

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И
НАУКИ УКРАИНЫ

СБОРНИК НАУЧНЫХ ТРУДОВ

ДОНБАССКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО
ТЕХНИЧЕСКОГО УНИВЕРСИТЕТА



ВЫПУСК 25

Алчевск 2007

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ УКРАИНЫ

**СБОРНИК НАУЧНЫХ ТРУДОВ
ДОНБАССКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО
ТЕХНИЧЕСКОГО УНИВЕРСИТЕТА**

Издается с июня 1999 года

Выпуск 25

Алчевск
2007

УДК 622(06) + 669(06) + 69(06) + 621.3 + 621.37

ББК Ия 54 + КЗя54 + Ня 54

С 41

Сборник включен в перечень научных изданий ВАКа Украины, в котором могут публиковаться основные результаты диссертационных работ

*Свидетельство Госкомтелерадио Украины о регистрации
серия КВ, № 10307, от 27.12.2005*

*Рекомендовано ученым советом и редакционной коллегией ДонГТУ
(Протокол № 11 от 28.12.2007)*

Главный редактор

Заблодский Н.Н. – канд. техн. наук

Редакционная коллегия:

А.И. Акмаев – докт. экон. наук,
С.Н. Петрушов – докт. техн. наук,
Г.Г. Литвинский – докт. техн. наук,
Р.А. Фрумкин – докт. техн. наук,
Г.В. Бабиюк - докт. техн. наук,
Г.И. Гайко - докт. техн. наук,
Н.К. Клишин – докт. техн. наук,
З.Л. Финкельштейн – докт. техн. наук,
А.Б. Зеленов – докт. техн. наук,
Ю.С. Денищик – докт. техн. наук,
В.А. Ульшин – докт. техн. наук,
А.И. Давиденко – докт. техн. наук,
В.А. Луценко – канд. техн. наук,
В.Н. Ульяницкий – канд. техн. наук,
Ю.Э. Паэранд – канд. техн. наук,
С.Е. Короткова – канд. техн. наук,
С.А. Скомская – нач. информ. отдела

С 41 Сборник научных трудов Донбасского государственного технического университета. Вып. 25 – Алчевск: ДонГТУ, 2007 – 285 с.

В сборнике помещены статьи, описывающие современные научные тенденции в разработке полезных ископаемых, металлургии, строительстве, электротехнике и радиотехнике.

Для научных сотрудников, аспирантов, студентов высших учебных заведений.

УДК 622(06) + 669(06) + 69(06) + 621.3 + 621.37

ББК Ия 54 + КЗя54 + Ня 54

© ДонГТУ, 2007

Адрес электронной почты: info@dmmti.edu.ua

**РАЗРАБОТКА
ПОЛЕЗНЫХ
ИСКОПАЕМЫХ**

*д. т. н., проф. Клишин Н.К.,
к. т. н., доц. Склепович К.З.
(ДонГТУ, г.Алчевск, Украина)*

СЕЙСМОАКУСТИЧЕСКИЙ МЕТОД ОПЕРАТИВНОГО КОНТРОЛЯ СОСТОЯНИЯ КРОВЛИ В ЛАВАХ ПЕРЕД УПРОЧНЕНИЕМ

Проаналізовано залежності між фільтраційними, сейсмоакустичними, ємнісними властивостями порушених покрівель; викладена сутність методу контролю стану покрівлі в лаві.

Проблема и ее связь с научными и практическими задачами.

Упрочнение нагнетанием химических составов, предназначенное для слабых трещиноватых кровель угольных пластов, применяется всего в одной, двух лавах Донбасса в год. Причины: высокая цена и большой расход полиуретанового состава, рекомендуемый в нормативных документах.

Изучение свойств трещиноватых массивов горных пород является важным направлением научных исследований, результаты которых будут способствовать снижению затрат, увеличению объёма упрочнения нагнетанием составов.

Анализ исследований и публикаций.

Методы исследования трещиноватости: наблюдения непосредственные; наблюдения за протеканием воды или воздуха; по кернам; геофизические [1]. Визуальные наблюдения пригодны для ориентировочной оценки при выборе способа упрочнения, шага установки анкеров [2]. Метод воздушного опробывания трещиноватости предназначен для определения зон трещиноватости в массиве вокруг выработок [3]. Отбор кернов слабых трещиноватых пород без их предварительного упрочнения невозможен.

Из геофизических методов наиболее подходящим является сейсмоакустический метод с частотой колебаний до 10 кГц. При этом источниками упругих волн могут быть резец, разрушающий породу, шнек угольного комбайна, частота упругих колебаний от которых не превышает 10 кГц.

При разработке сейсмоакустического способа оперативного контроля состояния массива перед упрочнением необходимо учитывать

следующие два положения, изложенные в работе В.Т. Глушко и др.: степень трещиноватости и характер заполнения трещин больше влияют на затухание волн, чем на скорость её распространения; по мере увеличения степени трещиноватости влияние физико-механических свойств отдельностей на акустические характеристики среды нивелируются [4].

Постановка задачи.

Цель работы – разработать сейсмоакустический метод оперативного контроля состояния кровли в лавах перед упрочнением.

Объект исследования – технология упрочнения кровли в лавах.

Предмет исследования – сейсмоакустические свойства трещиноватого массива.

Задачи:

– исследовать интенсивность сейсмоакустических волн, проходящих через кровлю от резца, разрушающего породу при бурении шпура, от шнека разрушающего угольный пласт;

– исследовать зависимости между интенсивностью сейсмоакустических волн, коэффициентом проницаемости, трещинной пустотностью кровли.

Метод исследования – натурный. Интенсивность сейсмоакустических волн измеряли прибором ПСЛ-2м конструкции ИГД им. А.А. Скочинского [5] при бурении шпура, располагая приёмник поочередно справа и слева от шпура на расстоянии 0,5 м и при глубине шпура 1,8 м. При сейсмоакустическом профилировании кровли в лаве источником волн служил разрушающий уголь шнек комбайна. Замеры выполняли позади и впереди комбайна через 1 м подвигания комбайна.

Изложение материала исследований и их результаты.

На рисунке 1 приведена схема и результаты зондирования кровли на сопряжении лавы со штреком. Источник сигнала находился на боковой поверхности пород штрека, а приёмник располагали в нише на расстоянии от 0,5 до 4,0 м от штрека. Согласно графику интенсивность сейсмоакустических волн нелинейно уменьшается при удалении как источника волн от забоя лавы, так приёмника волн от штрека, особенно интенсивно при расстоянии от штрека 2,0 м и более и независимо от расположения источника сигнала.

На рисунке 2 показана схема и приведены результаты зондирования кровли на рассмотренном выше сопряжении лавы со штреком, но при расположении источника сигнала волн (коронки, разрушающей породу) в забое шпура [4]. Интенсивность проходящих через кровлю сейсмоакустических волн измеряли в местах замеров на стенке выработки и на кровле в нише.

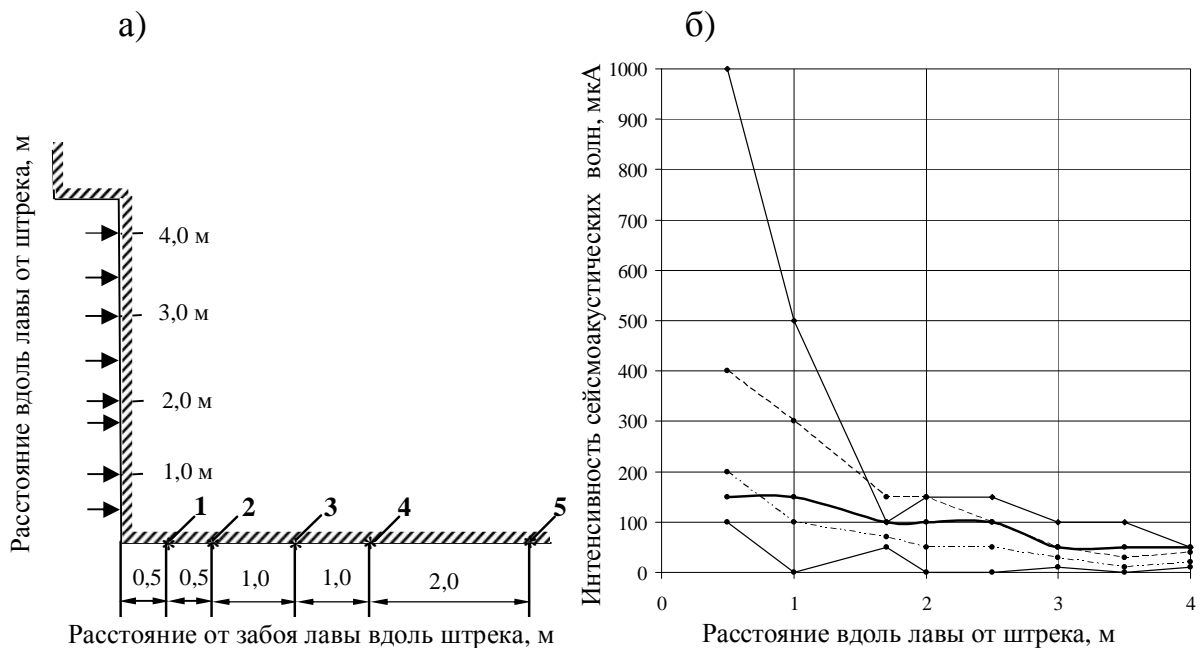


Рисунок 1 – Схема измерения (а) и график сейсмоакустического зондирования кровли на сопряжении ниши со штреком (б); – источник волн; 1...5 – положение источника волн.

Результаты измерений вдоль выработки, представленные кривой (1) и вдоль лавы (кривая 2), существенно разнятся. Так, интенсивность сейсмоакустических волн перпендикулярно выработке – 600 мкА, перпендикулярно забою лавы – 250 мкА. Это можно объяснить расположением основной системы трещин параллельно забою лавы.

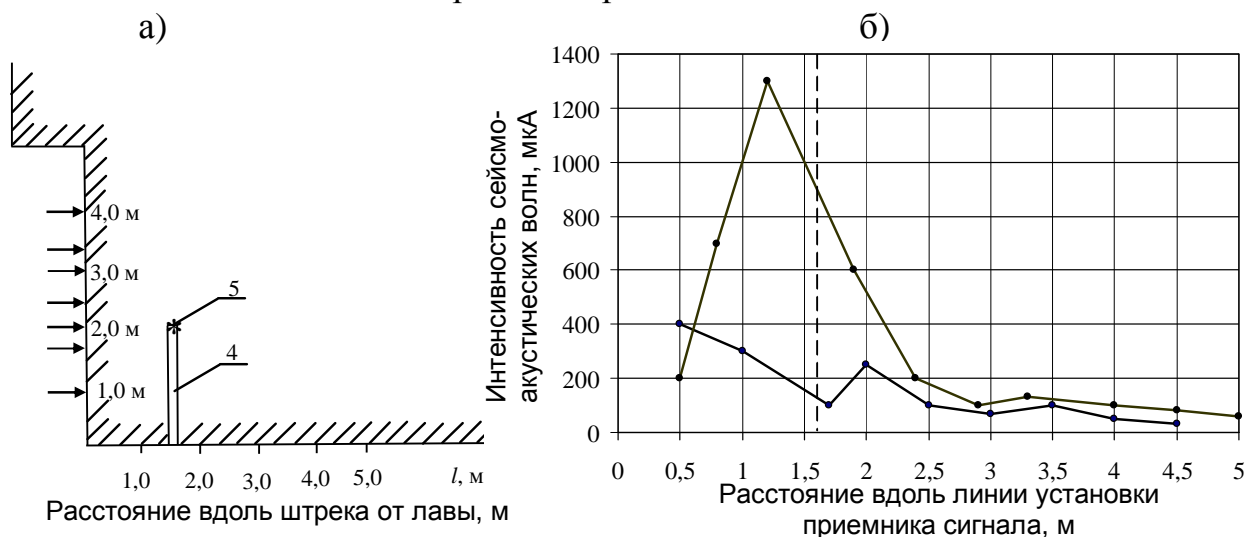


Рисунок 2 – Схема измерения (а) и график интенсивности сейсмоакустических волн (б) на расстояниях от забоя лавы (1) и от штрека вдоль лавы (2); 3 – ось шпура; 4 – шпур; 5 – источник сейсмоакустических волн

Интенсивность волн снизилась и практически не зависела от места приёма прошедших через массив пород волн; её значения не одинаковы при измерениях справа и слева от устья шпура; наиболее информативными являются данные, полученные при расположении приёмника на расстояниях 0,5 м от устья шпура.

После обработки результатов замеров интенсивности сейсмоакустических волн и проницаемости кровли на сопряжениях лав с выработками на расстояниях до 0,5 м от забоя лавы получено уравнение

$$K = (0,5 + 6363 \cdot A^{-1}) \cdot l_{\phi} \cdot l_{ш}^{-1}, \text{ м}^2 10^{-6}, \quad (1)$$

$R=0,93$, его надёжность 21,1; ошибка аппроксимации 10,7%,

где K – коэффициент проницаемости фильтрующей части шпура, $\text{м}^2 10^{-6}$;

A – средняя интенсивность сейсмоакустических волн, мкА;

l_{ϕ} – длина фильтрующей части шпура, м;

$l_{ш}$ – длина шпура, м;

R – коэффициент регрессии.

Для кровли на расстоянии от 5,0 до 30,0 м впереди лавы установлена зависимость пустотности массива от интенсивности сейсмоакустических волн

$$\delta_0 = -12,8 + 4,92 \cdot \lg A, \quad \% \quad (2)$$

$$R = 0,86, \quad \alpha = 0,0015 < 0,05$$

где δ_0 – относительная пустотность массива, %;

A – интенсивность сейсмоакустических волн, проходящих через массив трещиноватых пород от резца при бурении шпура, мкА;

R – коэффициент корреляции;

α – уровень надёжности критерия Фишера.

Для схемы, в которой источником сейсмоакустических волн был разрушающий угольный пласт шнек комбайна, получены надёжные уравнения множественных регрессий

$$A_y = \frac{287,8}{l} - \frac{412,1}{\sigma_p} - \frac{27568,3}{H} + 17,9 \cdot P + 161,2; \quad (3)$$

$$A_n = \frac{161,8}{l} - \frac{172,9}{\sigma_p} - \frac{29976}{H} + 9,3 \cdot P + 134,3, \quad (4)$$

где A_y, A_n – интенсивность измеренного сейсмоакустического сигнала, соответственно, на участках устойчивой и неустойчивой кровли, мкА;

l – расстояние от источника сейсмоакустических волн до приёмника, м;

σ_p – предел прочности пород на растяжение, МПа;

H – глубина разработки, м;

P – условная мощность источника сейсмоакустических волн

$$P = mV_k r;$$

m – вынимаемая мощность пласта, м;

V_k – скорость подачи комбайна, м/с $\times 60$;

r – ширина захвата комбайна, м.

Согласно уравнениям чистых регрессий (3, 4)

$$A_y = 31,0 + \frac{288,0}{l}, \quad (5)$$

$$A_n = 27,0 + \frac{162,0}{l}, \quad (6)$$

На расстояниях 2-4 м от шнека комбайна интенсивность сейсмоакустических волн на участках неустойчивой кровли в 1,6 раза меньше, чем на участках с устойчивой кровлей.

