 64.