Выводы.

Установлены количественные зависимости раскрывающие закономерности взаимной связи между фильтрационными, сейсмоакустическими, ёмкостными свойствами трещиноватых кровель угольных пластов, учитывающие особенности проявления горного давления на протяженных участках лав и на сопряжениях лав с выработками. Измерение интенсивности сейсмоакустических волн является основой оперативного метода оценки состояния кровли перед упрочнением, определения параметров расположения шпуров и технологии нагнетания скрепляющих составов.

Проанализированы зависимости между фильтрационными, сейсмоакустическими, ёмкостными свойствами нарушенных кровель; изложена сущность метода контроля состояния кровли в лаве.

Dependences between filtration, seismoacoustic, capacitor properties of the broken roofs are analyzed; the essence of a quality monitoring of a condition of a roof in longwall is stated.

Библиографический список.

1. Барон Л.И., Личели Г.П. Трециноватость горных пород при взрывной выемке. – М.: Недра, 1966 – 136 с.

2. Химический способ упрочнения пород в очистных забоях угольных шахт. Бутенко И.Т., Кара В.В., Сальников В.К., Пихович И.Я. – Киев.: Техника, 1978. – 69 с.

3. Зильбершмидт В.Г., Пахучих Р.П. Гельбарт М.Я. и др. Определение зон трецинообразования в массиве вокруг горных выработок / Зильбершмидт В.Г., Пахучих Р.П., Гельбарт М.Я., Клейман И.С., Кузнецов Ю.В., Тимантеев О.А. // Сб. Горное давление в капитальных и подготовительных выработках. – Новосибирск: 1975. – С. 194-197.

4. Глушко В.Г., Ямщиков В.С., Яланский А.А. Геофизический контроль в шахтах и тоннелях. – М.: Недра, 1987. – 278 с.

5. Никитченко Р.Ф. Звуковое зондирование в горных выработках // Физико-механические свойства горных пород: Науч. сообщ. / ИГД им. А.А. Скочинского. – М.: 1973. – С. 43-46.

*к.т.н., проф. Рутковский Ю.А.,
к.т.н., доц. Рутковский А. Ю.
(ДонГТУ, г. Алчевск, Украина)*

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ АКУСТИЧЕСКИХ ЯВЛЕНИЙ ВО ВСАСЫВАЮЩЕЙ СИСТЕМЕ ПОРШНЕВОГО КОМПРЕССОРА НА НАПОЛНЕНИЕ ЦИЛИНДРА ВОЗДУХОМ

Наведено результати теоретичного й експериментального досліджень впливу резонансних коливань тиску в усмоктувальній системі на наповнення циліндра повітрям, визначені оптимальні значення резонансних довжин усмоктувальних трубопроводів поршневих компресорів із циліндрами подвійної дії.

В настоящее время проблеме использования резонансного (акустического) наддува для повышения производительности поршневых компрессоров уделяется все более пристальное внимание, так как этот способ дает возможность повысить производительность действующих поршневых компрессоров на 10-20% без капитальных затрат путем модернизации всасывающей системы [1]. Однако резонансный наддув пока не нашел широкого применения. Основными причинами этого являются значительные расхождения между теоретическими и действительными значениями резонансных длин всасывающих трубопроводов, отсутствие сведений о влиянии переменного объема цилиндра на амплитуду и фазу резонансных колебаний давления в системе “трубопровод - всасывающий клапан - цилиндр”, а следовательно, на наполнение цилиндра газом в процессе всасывания, недостаточная изученность влияния сопротивления и эксплуатационного состояния всасывающих клапанов на интенсивность колебательного процесса и эффективность его использования, не выяснено влияние резонансных колебаний давления на температурные режимы компрессора. Кроме того, отсутствует комплексный экономический показатель оценки применения акустического наддува в условиях действующих предприятий, использующих сжатый воздух. Наиболее полное представление об эксплуатационных качествах компрессора в режимах использования колебаний давления во всасывающем трубопроводе могут дать характеристики компрессора, представляющие собой зависимости производительности, потребляемой и удельной мощностей компрессора, температуры газа в межступенчатых коммуникациях, от длины и диаметра всасывающего трубопровода.

Такие характеристики тем более необходимы, что стационарные воздушные компрессоры имеют нерегулируемый привод, в то время как всасывающие трубопроводы выполняются различных размеров, которые определяются расположением оборудования в помещениях компрессорных станций. На основании указанных характеристик представляется возможность дать всестороннюю оценку влияния колебаний давления на показатели работы компрессора не только в резонансном режиме (когда длина всасывающего трубопровода $L_{вс}$ равна резонансной длине $L_{рез}$), но и в дорезонансном ($L_{вс} < L_{рез}$) и зарезонансном ($L_{вс} > L_{рез}$) режимах, и из всех возможных режимов выбрать оптимальный, исходя из конкретных условий эксплуатации компрессора.

Целью данной статьи является анализ характеристик компрессоров, полученных экспериментальным путем для различных типов поршневых компрессоров, определение оптимальных резонансных длин всасывающих трубопроводов с учетом изменяющегося объема цилиндра в период всасывания и фазы колебания давления, анализ влияния резонансных колебаний давления во всасывающем трубопроводе на удельную мощность и температурный режим компрессора.

При работе поршневых компрессоров во всасывающем трубопроводе происходят колебания давления воздуха, вызываемые периодичностью процессов всасывания и упругими свойствами столба газа, заключенного в трубопроводе.

Интенсивность колебаний зависит главным образом от соотношения между частотой собственных колебаний газа в трубе, присоединенной к цилиндру и частотой импульсов возбуждения, которая определяется частотой вращения вала компрессора и конструкцией цилиндра первой ступени (одностороннего или двухстороннего действия). Наибольшее усиление колебаний давления происходит при резонансе (при совпадении частот). В процессе всасывания газа колебания давления распространяются в полость цилиндра. Если система всасывающий трубопровод-цилиндр подобрана таким образом, что всасывающие клапаны закрываются в момент максимального повышения давления, то это приводит к увеличению плотности газа, а следовательно, к увеличению массовой производительности компрессора. Такой режим работы получил название резонансного или акустического наддува.

Определение условий наступления резонансных колебаний сводится к достаточно точному расчету частоты собственных колебаний газа в трубопроводе и определению его резонансной длины. Частота собственных колебаний газа зависит от формы трубопровода, его сечения и длины, величины и расположения емкостей, находящихся в установке, а также от скорости звука в воздухе.

На рисунке 1 приведена наиболее часто встречающаяся в практике схема всасывающей системы компрессора: к одному концу трубы присоединен цилиндр, объем которого периодически меняется.

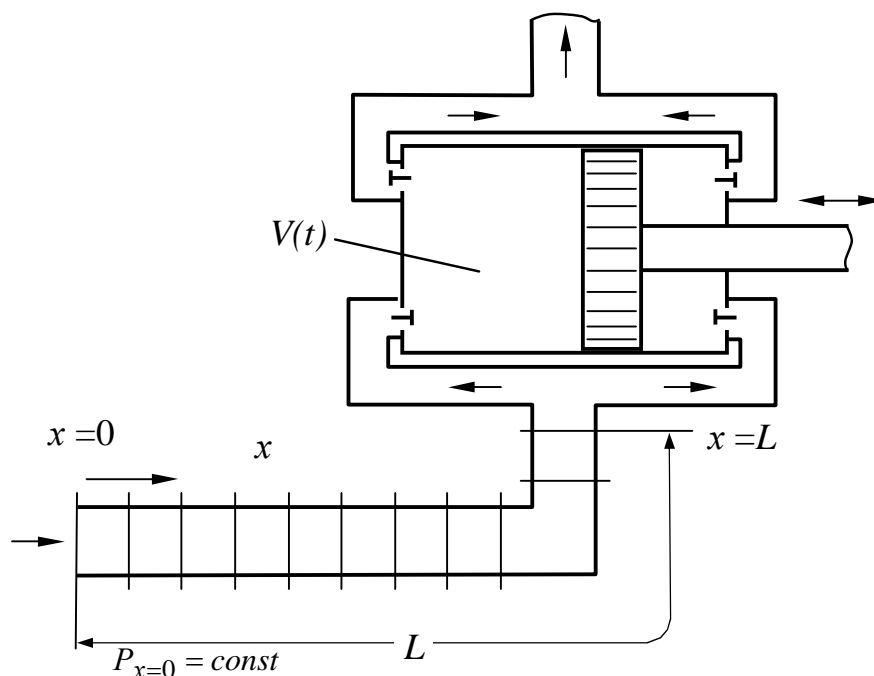


Рисунок 1 - Схема всасывающей системы поршневого компрессора с цилиндром двойного действия в первой ступени и переменной длиной всасывающего трубопровода

Для определения частоты собственных колебаний такой системы В. А. Боднером [2] получены следующие уравнения: с учетом среднего объема цилиндра V_0

$$ctg \frac{\omega_0}{C_{36}} l = \frac{\omega_0 V_0}{C_{36} S} \quad (1)$$

для трубы, открытой с одного конца ($V_0 = 0$),

$$ctg \frac{\omega_0}{C_{36}} l = 0, \quad (2)$$

где ω_0 - частота собственных колебаний столба газа во всасывающей системе, рад/сек;

C_{36} - скорость звука в воздухе, м/сек;

l - длина трубопровода, м;

S - площадь сечения трубопровода, м².

Уравнения(1) и (2) рекомендуются для определения резонансных длин всасывающих трубопроводов поршневых компрессоров [3].

Усреднение объема цилиндра, величина которого в период всасывания изменяется от нуля до максимальной, приводит к удовлетворительным результатам при определении резонансных длин в случае, когда объем цилиндра намного меньше объема всасывающего трубопровода.

Для поршневых компрессоров, как показывают расчеты, объем цилиндра соизмерим с объемом трубопровода, настроенного на резонанс с главной гармоникой. Это обстоятельство является одной из основных причин значительного расхождения опытных значений резонансных длин трубопроводов с теоретическими, определенными по формулам (1) и (2).

Влияние переменного объема цилиндра компрессора на собственную частоту колебаний газового столба можно определить, если будет найдена аналитическая связь между переменным объемом цилиндра и колебаниями давления в трубопроводе. В первом приближении можно считать, что всасывающие клапаны открываются и закрываются в моменты прихода поршня в мертвые точки. Пренебрегая сопротивлением клапана и учитывая, что размеры цилиндра малы по сравнению с длинами волн, которые могут влиять на производительность компрессора, допуская, что давление в цилиндре в каждый момент времени равно давлению в конце трубопровода. Движение газа в трубе считаем одномерным. Принятые допущения, сохраняя правильность качественных зависимостей, упрощают аналитическое изображение процесса.

Неустановившееся движение газа в трубопроводе с учетом сил сопротивления при отсутствии внешних сил описывается линеаризованными дифференциальными уравнениями с добавлением уравнения состояния [4]:

$$-\frac{\partial p}{\partial x} = \frac{\partial(\rho u)}{\partial t} + 2a(\rho u); \quad (3)$$

$$-\frac{\partial p}{\partial t} = C_{3g}^2 \frac{\partial(\rho u)}{\partial x}; \quad (4)$$

$$\frac{p}{\rho^k} = const,$$

где p , u , ρ - давление, скорость и плотность газа в поперечном сечении трубопровода;

C_{3g} - скорость звука в воздухе;

$2a = \frac{\lambda u}{8\delta}$ - постоянный множитель, зависящий от средней скорости в трубе u , коэффициента сопротивления λ и гидравлического радиуса сечения трубы δ .

Если пренебречь изменением плотности и сопротивлением, уравнения (3) приводятся к эквивалентным им волновым уравнениям свободных колебаний [4]:

$$\frac{\partial^2 u}{\partial t^2} = C_{36}^2 \frac{\partial^2 u}{\partial x^2}; \quad (5)$$

$$\frac{\partial^2 p}{\partial t^2} = C_{36}^2 \frac{\partial^2 p}{\partial x^2}. \quad (6)$$

Составим граничные условия. Принимаем при $x = 0$ $p = \text{const}$, т. е. давление на открытом конце не изменяется во времени.

Чтобы вывести граничные условия для конца трубопровода, присоединяемого к цилиндру в период всасывания, воспользуемся основным уравнением термодинамики. При отсутствии теплообмена приращение внутренней энергии газа в цилиндре находится как разность энтальпии поступающего газа и работы, затрачиваемой газом на движение поршня [3]:

$$C_v d(MT) = C_p T_{вс} dM - p dV, \quad (7)$$

где C_v и C_p - теплоемкость газа при постоянном объеме и давлении;

M - переменное массовое количество газа в цилиндре;

T и $T_{вс}$ - абсолютные температуры газа в цилиндре и перед всасывающим клапаном;

V - переменный объем цилиндра.

Так как

$$MT = \frac{pV}{R},$$

где R - газовая постоянная, из уравнения (7) получим

$$\frac{C_v}{R} (pdV + Vdp) = C_p T_{вс} dM - p dV. \quad (8)$$

Если учесть, что $C_v + R = C_p$, а $\frac{C_p}{C_v} = k$,

где k - показатель адиабатического процесса, и что скорость звука в воздухе определяется формулой Лапласа,

$$C_{зв} = \sqrt{kRT},$$

после соответствующих преобразований уравнение (8) примет вид

$$C_{зв}^2 dM = kp dV + V dp. \quad (9)$$

Разделив все члены уравнения (9) на dt , получим

$$C_{зв}^2 \frac{dM}{dt} = kp \frac{dV}{dt} + V \frac{dp}{dt}. \quad (10)$$

В уравнении (10) $\frac{dM}{dt}$ - количество воздуха, которое поступает в цилиндр в единицу времени за такт всасывания. Выразим его через плотность и скорость воздуха в трубопроводе

$$\frac{dM}{dt} = S \rho u, \quad (11)$$

где S - площадь поперечного сечения всасывающего трубопровода.

Запишем граничное условие при $x = l$

$$C_{зв}^2 S \rho u = kp \frac{dV}{dt} + V \frac{dp}{dt}. \quad (12)$$

Дадим другое выражение граничного условия. Определив u из выражения (11) и взяв производную по времени, подставим ее значение в уравнение (3), записанное для несжимаемой жидкости ($\rho = \text{const}$). При тех перепадах давления, которые возникают во всасывающем трубопроводе условие $\rho = \text{const}$ вполне допустимо. После ряда простых преобразований получим уравнение

$$\frac{d^2 p}{dt^2} + \left(2a + \frac{1+k}{V} \frac{dV}{dt} \right) \frac{dp}{dt} + \left(\frac{2ak}{V} \frac{dV}{dt} + \frac{k}{V} \frac{d^2 V}{dt^2} \right) p + \frac{C_{зв}^2 S}{V} \frac{dp}{dx} = 0. \quad (13)$$

Из частного решения волнового уравнения (6) по способу Фурье [5] для случая $x = l$ следует

$$\frac{dp}{dx} = \frac{\omega_0}{C_{36}} p \operatorname{ctg} \frac{\omega_0}{C_{36}} l. \quad (14)$$

Подставляя уравнение (14) в (13), найдем

$$\frac{d^2 p}{dt^2} + \left(2a + \frac{1+k}{V} \frac{dV}{dt} \right) \frac{dp}{dt} + \left(\frac{2ak}{V} \frac{dV}{dt} + \frac{k}{V} \frac{d^2 V}{dt^2} + \frac{C_{36} S \omega_0}{V} \operatorname{ctg} \frac{\omega_0}{C_{36}} l \right) p = 0. \quad (15)$$

Выражение (15) – линейное однородное уравнение второго порядка с переменными коэффициентами. С физической точки зрения – это уравнение свободных колебаний давления газа во всасывающей системе поршневого компрессора при наличии сил сопротивления и с учетом переменного объема цилиндра. Коэффициенты при $\frac{dp}{dt}$ и p – характеристики всасывающей системы.

Коэффициент при $\frac{dp}{dt}$ характеризует сопротивление среды и по аналогии с механическими колебаниями является коэффициентом затухания всасывающей системы. Коэффициент при p в уравнении (15) равен квадрату угловой частоты собственных колебаний во всасывающей системе

$$\frac{2ak}{V} \frac{dV}{dt} + \frac{k}{V} \frac{d^2 V}{dt^2} + \frac{C_{36} S \omega_0}{V} \operatorname{ctg} \frac{\omega_0}{C_{36}} l = \omega_0^2. \quad (16)$$

Уравнение (16) в отличие от уравнения (1) показывает, что собственная частота всасывающей системы при постоянной длине трубопровода зависит от изменяющегося объема цилиндра. При известном законе изменения объема цилиндра корни трансцендентного уравнения (16) находим графическим путем.

В качестве примера на рисунке 2 приведены зависимости ω_0 от переменного объема цилиндра компрессора 2ВГ за такт всасывания, определенные для различных длин всасывающего трубопровода. Из приведенного рисунка видно, что изменение собственной частоты на 5,2 рад/сек (при $L_{вс} = 16$ м), обусловленной изменением объема цилиндра от $V_{min} = 0$ ($\alpha = 0$) до V_{max} ($\alpha = 180^\circ$), соответствует изменению резонансного числа оборотов на 50 об/мин. Такое изменение надо считать существенным, когда речь идет о настройке всасывающей системы на резонанс.

Из рисунка 2 также видно, что переменный объем цилиндра, влияя на собственную частоту колебаний газового столба, определяет зону резонансных длин всасывающего трубопровода, в которых наблюдаются наиболее интенсивные колебания давления, обусловленные близостью и наступлением резонанса. ($\omega_0 = 2\omega$), отличающиеся между собой фазой амплитуды колебания по отношению к мертвым точкам положения поршня.

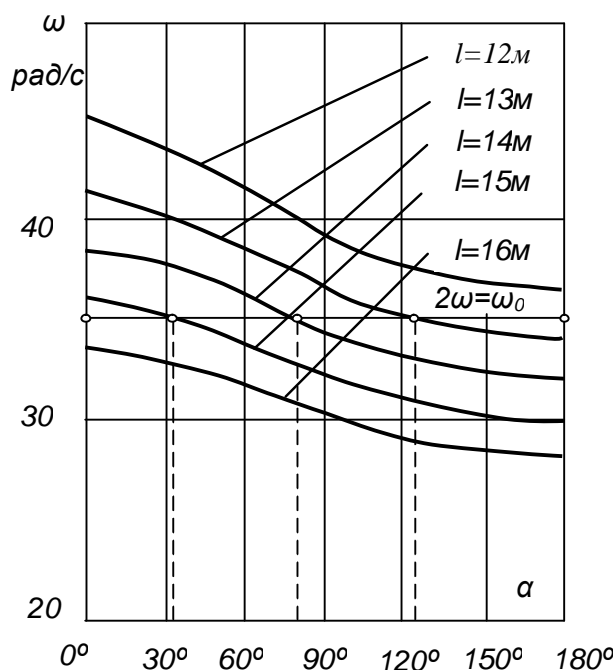


Рисунок 2 - Изменение собственной частоты колебаний всасывающей системы компрессора 2ВГ в зависимости от переменного объема цилиндра.

Поэтому уточним понятие об оптимальной резонансной длине. Под оптимальной резонансной длиной всасывающего трубопровода компрессора с цилиндром двойного действия будем понимать такую, при которой максимальное давление совпадает с моментом прихода поршня в мертвые точки. В этот момент закрываются всасывающие клапаны и производительность компрессора будет наибольшей.

Этот факт подтвердился при испытании компрессоров ВП-50/8М и ВП-20/8М. На рисунке 3 представлены циклограммы пульсации давления во всасывающем патрубке компрессоров при оптимальной резонансной длине ($L_{вс} = L_{рез.онт}$) всасывающего трубопровода (рисунок 3а), обеспечивающего максимальную достигнутую производительность, и циклограмма компрессора ВП-50/8М при $L_{вс} = 1,15L_{рез.онт}$, которая должна быть также отнесена к резонансной зоне, поскольку имеет ам-

плитуду колебания, равную амплитуде как и в первом случае, но со сдвигом фазы максимума давления на 45° относительно мертвых точек (рис. 3б). Следует заметить, что циклограммы получены при одинаковом значении отношения площади поршня F_n к площади поперечного сечения трубопровода S_{mp} , равном 4. Они отражают влияние главной резонирующей гармоники возмущающих импульсов ($m = 2$) и имеют синусоидальный характер.

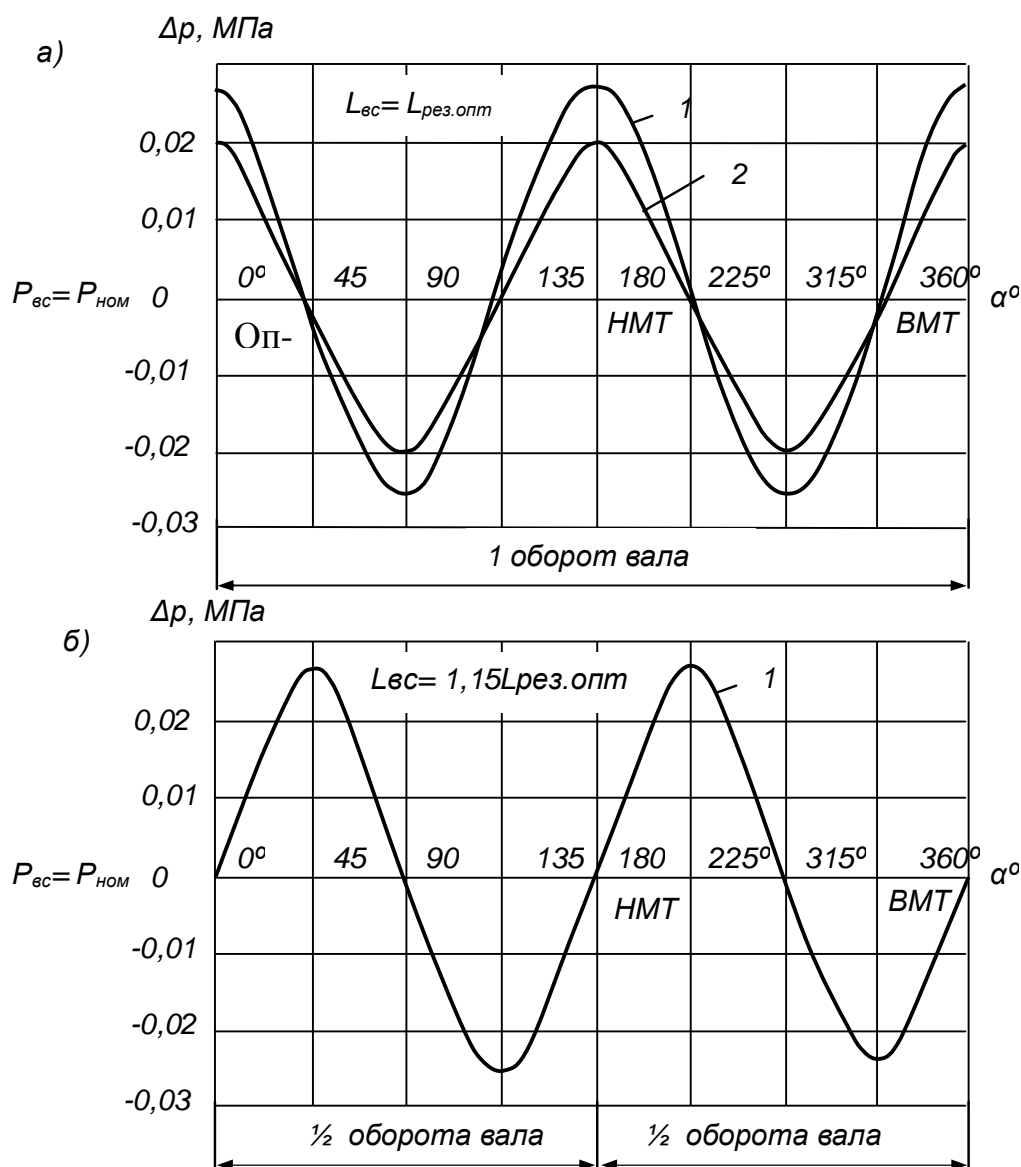


Рисунок 3 - Циклограмма пульсации давления во всасывающем патрубке I ступени: а) при оптимальной резонансной длине всасывающего трубопровода $L_{вс} = L_{рез.опт}$; б) при резонансной длине $L_{вс} = 1,15L_{рез.опт}$; 1 - компрессор ВП-50/8М (прямоточные клапаны); 2 - компрессор ВП-20/8М (кольцевые клапаны).

На первый взгляд колебание давления по форме рисунка 3б не должно привести к повышению производительности компрессора, так как при положении поршня в мертвой точке давление в цилиндре близко к номинальному во всасывающей трубке. Но так было бы, если бы клапаны закрывались в мертвых точках принудительно. При самодействующих клапанах всасывающие капаны при таком характере изменения давления перед ними не могут закрыться в моменты прихода поршня в мертвые точки из-за нарастающего давления в трубке цилиндра и наддув продолжается при обратном движении поршня.

Это отчетливо видно из сопоставления индикаторных диаграмм процессов всасывания в цилиндре первой ступени компрессора ВП-50/8М при различных длинах всасывающего трубопровода, представленных на рисунке 4. Циклограммы и индикаторные диаграммы записывались индикатором МАИ-2 в функции угла поворота коленчатого вала ($P-\alpha$), и перестраивались в случае необходимости в функции хода поршня ($P-S$). Кривые 2 и 3 резко отличаются от характерной кривой 1, соответствующей отключенному трубопроводу, и отражают влияние колебаний давления на процесс всасывания при резонансном наддуве при оптимальной резонансной длине всасывающего трубопровода (кривая 2) и при резонансной длине со сдвигом фазы, соответствующей $L_{вс} = 1,15L_{рез.онт}$ (кривая 3).

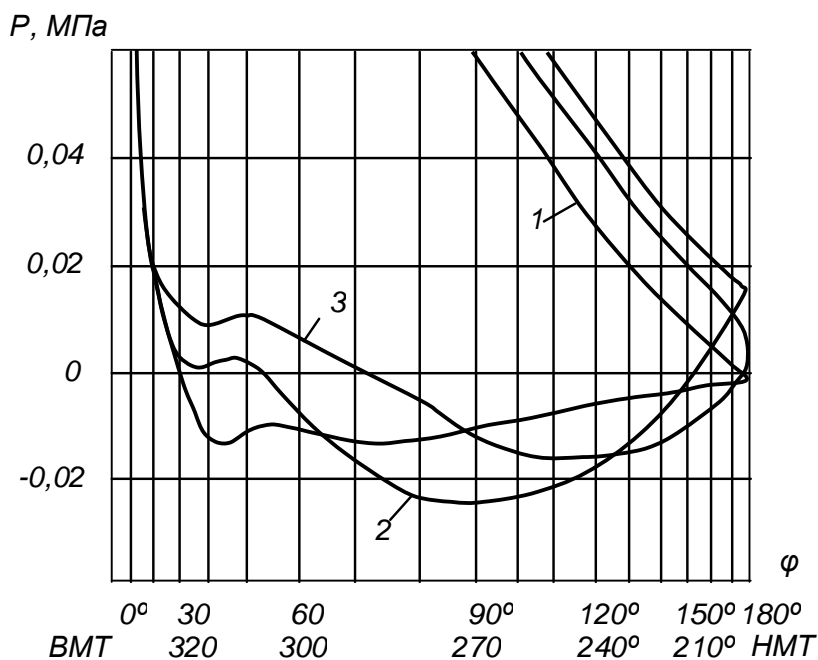


Рисунок 4 - Индикаторные диаграммы процессов всасывания первой ступени компрессора ВП-50/8М при различных длинах всасывающего трубопровода:

- 1 - $L_{вс} = 0$; 2 - $L_{вс} = L_{рез.онт}$ (4,1м); 3 - $L_{вс} = 1,15L_{рез.онт}$ (4,7м)

При рассмотрении поведения кривой 3 видно, что процесс наддува при обратном движении поршня, когда всасывающие клапаны еще открыты, по времени длится не более $\frac{1}{4}$ периода волны колебания давления, равного при резонансе по второй гармонике времени $\frac{1}{2}$ оборота коленчатого вала. Для компрессора ВП-50/8М с частотой вращения вала $n = 375$ об/мин время наддува при обратном движении поршня составляет не более 0,02 сек. Кривая 3 приобретает характерный для этого случая закругленный для конца всасывания и начала сжатия вид, и момент закрытия всасывающих клапанов с учетом их сопротивления и нарастающего давления в цилиндре происходит с запаздыванием на 20-25° поворота вала от НМТ. В связи с этим можно предположить, что режим работы клапанов в этом случае будет наиболее благоприятным, так как фронт повышения давления перед клапаном, подобно «воздушной подушке», будет противодействовать силам давления, действующим на клапанную пластину со стороны цилиндра, и сила удара клапанной пластины об ограничитель сведется к минимальному значению. Следовательно, надо ожидать, что работа компрессора со всасывающим трубопроводом при длине последнего $L_{вс} = 1,1 \div 1,2 L_{рез.онт}$ будет характеризоваться не только повышенной производительностью, но и более надежной и долговечной работой всасывающих клапанов.

Таким образом, определение значений резонансных длин всасывающих трубопроводов с достаточной точностью является необходимым условием для правильной оценки резонансных колебаний на режимы работы поршневых компрессоров.

С этой целью определим теоретическое значение оптимальной резонансной длины всасывающего трубопровода для поршневого компрессора с учетом изменяющегося объема цилиндра двухстороннего действия. Для таких компрессоров, как показано выше, главной является вторая гармоника, т.е. резонанс возможен при условии

$$\omega_0 = 2\omega, \quad (17)$$

где $\omega = \frac{\pi n}{30}$ - угловая скорость вращения вала компрессора, рад/сек.

Подставляя численные значения входящих в уравнение (16) коэффициентов при $\alpha = 180^\circ$ (момент прихода поршня в мертвую точку) и пользуясь равенством (17), получим выражение для определения оптимальной резонансной длины всасывающего трубопровода

$$L_{рез.онт} = \frac{C_{36}}{2\omega} \operatorname{arcctg} 2,24 \frac{\omega V_u}{C_{36} S}, \quad (18)$$

где $V_{ц}$ – полный объем цилиндра.

Применив формулу разложения обратной тригонометрической функции в ряд, ограничившись первыми двумя членами ряда, найдем из формулы (18)

$$L_{рез.онм} = 7,5 \frac{C_{36}}{n} - 2,24 \left(\frac{D}{d_{mp}} \right)^2 r, \quad (19)$$

где n - частота вращения вала компрессора, об/мин;

D - диаметр поршня, м;

d_{mp} - диаметр всасывающего трубопровода, м;

r - радиус кривошипа, м.

В таблице 1 приведены действительные резонансные длины всасывающих трубопроводов испытанных компрессоров, при которых зарегистрирована наибольшая производительность, и теоретические резонансные длины, определенные по формулам (1), (2) и (19). Фактические резонансные длины определяли экспериментально путем постепенного удлинения всасывающего трубопровода от нуля до $L_{вс} \gg L_{рез}$ отрезками труб длиной 0,25÷0,5 м.

Из таблицы 1 видно, что наименьшие расхождения дает формула (19), причем относительная ошибка по этой формуле в 3-5 раз меньше, чем по формуле (1), и в 6-10 раз меньше, чем по формуле (2).

Таблица 1- Резонансные длины всасывающих трубопроводов

Тип компрессора	Частота вращения вала, об/мин	Диаметр всасывающего трубопровода, мм	Фактическая резонансная длина, м	Расчетная резонансная длина, м		
				по формуле (18)	по формуле (1)	по формуле (2)
2ВГ	167	400	11,7	12,2	14,0	15,4
55В	167	350	11,0	11,4	13,6	15,4
5Г-100/8	187	350	10,7	10,2	12,0	14,0
ВП-50/8М	375	300	4,1	4,8	6,3	6,9
ВП-20/8М	500	200	3,8	4,1	4,7	5,2
4ВМ-100/8	500	200	2,7	2,8	4,13	5,2

Примечание: При испытании компрессора 4ВМ-100/8 к каждому цилиндру первой ступени присоединялся индивидуальный всасывающий трубопровод без буферной емкости [6].

Таким образом, при установке трубопроводов длиной, подсчитанной по формулам (1) и (2), всасывающая система находится далеко от резонансного режима, и в этом, как сказано раньше, заключена одна из причин, почему резонансный наддув, как способ повышения производительности компрессоров, не нашел применения на практике в том масштабе, которого он безусловно заслуживает.

Приведены результаты теоретического и экспериментального исследований влияния резонансных колебаний давления во всасывающей системе на наполнение цилиндра воздухом, определены оптимальные значения резонансных длин всасывающих трубопроводов поршневых компрессоров с цилиндрами двойного действия.

The results of theoretical and experimental researches influence of resonant fluctuations pressure in soaking up system on filling of the cylinder by air are given, the optimum meanings resonant lengths of soaking up pipelines piston compressors with cylinders double action are determined.

Библиографический список.

1. Лавренченко Г.К. Основы теории резонансного наддува поршневых компрессоров / Лавренченко Г.К., Швец С.Г. //Компрессорное и энергетическое машиностроение. – 2006. - №1(3) – С.31-38.
2. Боднер В.А. Повышение мощности двигателей внутреннего сгорания //Дизелестроение. – 1939.- №10-11-С.29-30.
3. Френкель М.И. Поршневые компрессоры. – М.:Машиностроение, 1969.-742 с.
4. Чарный И.А. Неустановившееся движение реальной жидкости в трубах. - М.:Гостехиздат, 1951.-223 с.
5. Смирнов В.И. Курс высшей математики, т.II. – М.:Гостехтеориздат, 1953. - 287 с.
6. Рутковский Ю.А. Интенсификация работы оппозитных поршневых компрессоров акустическим наддувом// Сб. тр. 13-й межд. научно-технической конф. по компрессоростроению т.2.- Сумы: Изд-во СумГУ.-2004.-С.101-106.

*д.т.н., проф. Финкельштейн З.Л.,
к.т.н., доц. Бизянов Е.Е.,
аспирант Погорелов Р.Н.
(ДонГТУ, г. Алчевск, Украина)*

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ТЕХНИЧЕСКОЙ ВОДЫ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ УРОВНЯ СОДЕРЖАНИЯ ПРИМЕСЕЙ

У статті розглянуто підхід до аналізу води, яка використовується для живлення теплоенергетичних установок з використанням таких електричних параметрів, як діелектрична постійна та провідність.

Проблема и ее связь с научными и практическими задачами

Проблема изучения структуры воды возникла перед человеком уже давно. Уникальные свойства этого вещества хорошо известны и достаточно подробно исследованы. Результаты известных исследований позволяют разрабатывать способы и технологии для водоподготовки [1].

Одним из недостатков известных способов и технологий является отсутствие дешевого и эффективного средства для оперативного контроля состава воды на протоке. Все известные способы анализа воды – химические, физические и их комбинации [2] предполагают наличие специальной аппаратуры и обученного персонала. При этом собственно сам анализ, как правило, производится в статических (лабораторных) условиях и занимает много времени [2].

Постановка задачи

Определение физического и химического состава воды в режиме реального времени (на протоке), является важной задачей, определяющей технико-экономические показатели систем теплоснабжения.

Анализ исследований и публикаций

В настоящее время известно достаточно большое количество методов и устройств, для определения химического и физического состава воды. Достоинства и недостатки известных методов были рассмотрены авторами ранее [3]. К ним, в частности, относятся:

- дороговизна оборудования (и связанные с этим большие эксплуатационные затраты);
- потребность в высококвалифицированном персонале;
- статический режим измерения.

- зависимость точности результатов от качества реактивов, точности приготовления растворов и субъективных факторов;
- наличие в пробе посторонних химических соединений (в частности - восстановителей).

С точки зрения анализа состава воды на протоке наиболее подходящими являются способы и устройства, рассмотренные в [4-7]. В указанных работах используется зависимость такого показателя воды, как электрическая проводимость, от частоты приложенного электрического и/или магнитного поля.

Однако следует отметить, что эти способы позволяют определить проводимость водной среды без анализа качественного и количественного состава примесей.

Изложение материала и результаты

Известно, что диэлектрическая проницаемость и проводимость водных растворов зависит от концентрации растворенных солей [3]. Качественные кривые таких зависимостей приведены на рисунке 1.

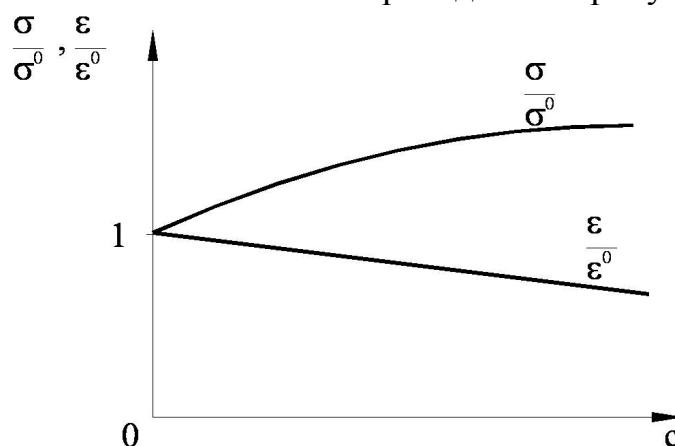


Рисунок 1 – Зависимости относительных проводимости и диэлектрической проницаемости от концентрации солей, растворенных в воде

Здесь σ, ϵ – текущие проводимость и диэлектрическая проницаемость раствора, σ^0, ϵ^0 – проводимость и диэлектрическая проницаемость дистиллированной воды, c – концентрация раствора.

Известно, что диэлектрическая проницаемость и проводимость воды, обработанной электромагнитным полем, изменяются [3].

Поэтому количество энергии, которая поглощается водным раствором, также будет изменяться в зависимости от концентрации c . Чем больше будет проводимость, тем больше будут потери энергии.

Этот факт можно использовать для оценки концентрации солей, растворенных в воде. Для измерений можно использовать схему LC-генератора Хартли, приведенную на рисунке 2.

Схема представляет собой генератор с самовозбуждением. Круговая частота колебаний в контуре:

$$\omega = \sqrt{\frac{1}{L \cdot C} - \frac{R_e^2}{4 \cdot L^2}}, \quad (1)$$

где ω - круговая частота, рад·с⁻¹;

L - индуктивность контура, Г;

C - емкость контура, Ф;

R_e - сопротивление, отражающее эквивалентные потери, Ом.

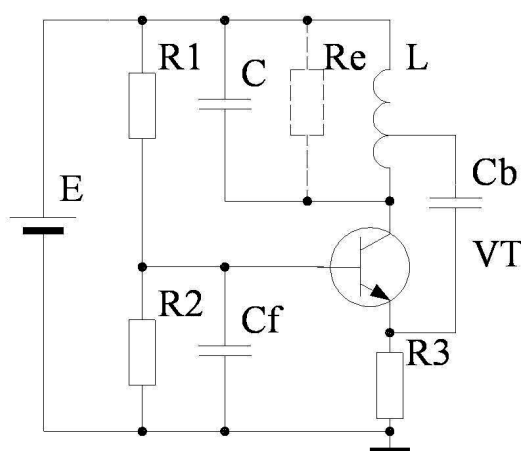


Рисунок 2 - Генератор Хартли

Практическая реализация генератора для измерения концентрации солей, растворенных в воде, приведена на рисунке 3.

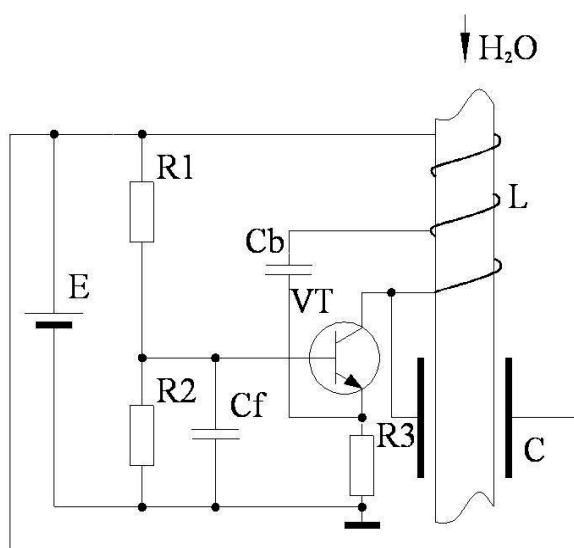


Рисунок 3 – Реализация измерительного генератора

Катушка L представляет собой несколько витков, навитых на трубу из пластика, через которую протекает вода. Емкость C образована пластинами, наклеенными на эту же трубу. Так как диэлектрическая проницаемость воды много выше, чем диэлектрическая проницаемость пластика, влиянием последнего на емкость можно пренебречь.

Допустим, вода не содержит примесей в виде ферромагнетиков. Тогда магнитная проницаемость водного раствора близка к единице, и можно принять $L = \text{const}$. В тоже время емкость $C = f_1(c)$ и $R_e = f_2(c)$, где c – концентрация солей, растворенных в воде. Поэтому формулу (1) можно переписать так:

$$\omega = \sqrt{\frac{1}{L \cdot C(c)} - \frac{R_e(c)^2}{4 \cdot L^2}} = \omega_0 \sqrt{1 - \frac{R_e(c)^2 C(c)}{4 \cdot L}}, \quad (2)$$

где ω_0 – круговая частота колебаний для дистиллированной воды.

Величина $R_e(c)^2 C(c)/4L$ в формуле (2) есть ни что иное, как добротность колебательного контура Q_e . При выборе Q_e в пределах одного порядка даже небольшое отклонение концентрации солей будет приводить к заметному изменению частоты колебаний в генераторе. На рисунке 4 R_e^0 и f^0 соответствуют дистиллированной воде.

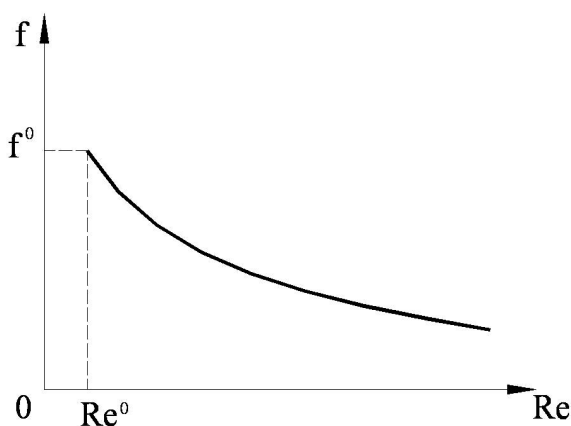


Рисунок 4 – Зависимость частоты генерации от эквивалентного сопротивления

При наличии в воде примесей различного типа: ферромагнетиков-проводников, диамагнетиков-проводников, диамагнетиков-диэлектриков, формулу (2) следует уточнить:

$$\omega = \sqrt{\frac{I_L \cdot \Delta C}{\mu(c1) \cdot \mu_0 \cdot S_L \cdot \varepsilon_r(c3) \cdot \varepsilon_0 \cdot S_C} - \frac{R_e(c1+c2)^2 \cdot I_L^2}{4 \cdot \mu(c1) \cdot \mu_0 \cdot S_L}}, \quad (3)$$

где $c1$, $c2$, $c3$ – соответственно концентрации примесей ферромагнетиков-проводников, диамагнетиков-проводников и диамагнетиков-диэлектриков;

$\mu(c1)$ – магнитная проницаемость водного раствора, как функция от концентрации ферромагнетиков-проводников;

μ_0 , ε_0 – соответственно магнитная и диэлектрическая постоянные;

S_L , S_C – соответственно площадь сечения катушки индуктивности и площадь пластин конденсатора;

I_L , ΔC – соответственно длина катушки индуктивности и расстояние между пластинами конденсатора;

$\varepsilon_r(c3)$ – диэлектрическая проницаемость водного раствора, как функция от концентрации диамагнетиков-диэлектриков;

$R_e(c1+c2)$ – величина, обратная проводимости водного раствора, как функция от концентрации ферромагнетиков-проводников и диамагнетиков-проводников.

Таким образом, из (3) следует, что изменение концентраций различных примесей приведет к отклонению частоты генерации автогенератора. Изменяя частоту в широких пределах (например, за счет подключения к пластинам дополнительного конденсатора), можно выявить наличие в воде различных примесей - ферромагнетиков-проводников, диамагнетиков-проводников, а также рассчитать их концентрацию.

Выводы и направления дальнейших исследований

В большинстве случаев, измерения желательнее проводить на потоке, так как свойства воды изменяются постоянно. Кроме того желательнее, чтобы затраты на проведение анализа и водоподготовки были минимальными, а оборудование – простым и надежным. Особенно важны эти требования для небольших предприятий, так как точный и дешевый анализ позволит сэкономить средства за счет снижения затрат на водоподготовку.

Рассмотренный в статье метод измерения количественного и качественного состава примесей позволяет выявить наличие в воде различных примесей, а также рассчитать их концентрацию.

В дальнейшем необходимо разработать методику вычисления точного количественного состава примесей в воде. Для этого следует исследовать влияние конкретных примесей: Na, Cu, Mg, Fe, Ca, нитратов, нитритов и пр. на изменение частоты колебаний автогенератора.

В статье рассмотрен подход к анализу воды, которая используется для питания теплоэнергетических установок с использованием таких электрических параметров, как диэлектрическая постоянная и проводимость.

In the article approach is considered an analysis of water, which is used for providing supply warmth energy installation with use such electric parameter, as dielectric constant and conductivity.

Библиографический список.

1. Л.А. Кульский *Основы химии и технологии воды.* – К.: Наукова думка 1991. – 566с.
2. Бизянов Е.Е., Погорелов Р.Н., асс. Бойко Н.З. *Метод измерения параметров воды системы теплоснабжения*
3. Классен В.И. *Омагничивание водных систем.* – М.: Химия, 1978. – 240 с., ил.
4. *Электронно-технические измерения при физико-химических исследованиях.* Ветров В.В. и др. – Л.: Изд-во Ленингр. ун-та, 1979, 272 с., ил.
5. А.с. СССР № 1677665 G01R 27/22. *Устройство для измерения электропроводности морской воды.*
6. А.с. СССР № 587414 G01R 27/22. *Устройство для измерения электропроводности жидкости.*
7. А.с. СССР № 464869 G01R 27/22. *Способ измерения электропроводности среды.*

*к.т.н., доц. Нечепуренко М.С.
(ДонГТУ, г. Алчевск, Украина)*

КЛАССИФИКАЦИЯ УПРУГИХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ ДВИЖЕНИЙ

Розглянуті пружні перетворювачі руху (ППР) та стрижневі канатні віброізолятори (СКВ). Вказані їх можливості. Введено поняття канатно-стрижневої конструкції (КСК), яке дозволило поділити ППР та СКВ та розробити класифікацію ППР.

Используемые в горных машинах конструкции с применением отрезков канатов в одних случаях называются упругими преобразователями движений (УПД), а в других – стержневыми канатными виброизоляторами (СКВ).

Упругие преобразователи движений находят применение в вибрационных питателях, ручном механизированном инструменте, муфтах предельного момента, стопорном устройстве, системах виброизоляции и других. Их особенностью является перемещение звеньев машин во взаимоперпендикулярных или наклонных плоскостях. Поступательное движение преобразуется в поворотное, а при использовании механизма свободного хода и во вращательное. В качестве упругих элементов применяют плоские или круглые стержни, отрезки стального каната, поэтому УПД помимо кинематических могут выполнять и силовые функции.

Стержневые канатные виброизоляторы могут быть использованы для виброзащиты в горных машинах, которые имеют случайный характер нагрузок, определяемый сопротивлением горных пород разрушению, что создает широкий спектр возмущений высокой активности. Используя отрезки канатов можно конструировать виброизоляторы различной энергоемкости.

Внешне и на первый взгляд конструктивно УПД и СКВ похожи. Их основными элементами (рис. 1) являются опоры, в которых на равном удалении от центра концами закреплены упругие элементы (отрезки стальных канатов). Для выявления различия этих конструкций с целью наиболее эффективного использования их особенностей в конкретных механических системах горных машин введем понятие канатно-стержневой конструкции (КСК).

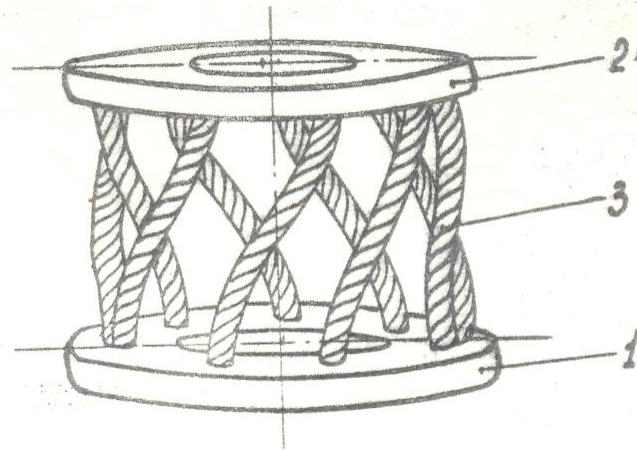


Рисунок 1 – Упругий преобразователь движений (1 – нижняя опора, 2 – верхняя опора, 3 – упругие элементы)

В зависимости от назначения и выполняемых функций разделим КСК на две группы: УПД и СКВ (рис. 2).

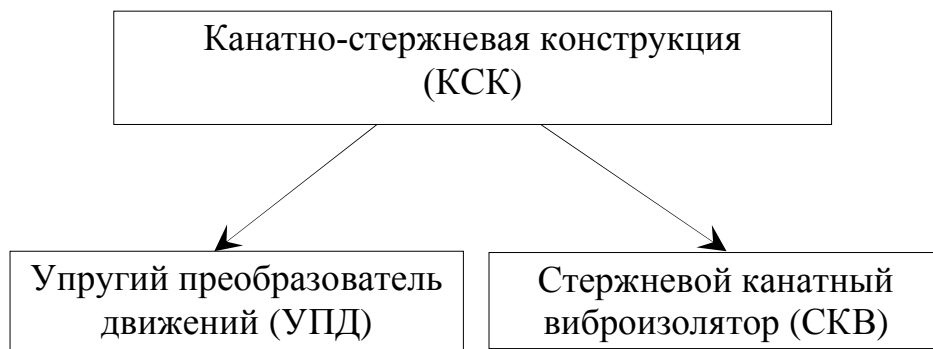


Рисунок 2 – Канатно-стержневая конструкция

Рассмотрим особенности работы, состояния и функционирования упругих преобразователей движений. УПД разделяем по виду преобразования движения и по выполняемым функциям (рис. 3). Выделим УПД преобразующие поступательное движение в поворотное, поворотное движение в поступательное и комбинированное преобразование движений. Последнее возможно использовать в том случае, когда исполнительный элемент горной машины движется поступательно-поворотным (фильтр) или поворотным-поступательным (стопор путевой).

По выполняемым функциям выделим УПД выполняющие кинематические функции, силовые и колебательные технологические.

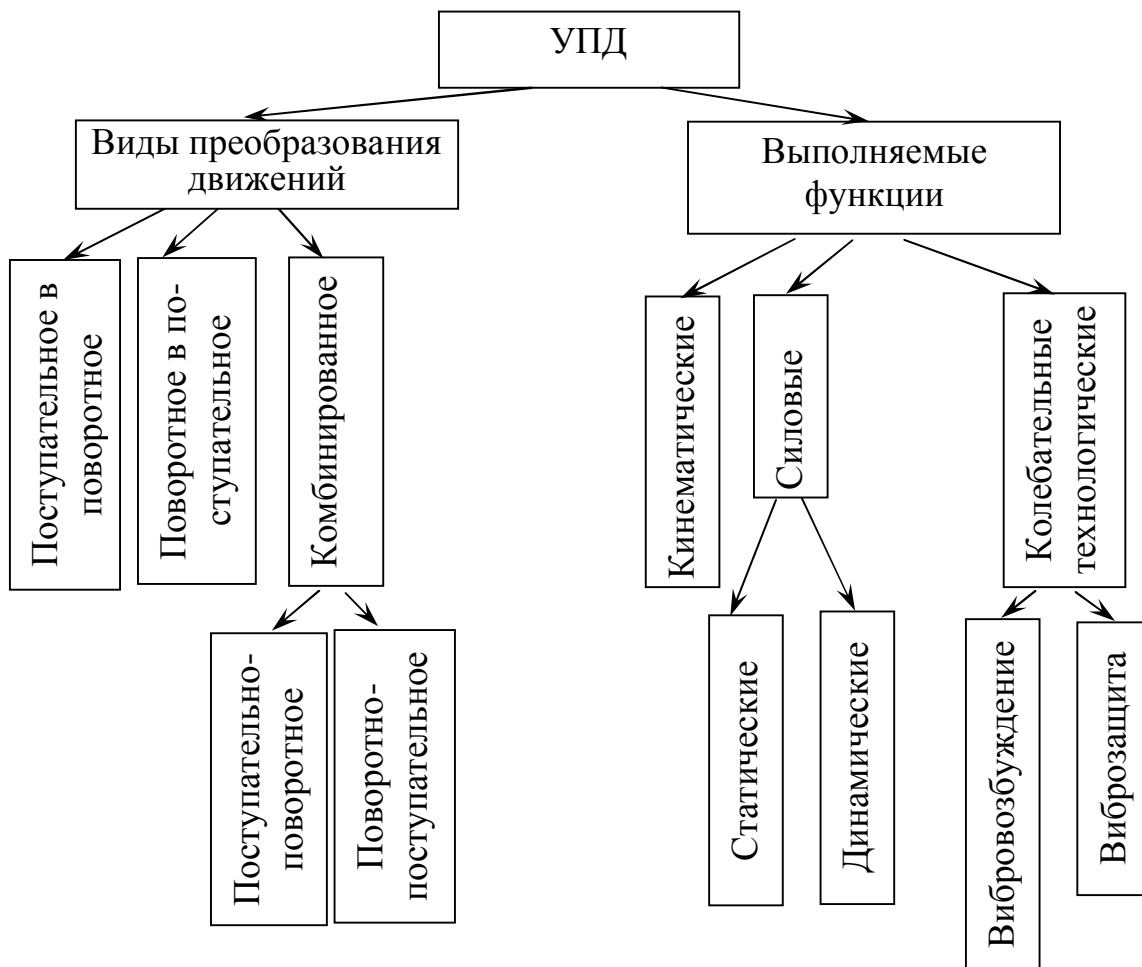


Рисунок 3 – Классификация упругих преобразователей движений

В узлах горных машин, где необходимо изменение вида движения независимо от передаваемых сил или моментов, УПД выполняет кинематические функции. Например, поворот элементов манипулятора для изменения положения бурильной головки в пространстве.

Силовые функции УПД можно разделить на две подгруппы. Первая подгруппа – статические функции, то есть удержание узла горной машины в необходимом положении. Например, удержание шарошки устройства для очистки шахтных вагонеток с глухим кузовом (двигатель с поступательным движением выходного звена) [1]. Вторая подгруппа – динамические функции, то есть обеспечение перемещения за счет сил упругости стальных канатов. Например, в конструкции устройства для завинчивания гаек хомутов арочной крепи [2, 3].

Колебательные технологические функции преобразователя движений также можно разделить на две подгруппы. К первой подгруппе следует отнести УПД, выполняющие роль возбудителей колебаний. Например, в грохоте [4], сортировочных устройствах. Вторая подгруппа –

это УПД, используемые в виброзащитных системах. Например, в конструкции двухкаскадного виброизолятора с промежуточной массой сложной конструкции [5]. Здесь УПД обеспечивает работу упругих элементов одного из каскадов в качестве торсионов.

Таким образом, разделение УПД и СКВ производим введением понятия канатно-стержневой конструкции.

Классификация упругих преобразователей движений позволит на стадии разработки узла горной машины более эффективно использовать их особенности в конкретных механических системах.

Рассмотрены упругие преобразователи движений (УПД) и стержневые канатные виброизоляторы (СКВ). Введено понятие канатно-стержневой конструкции (КСК), которое позволило разделить УПД и СКВ и разработать классификацию УПД.

The resilient transformers of motions and insulators of vibrations of ropes of bars are considered. The concept of rope-bar construction, which allowed to divide resilient transformers of motions and insulators of vibrations of ropes of bars and to develop classification of resilient transformer of motions, is entered.

Библиографический список.

1. А.с. 1027436 СССР, МКИ³ F15B15/06 Гидродвигатель с возвратно-поступательным и поворотным движением выходного звена / И.Г. Резников, М.С. Нечепуренко, А.Ю. Рутковский (СССР); №3398598/25-06, заявлено 19.02.82; опубликовано 07.07.83. Бюл.№25.

2. А.с. 1215979 СССР, МКИ³ B25B21/00 Гидравлический гайковерт / И.Г. Резников, А.Ю. Рутковский, М.С. Нечепуренко, Ю.В. Пузиков (СССР); №3780925/25-28, заявлено 12.06.84; опубликовано 07.03.86. Бюл.№9.

3. Резников И.Г., Нечепуренко М.С. О возможности применения упругих преобразователей движений для привода ручных машин // Тезисы докладов всесоюзного научно-технического совещания «Основные направления повышения технического уровня и качества ручных машин (механизированного инструмента)», г. Даугавпилс, 1982. С.58-60.

4. А.с. 1103910 СССР, МКИ³ B07 B1/40. Грохот / М.С. Нечепуренко, И.Г. Резников, В.А. Гордиенко, А.А. Дегтярев (СССР); №3596859/29-03, заявлено 11.03.83; опубликовано 23.07.84. Бюл.№27.

5. А.с. 937820 СССР, МКИ³ F16F15/02 Амортизатор / И.Г. Резников, М.С. Нечепуренко, И.Л. Левадный (СССР); №3220907/25-28, заявлено 22.12.80; опубликовано 23.06.82. Бюл.№23.

*к.т.н., доц. Левченко Э.П.
(ДонГТУ, г. Алчевск, Украина)*

НЕКОТОРЫЕ ЭТАПЫ ИССЛЕДОВАНИЯ РАБОТЫ РАЗГОННО-УДАРНЫХ ДРОБИЛЬНО-ИЗМЕЛЬЧИТЕЛЬНЫХ МАШИН

На засаді системного аналізу розглянуті умови руху матеріалу через робочий простір розгінного млину на окремих етапах його роботи.

Проблема и ее связь с научными и практическими задачами.

При использовании дробильно-измельчительных машин в различных областях народного хозяйства, приоритетным направлением является снижение энергозатрат на переработку материала, а также повышение качества готового продукта [1].

Центробежно-ударные измельчительные машины обеспечивают благоприятные условия разрушения материала однократным ударом. В результате практически вся кинетическая энергия, запасённая материалом во время его разгона, переходит в работу разрушения, а переизмельчение сырья снижается. Поэтому актуальным является разработка и исследование машин такого типа, что проводилось в НИиПКИ "Параметр" по госбюджетной теме "Разработка путей оптимизации процесса измельчения зерна и конструктивных элементов центробежно-ударных мельниц с целью повышения потребительских свойств комбикормов" в 1997-1998 гг. (№ГР 0295U003812) [2].

Анализ исследований и публикаций. Изучением процессов измельчения в центробежно-ударных мельницах занимались Елисеев В.А., Оскаленко Г.Н., Сокур Н. И., Багян Э.Р. и другие. Анализ изученных источников показал, что в основном исследования машин центробежно-ударного типа направлены на разрушение горнорудных материалов. В.А. Елисеев, доказал, что расход энергии на измельчение в центробежно-ударной мельнице почти в два раза меньше, чем в молотковой дробилке.

По результатам научного анализа литературы по теме можно сделать вывод, что исследовались лишь отдельные аспекты технологического измельчения материалов без применения системного анализа.

Постановка задачи. Заданием данной публикации является разработка элементов методики расчета многоступенчатых разгонно-ударных дробильно-измельчительных машин.

Изложение материала и его результаты. Основным фактором, влияющим на эффективность работы центробежно-ударной дробильно-измельчительной машины, является скорость движения измельчаемого материала. Для изучения влияния различных элементов мельницы составим структурную схему её различных конструкции. Например, для простейшей мельницы такая схема представлена на рис. 1 - а. Она состоит из пяти элементов - подсистем. Каждая из подсистем выполняет специфические, свойственные только ей функции, и переводит систему из предшествующего данной подсистеме состояния S_{ic} с параметром V_n , в последующее её состояние S_{i+1} с параметром V_{n+1} , где V_n – скорость материала в предшествующей подсистеме, а V_{n+1} – скорость материала на последующем её состоянии.

В общем виде можно предположить, что для любой конструкции рассматриваемых машин скорость материала будет изменяться при следующих условиях, которые зависят от местонахождения частицы:

- истечения из загрузочного бункера;
- поступления на ротор мельницы;
- выбросе из ротора;
- ударе об отбойные поверхности;
- выгрузке из внутреннего пространства машины.

В зависимости от этих условий функции, выполняемые подсистемами мельницы, будут различны: 1.1 – формирование исходного потока частиц из выгрузочного отверстия бункера; 1.2 – поступление материала на ротор мельницы; 1.3 – выброс материала из ротора; 1.4– удар о футеровку; 1.5 – выгрузка готового продукта.

Для конструкции мельницы, имеющей роторы и отбойные кольца различного диаметра структурная схема приведена на рис. 1 - б. Система состоит из тех же подсистем, что и предыдущая, но имеет некоторые отличия. Так как скорость вылета материала из роторов (ввиду различия их диаметров) неодинакова, то и соответствующие подсистемы представлены несколькими (в зависимости от количества разгонных каналов ротора) подсистемами: 1.2.1, 1.2.2, 1.2.3 и 1.3.1, 1.3.2, 1.3.3. В связи с тем, что отбойные кольца имеют также различные диаметры, то подсистема, определяющая скорость удара материала об отбойные плиты представлена подсистемами 1.4.1, 1.4.2, 1.4.3, число которых соответствует числу отбойных колец.

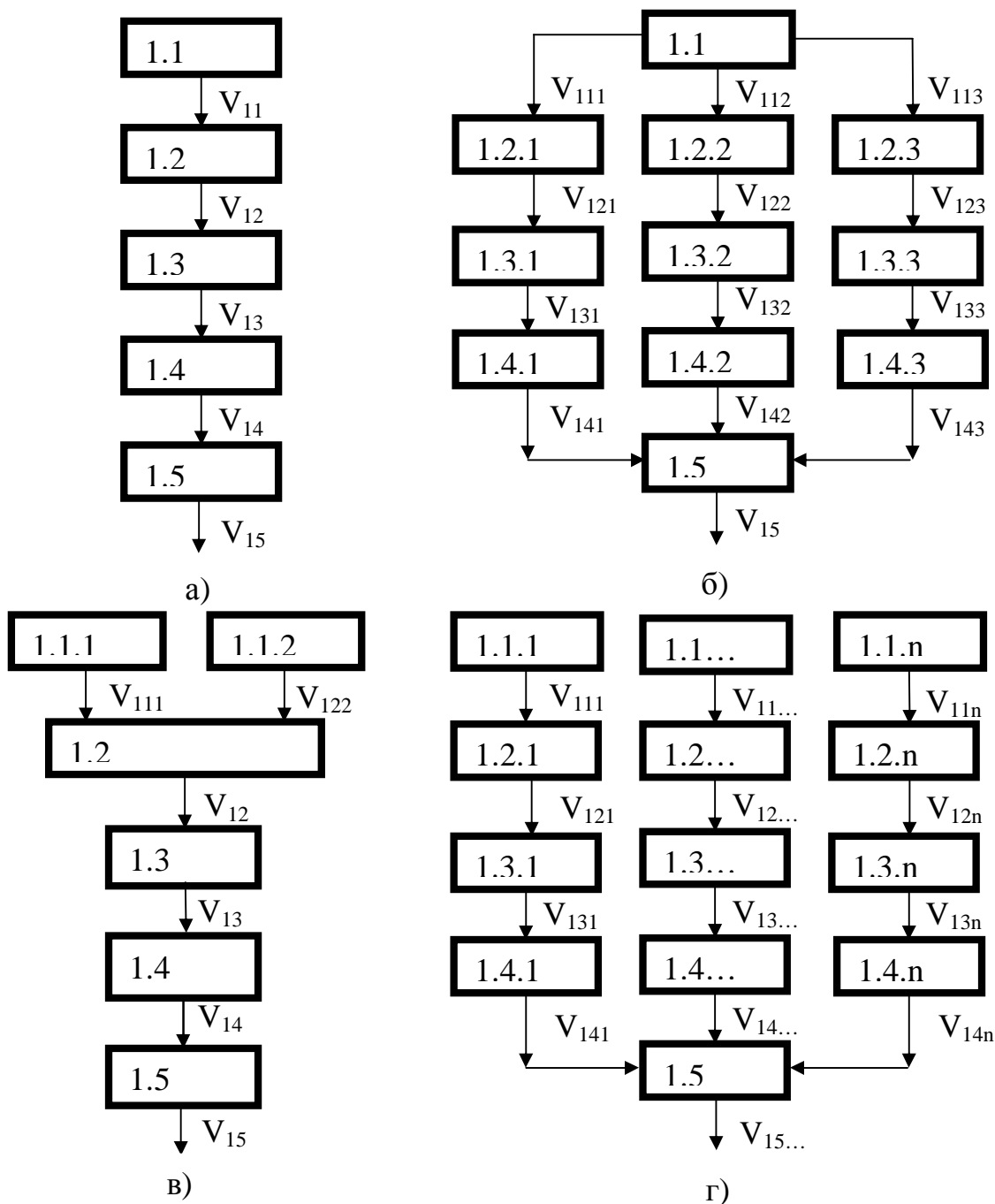


Рисунок 1 – Структурные схемы центробежных мельниц:
а) простейшая конструкция; б) с различными диаметрами роторов и отбойных колец; в) с несколькими загрузочными приспособлениями; г) обобщённая схема.

V_{11} – скорость материала на выходе из бункера;

V_{12} – скорость поступления частицы на ротор;

V_{13} – скорость выброса частицы из ротора;

V_{14} – скорость удара материала об отбойные плиты;

V_{15} – скорость выгрузки готового продукта.

Составим структурную схему (Рис. 1 – в) конструкции центробежно-ударной машины [3]. Такая мельница, кроме различия скоростей истечения, обеспечивает разные скорости подачи материала на диски ротора. Для того, чтобы в загрузочные отверстия каждого из роторов исходный продукт поступал равномерно, диски выполнены разного размера, следовательно, подсистема, задающая поступление частиц на роторы, состоит из нескольких составляющих: 1.1.1 и 1.1.2.

Из приведенных структурных схем рассмотренных центробежно-ударных дробильно-измельчительных машин видно, что все они являются частными случаями. Общий случай схемы структурного построения представлен на рисунке 1 – г, где многоступенчатое измельчение учтено дублированием соответствующих подсистем. Так как разделение потоков готового продукта представляется нецелесообразным (ввиду наличия в нём частиц различной крупности), то разделение подсистемы, выполняющей функции выгрузки готового продукта, на составляющие не проводится.

При системном анализе измельчение материала в двухступенчатой центробежно-ударной мельнице [4] может быть формализовано в виде процесса, выполняемого системой, состоящей из девяти подсистем (Рис. 2): 1.1 – формирование исходного потока частиц в мельницу, 1.2 – поступление материала на распределительный конус ротора первой ступени, 1.3 - выброс из ротора первой ступени, 1.4 - удар об отбойные плиты первой ступени, 1.5 – пневмотранспортирование сырьевой массы к ротору второй ступени, 1.6 – захват материала ротором второй ступени, 1.7 – выброс частиц из ротора второй ступени, 1.8 – удар материала об отбойные плиты второй ступени, 1.9 – пневмотранспортирование сырьевой массы в разгрузочный патрубок мельницы.

Подсистема 1.1 (Рис. 2) формирует исходный поток сырья из бункера со скоростью V_{11} . Для определения предельной скорости истечения считаем, что материал мелкозернистый, а истечение носит нормальный характер [5].

$$V_{11} = \sigma_1 \sqrt{\frac{gr}{2th\alpha}}, \quad (1)$$

где σ_1 - коэффициент пропорциональности;
 r – радиус вписанной окружности выпускного отверстия;
 α - угол отклонения стенки бункера от вертикали.

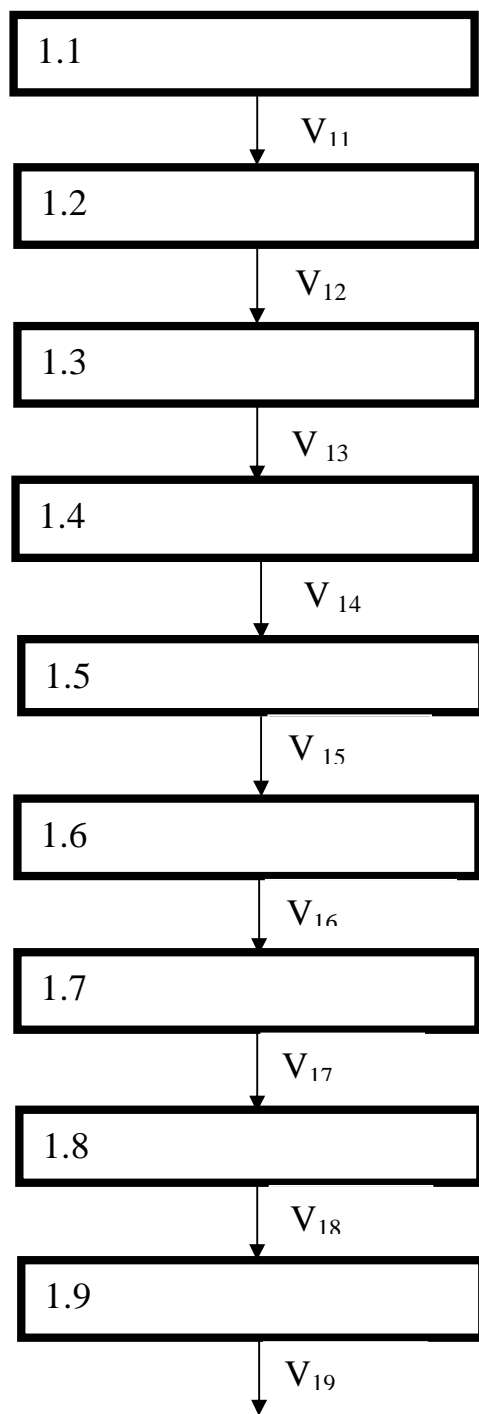


Рисунок 2 - Структурная схема двухступенчатой центробежно-ударной мельницы

$$\sigma_1 = \sqrt{\frac{\theta + 2}{\theta - 3}},$$

где θ - параметр сопротивления.

$$\theta = \frac{\operatorname{tg}\beta}{\operatorname{tg}\alpha} \operatorname{tg}(\beta + \psi) \operatorname{tg}(j + \alpha),$$

где β и ψ - параметры сыпучего тела;

α - параметр формы бункера;

φ - параметр совместных свойств бункера и сыпучего материала.

Подсистема 1.2 (Рис. 2) задает движение частицы по распределительному конусу ротора первой ступени со скоростью V_{12} . Скорость материала определяется по формуле [6]:

$$V_{12} = (g(\sin\alpha - f\cos\alpha) + V_{11}\sin\alpha)\cos\alpha, \quad (2)$$

где α – угол наклона стенки конуса к горизонту;

g – ускорение свободного падения;

f – коэффициент трения;

Подсистема 1.3 (Рис. 2) обуславливает абсолютную скорость выброса материала из ротора первой ступени V_{13} . Для оценки влияния начальных условий на эту скорость необходимо составить и решить дифференциальное уравнение движения частицы внутри ротора мельницы.

Абсолютную скорость V_{13} определяется как [7]:

$$V_{13}(t_1) = \omega R \sqrt{1 + \left(\frac{\sqrt{1 - \frac{a^2}{R^2}} - \frac{a}{R} f}{\sqrt{f^2 + 1 + f}} \right)^2} + \frac{2 \left(\sqrt{1 - \frac{a^2}{R^2}} - \frac{a}{R} f \right) \frac{a}{R}}{\sqrt{f^2 + 1 + f}}, \quad (3)$$

где ω - угловая скорость вращения ротора;

R – радиус ротора;

a – радиус окружности в месте начала лопасти.

Подсистема 1.4 (Рис. 2) определяет скорость удара материала об отбойные плиты первой ступени измельчения центробежной мельницы V_{14} .

Скорость в момент удара [6]:

$$V_{14} = \frac{V_{13}}{-kV_{13} \frac{1 - e^{-kL}}{kV_{13}} + 1} = V_{13} e^{-kL}, \quad (4)$$

где k – коэффициент пропорциональности;
 L – длина полета частицы.

Рассмотрим схему сил, действующих на частицу материала при ее движении в воздушном потоке. Такая функция выполняется подсистемой 1.5. (Рис. 2).

При этом скорость движения частицы:

$$V_{15} = \frac{F_{\text{лоб}} - fF_g}{m} \sqrt{\frac{F_{\text{лоб}} - fF_g}{2mS}}, \quad (5)$$

где $F_{\text{лоб}}$ – сила лобового сопротивления частицы в воздухе;
 F_g – вес частицы;
 m – масса частицы;

Подсистема 1.6 задаёт движение частицы, предварительно разрушившейся на первой ступени измельчения, в ротор второй ступени измельчения мельницы со скоростью V_{16} . Данная подсистема аналогична подсистеме 1.2 (Рис. 2). Скорость движения частицы по распределительному конусу ротора второй ступени может определяться по (2), где начальные условия выразятся скоростью V_{15} . Так как скорость движения частиц материала обуславливается скоростью воздушного потока предположим, что скорость пневмотранспортировки V_{15} , при переходе частиц из верхней части мельницы в отверстие горизонтальной перегородки определяется скоростью V_{16} .

$$V_{16} = (gt(\sin\alpha - f\cos\alpha) + V_{15}\sin\alpha)\cos\alpha \quad (6)$$

Подсистема 1.7 определяет абсолютную скорость выброса материала из ротора второй ступени V_{17} .

Эта подсистема выполняет функции, аналогичные функциям подсистемы 1.3 (Рис. 2).

Формула времени движения частицы вдоль лопасти:

$$t_2 = \frac{l}{\omega(\sqrt{f^2 + l} - f)} \ln \left\{ \frac{2\omega(\sqrt{R^2 - a^2} - fa)\sqrt{f^2 + l}}{\omega(b - af + r)(\sqrt{f^2 + l} + f) + V_{16}} \right\}$$

Ввиду слабого влияния начальных условий для расчёта абсолютной скорости вылета частицы может использоваться зависимость (3).

Подсистема 1.8 задаёт скорость удара частиц об отбойные плиты второй ступени измельчения центробежной мельницы V_{18} . Скорость в момент удара рассчитываем по (4).

Подсистема 1.9 обуславливает транспортирование пылевой массы в выгрузочное приспособление мельницы со скоростью V_{19} . Функции, выполняемые этой подсистемой, те же, что и функции подсистемы 1.4 (Рис. 2). Формула скорости частицы соответствует формуле (5).

Для определения влияния шумовых и пылевых факторов на оператора обслуживающего мельницу были проведены замеры уровня звукового давления на расстоянии, уровня вибрации и запылённости воздуха [8]. При этом бралось во внимание, что уровень звукового давления на расстоянии 1м от наружного контура мельницы в октановых полосах частот не должен превышать значений, приведенных в таблице 1 в соответствии с ГОСТ 12.1.003-83.

Таблица 1 - Нормативные значения уровня звукового давления

Среднегеометрическая частота октавы, Гц		63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Уровень звукового давления, дБ, не более	На рабочем ходу	98	102	102	102	101	98	90	85
	На холостом ходу	96	91	88	87	85	81	77	71

Уровень вибрации, передающейся от мельницы на рабочее место оператора не должен превышать значений указанных в таблице 2 и соответствовать ГОСТ 12.1.012-90.

При работе мельницы с номинальной нагрузкой воздух в районе мельницы должен соответствовать требованиям ГОСТ 12.1.005-88.

Для измерения вышеперечисленных показателей шума, вибрации и запылённости применялось следующее оборудование и приборы.

Шум и вибрация определялись при помощи измерителя шума и вибрации ЗШВ-003 с вибропреобразователем ДН-3-М1.

Состояние запылённости воздуха определялась с помощью аспиратора для отбора проб воздуха АЭР 4 с аллонжем (патроном) для удержания фильтра.

В результате испытаний было установлено, что все контролируемые показатели характеризующие степень воздействия на оператора вредных факторов находятся в пределах допустимых нормативных требований соответствующих ГОСТов. Величины проведенных замеров приведены ниже в таблицах 3 и 4.

Таблица 2 - Нормативные значения уровня вибрации

Направления по которым нормируется вибрация	Среднеквадратичное значение виброскорости, м/с×10 ²					
	Уровень виброскорости, дБ, в октановых полосах со среднегеометрическими частотами, Гц					
	2	4	8	16	31,5	63
Вертикальные	1,8	0,45	0,22	0,2	0,2	0,2
Горизонтальные	108	99	93	92	92	92

Таблица 3 - Измеренные значения уровня звукового давления

Среднегеометрическая частота октавы, Гц		63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Уровень звукового давления, дБ, не более	На рабочем ходу	88	90	92	92	90	88	84	80
	На холостом ходу	80	80	78	76	74	72	70	66

Таблица 4 - Измеренные значения уровня вибрации

Направления по которым нормируется вибрация	Среднеквадратичное значение виброскорости, м/с ×10 ⁻²					
	Уровень виброскорости, дБ, в октановых полосах со среднегеометрическими частотами, Гц					
	2	4	8	16	31,5	63
Вертикальные	1,3	0,45	0,22	0,2	0,2	0,2
Горизонтальные	-	-	0,15	0,1	0,1	0,1

Запылённость воздуха в зоне работы мельницы составила 1,61 мг/мм³, что значительно ниже норм запылённости воздуха.

Выводы и направления дальнейших исследований. На основе системного анализа разработаны структурные схемы различных вариантов конструкций разгонно-ударных дробильно-измельчительных машин. На примере структурной схемы двухступенчатой конструкции центробежно-ударной мельницы получены зависимости изменения скорости на отдельных этапах движения материала через рабочее пространство машины. Экспериментальные измерения шумовых и пылевых факторов при работе мельницы на расстоянии 1 м от наружного ее контура на оператора вредного воздействия не оказывают.

На основе системного анализа рассмотрены условия движения материала через рабочее пространство разгонной мельницы на отдельных этапах ее работы.

On the basis of the system analysis conditions of movement of a material through working space mills at separate stages of its work are considered.

Библиографический список.

1. Клушанцев Б.В., Косарев А.И., Музейник Ю.А. Дробилки. Конструкция, расчёт, особенности эксплуатации. - М.: Машиностроение, 1990. - 320 с.

2. Разработка путей оптимизации процесса измельчения зерна и конструктивных элементов центробежно-ударных мельниц с целью повышения потребительских свойств комбикормов. Отчёт о НИР (заключительный) / Научн.-исслед. проектн. - констр. ин-т "Параметр"; № ГР 0295U003812; - Алчевск, 1998. - 102 с.

3. А.с. № 1827286. СССР. Центробежная дробилка / П.П. Королев, А.Н. Онопченко, Э.П. Левченко, С.В. Сергиенко (СССР). - № 4925557/33; Заявлено 08.04.91; Оpubл. 15.07.93, Бюл. № 26.

4. Пат. № 2029618. Россия. МКИ В 02 С 13/14. Центробежная дробилка / А.Н. Онопченко, А.М. Зинченко, Э.П. Левченко, Р.М. Сухомлин. (Россия); - №4882162/33; Заявл. 16.11.90; Оpubл. 30.01.93; Бюл. № 6.

5. Гячев Л.В. Основы теории бункеров Новосибирск.: Изд-во Новосибир. унив., 1992. - 312 с.

6. Левченко Э.П. Интенсификация технологического процесса измельчения зерна на комбикорм в центробежно-ударной мельнице. Дис. на соиск. научн. степ. канд. техн. наук. - Алчевск: 2001. - 288 с.

7. Оскаленко Г. Н. Исследование измельчения и дробления силикатных и других материалов в центробежной роторной мельнице-дробилке: Автореф. дис. канд. техн. наук : 05.05.06 / Днепрпетр. хим.-технол. ин-т. - Днепрпетровск, 1965.- 27 с.

8. Левченко Э.П. Исследование работы центробежно-ударной мельницы. Материалы международной конференции "Экология и безопасность жизнедеятельности". Алчевск, 2000. С. 152-154.

*к.т.н, доц. Ларченко В.Г.,
м.н.с. Хоружая Н.В.
(ДонГТУ, г.Алчевск, Украина)*

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ПРОЦЕССА СДВИЖЕНИЯ ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ НА ТРУДНОДОСТУПНЫХ УЧАСТКАХ

Запропонований спосіб визначення параметрів процесу зрушень земної поверхні на важкодоступних ділянках, заснований на використанні двох (трьох) стаціонарних лазерних приладів поза зоною впливу очисних робіт і фіксації їх нерухомих променів на двох (трьох) екранах, установлених на важкодоступних ділянках, що підробляються.

Проблема и ее связь с научными и практическими задачами.

Натурные наблюдения за сдвигами и деформациями земной поверхности являются основным и самым достоверным источником определения параметров процесса сдвига, необходимых для обоснованного выбора мер охраны подрабатываемых инженерных сооружений и природных объектов, а также для подготовки нормативных документов. Но во многих случаях по причине застроенности территорий, под реками, водоемами или лесными массивами без ущерба для последних нет возможности заложить наблюдательную станцию требуемых размеров, особенно при ежегодном увеличении глубины подработки, когда увеличивается длина профильных линий, продолжительность процесса сдвигов, что вызывает увеличение объема, трудоемкости и стоимости натурных наблюдений.

Поэтому актуальной задачей является разработка новых способов натурных наблюдений и совершенствование известных с целью расширения условий их применения, повышения точности и комфортабельности наблюдений, снижения трудоемкости работ. Решение этой задачи соответствует научному направлению кафедры Маркшейдерии, геодезии и геологии ДонГТУ и гос.бюджетной теме № 144 (№ гос. регистрации 0105 и 000935).

Анализ исследований и публикаций. Параметры процесса сдвига земной поверхности можно определять методами натурных наблюдений, моделированием их эквивалентных по прочности материалов или теоретическим. Анализ публикаций, большой опыт исследований, обзор патентов и изобретений по теме свидетельствуют о верном выборе метода исследований и актуальности решения конкретной прак-

тической задачи. Наиболее близким из публикаций является предложенный автором статьи еще в 1976 г. графоаналитический способ расчета сдвижений и деформаций земной поверхности [1], основанный на натуральных наблюдениях по профильным линиям требуемых размеров. Недостатком этого способа [1] является необходимость заложения на земной поверхности наблюдательной станции соответствующих размеров и производство трудоемких частотных инструментальных наблюдений. Поэтому очевидна необходимость в разработке новых способов натуральных наблюдений, расширяющих условия их применения, повышающих точность и комфортабельность наблюдений и снижающих их трудоемкость.

Постановка задачи. Разработать новый способ определения сдвижений и деформаций земной поверхности на труднодоступных участках, где нет возможности заложить профильную линию требуемых размеров.

Изложение материала и его результаты. Выбор мер охраны инженерных сооружений и природных объектов на подрабатываемых территориях производится на основе ожидаемых параметров процесса сдвижения земной поверхности. Самым достоверным из методов их определения является метод натуральных инструментальных наблюдений. Но во многих случаях не предоставляется возможным заложить наблюдательную станцию необходимых размеров. Кроме того, натурные наблюдения являются очень трудоемкими, требуют минимум двух исполнителей. Поэтому в настоящей статье предлагается новый способ натуральных наблюдений на труднодоступных подрабатываемых участках земной поверхности, основанный на использовании двух (трех) стационарных лазерных приборов (ЛУН-7, ЛУН-9), установленных вне зоны влияния очистных работ, установки двух (трех) экранов на труднодоступных подрабатываемых участках (вместо реперов профильной линии) и фиксации на экранах с необходимым интервалом времени положения неподвижных лучей лазерных приборов [2], (рис.1).

Наблюдения за оседаниями и горизонтальными сдвигами двух (трех) точек земной поверхности (реперов с экранами 2, рис. 1), заложённых на труднодоступных подрабатываемых участках в главном сечении мульды сдвижения, проводятся через определенные интервалы времени на экранах по неподвижным лучам стационарных лазерных приборов, установленных вне зоны влияния очистных работ. Расстояния между реперами (экранами) принимаются в соответствии с глубиной подработки от 10 до 30 м. К монолитному реперу 1 жестко прикрепляется градуированный экран 2 размерами: по вертикали более или равным вынимаемой мощности пласта m , а по горизонтали $l_r \geq 0,5m$ [1]

(рис. 2). На экране через требуемые интервалы времени отмечается неподвижный луч лазерного прибора в виде пятна-шаблона 4, в котором определяется его центр 5, вырисовывая, таким образом, в совокупности траекторию полного вектора сдвижения, по которой от исходного положения неподвижного луча лазерного прибора определяем оседания η и горизонтальные сдвигения ξ в любой момент времени относительно очистного забоя, положение которого замерами определяется на каждую дату (и час) наблюдений. Одновременно, аналогично определив оседания и горизонтального сдвигения на соседнем экране (репере), по известным формулам вычисляем наклоны i , горизонтальные деформации ε , а при трех лазерных приборах и трех экранах и кривизну K , а также другие параметры процесса сдвижения земной поверхности. Посредине экрана подвешивается отвес 6 для контроля наклона репера с экраном по градуированной шкале 7. Для определения максимальных скоростей сдвижений и деформаций интервал между наблюдениями необходимо принимать меньшим или равным

$$t = \frac{l_{об}}{V_3},$$

где $l_{об}$ - шаг обрушения основной кровли, м;

V_3 - средняя скорость подвигания очистного забоя, м/сут.

Изображение лазерного луча на градуированном экране можно снимать (фотографировать) современным цифровым фотоаппаратом, где на снимке указана дата и время наблюдений. По совокупности снимков получим полную траекторию сдвижения точек, а в конечном итоге – определим все параметры процесса сдвижения исследуемого участка земной поверхности.

Изложенный способ целесообразно применить при исследовании параметров деформирования подработанной толщи горных пород [3,4], что многократно позволит повысить точность и комфортабельность наблюдений, видеть на экране невооруженным глазом процесс деформирования массива пород и свести к минимуму влияние человеческого фактора.

Выводы и направление дальнейших исследований. Внедрение предлагаемого способа определения сдвижений и деформаций земной поверхности обеспечит по сравнению с существующими способами следующие преимущества:

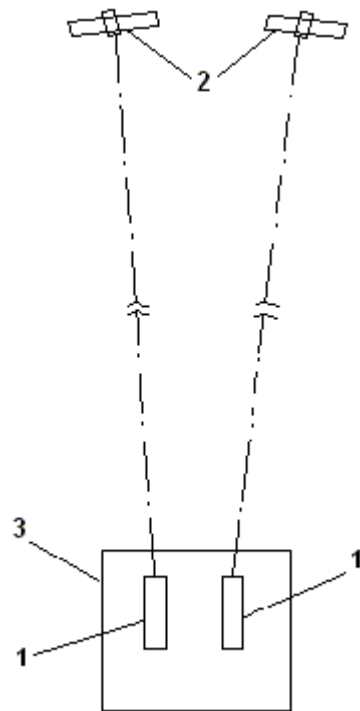


Рисунок 1 – Схема определения сдвижений и деформаций земной поверхности на труднодоступных участках:

- 1 – лазерный прибор (ЛУН-7);
- 2 – экран (репер);
- 3 – защитный корпус.

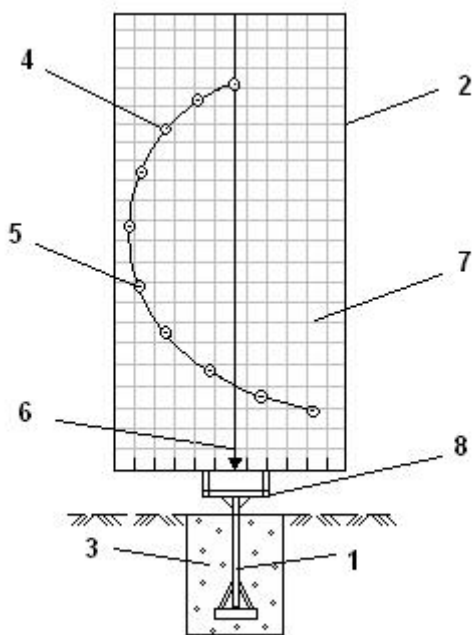


Рисунок 2 – Грунтовый репер с экраном:

- 1 – грунтовый репер;
- 2 – экран;
- 3 – бетон;
- 4 – пятно-шаблон ЛУН;
- 5 – центр пятна ЛУН;
- 6 – отвес;
- 7 – градуированная шкала экрана;
- 8 – кронштейн крепления экрана.

1. Возможность производства наблюдений на труднодоступных участках земной поверхности, где нет возможности заложить профильную линию соответствующей длины;

2. Получить полную траекторию сдвижения точек земной поверхности по отмеченным на градуированных экранах неподвижным лучам стационарных двух (трех) лазерных приборов, а значит определить параметры процесса сдвижения над движущимся очистным забоем;

3. Значительно уменьшить трудоемкость наблюдений и повысить их комфортабельность.

В дальнейшем, совместно с УкрНИМИ НАН Украины, необходимо внедрить разработанные авторами статьи новые способы производства натурных наблюдений [2-4] при подработке наиболее значимых инженерных сооружений.

Предложен способ определения параметров процесса сдвижений земной поверхности на труднодоступных участках, основанный на двух (трех) стационарных лазерных приборах вне зоны влияния очистных работ и фиксации их неподвижных лучей на двух (трех) экранах, установленных на труднодоступных подрабатываемых участках.

It's offered the method of parameters determination of the process of the earth surface moving on hard-accessible areas, based on the two (three) stationary lasers devices, which are out of the affected zone of cleansing works, and based on fixing their immobile rays on the two (three) screens placed on the hard-accessible exploiting areas.

Библиографический список.

1. Ларченко В.Г., Петрук Е.Г. Графоаналитический способ расчета сдвижений и деформаций земной поверхности во времени. // Горный журнал. Известие вузов. - 1976. - №8. - С. 45-50

2. Ларченко В.Г., Хоружа Н.В. Способ визначення осідань і горизонтальних зрушень земної поверхні на важкодоступних ділянках. // Державний департамент інтелектуальної власності. Бюл. №12, 2007 р. Патент №25436 від 10.08.07 р.

3. Ларченко В.Г., Хоружа Н.В. Спосіб визначення швидкості деформацій підробленої товщі порід // Державний департамент інтелектуальної власності. Бюл. №5, 2007 р., № 22619 від 25.04.2007р.

4. Ларченко В.Г., Хоружа Н.В. Пристрій для визначення параметрів деформацій підробленої товщі порід // Державний департамент інтелектуальної. Бюл. №12, 2007 р. Патент №25619 від 10.08.07.

*к.т.н. Аверин Г. А.,
к.т.н., доц. Кирьязов П. Н.,
магистр, ассистент Доценко О. Г.
(ДонГТУ, г. Алчевск, Украина)*

УСТАНОВЛЕНИЕ ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТИ ОСЕДАНИЯ ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ НАД ВЫРАБОТАННЫМ ПРОСТРАНСТВОМ ЛАВЫ

Наведено результати експериментальних спостережень та теоретичних досліджень, які спрямовані на аналіз умов проведення пластових підготовчих виробок в розвантажених зонах.

Для глубоких горизонтов необходимо изыскание новых и совершенствование существующих способов охраны выработок, тем настоятельнее возникает необходимость расположения подготовительных выработок в разгруженных от горного давления зонах, одним из которых является способ охраны выработок путем расположения их в выработанном пространстве. Важно определить степень влияния сдвижений земной толщи на состояние горных выработок, проводимых в зоне обрушенных и переуплотненных пород.

В выработанном пространстве лавы давление на почву пласта создают породы, отслоившиеся от массива кровли и находящиеся внутри области подработки. Процесс формирования области полных сдвижений и давлений на почву пласта изменяется во времени и пространстве. Выявление закономерностей этого процесса имеет первостепенное значение с точки зрения выбора времени проходки и места расположения выработок в обрушенных и уплотненных породах. При расположении выработки в выработанном пространстве нужно руководствоваться двумя параметрами – расстоянием в плоскости пласта от забоя движущейся лавы до места проведения выработки и расстоянием от кромки массива или целика угля по падению или восстанию до выработки [1].

С целью изучения смещений оседающих пород на почву пласта и их скоростей относительно движущейся лавы №8 западная пласта h_8 проведены экспериментальные исследования на шахте «им. М. В. Фрунзе» ГП Ровенькиантрацит в 2000-2002 гг. Согласно утвержденному проекту горного отвода по пласту h_8 подрабатывалось железнодорожное полотно. Участок подработанной железной дороги прямолинеен и располагался параллельно направлению движения лавы (см. рисунок 1).

Пласт h_8 , разрабатываемый лавой №8 западная, сложного строения со средней мощностью около 2 метров. Нижний слой кровли представлен песчаником мощностью 8,2-12,3 м и крепостью 14. Выше залегает песчаник мощностью 3,0-18,0 м и крепостью 12. Верхний слой почвы представлен алевролитом мощностью 1,4-4,0 м и крепостью 8. Угол расположения пласта на площади выемочного участка изменяется от 14 до 21°. Средняя глубина расположения лавы 890 м. Лава №8 западная, начавшая свою работу в июне 2000 г и отработавшая выемочный столб длиной 950 м, была остановлена 12.06.2002 г. Выемка антрацита в лаве проводилась механизированным комплексом 1КМТ - 1,5. Скорость подвигания очистного забоя достигала 90 м/мес.

Расчет параметров сдвижения земной поверхности выполнен в соответствии [2]. Сдвижение в вертикальной плоскости определялось путем нивелирования железной дороги. Допустимые неувязки теодолитного хода не превышали 1/2000. В результате обработки данных по измерениям профильной линии железной дороги были получены графики опускания земной поверхности, которые приведены на рисунке 2.

По замерам оседания земной поверхности в период ведения очистных работ получена логарифмическая зависимость (1), позволяющая определить величину оседания земной поверхности за определенный промежуток времени. Максимальные смещения в мульде сдвижений составили 380 мм (см. рисунок 3) за 850 дней наблюдений.

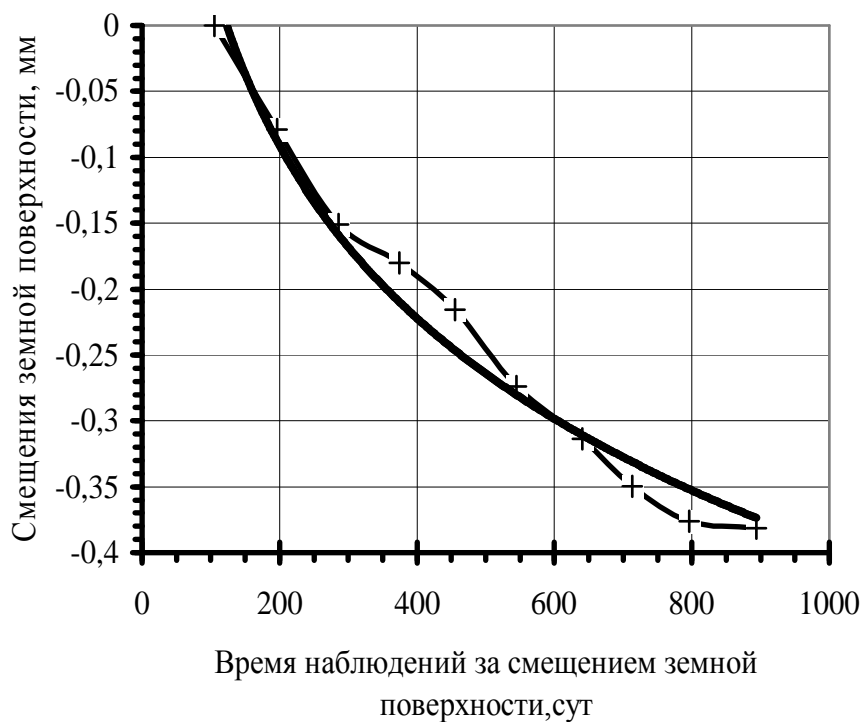


Рисунок 3 - Зависимость оседаний земной поверхности в начальный период влияния очистных работ

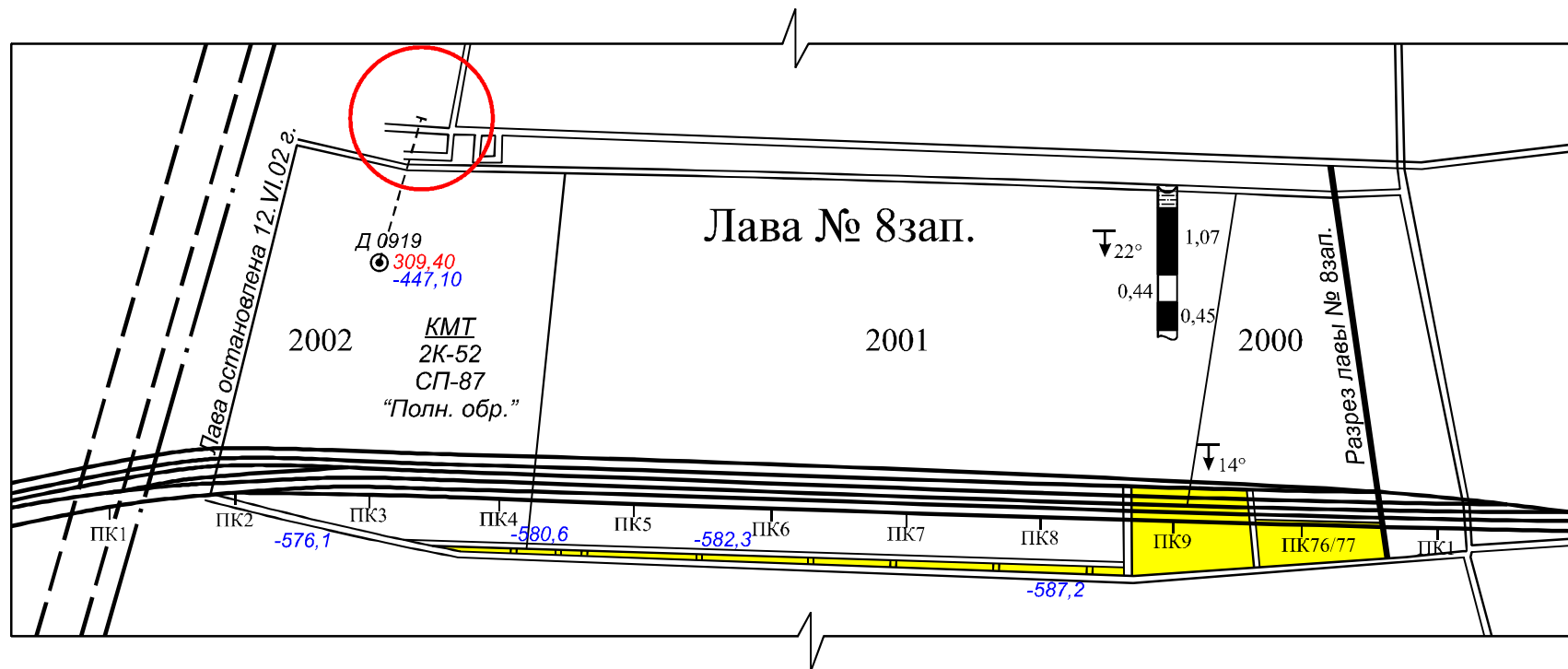
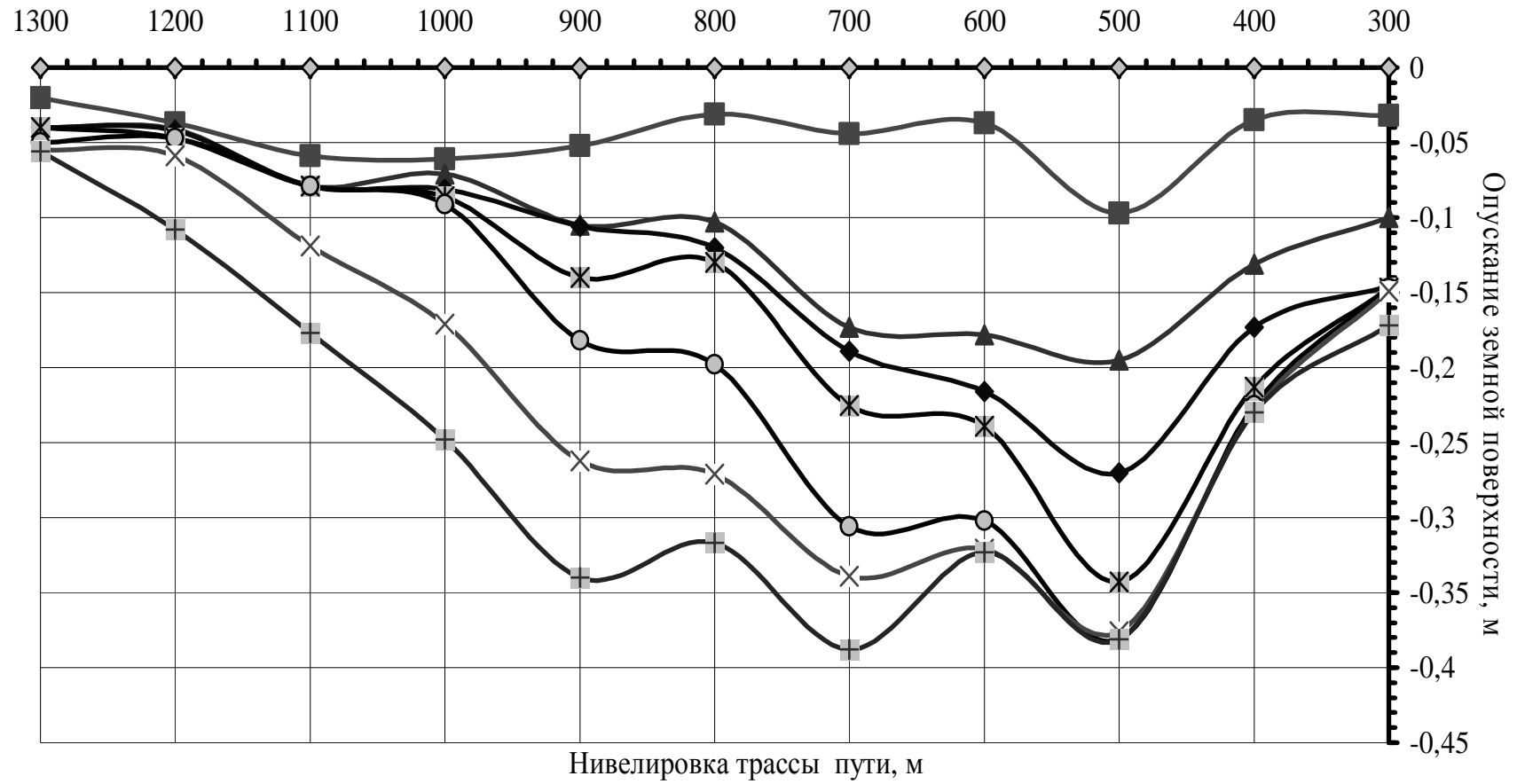


Рисунок 1– Выкопировка с плана горных выработок по пласту h_8



◇ на 14.12.2000 ■ на 15.03.2001 ▲ на 14.06.2001 ◆ на 10.09.2001
 ✱ на 10.12.2001 ○ на 10.03.2002 × на 14.06.2002 ⊕ на 14.09.2002

Рисунок 2 – Профили фактических оседаний земной поверхности, измеренным по указанным выше датам

$$\eta = -0,19 \cdot \ln(T) + 0,9, \quad (1)$$

где T – продолжительность наблюдений, сут;
 η - оседания земной поверхности в мульде сдвижений, мм.

Коэффициент детерминации полученной зависимости составил 0,97.

Процесс сдвижения горных пород в первые 180 дней работы лавы протекает наиболее интенсивно (см. рисунок 4). На этом этапе скорость оседаний изменяется по прямолинейной зависимости (2):

$$v = 1 \cdot 10^{-6} \cdot T^2 + 53 \cdot 10^{-4} + 2 \cdot 10^{-15} \quad (2)$$

На 180 сутки после прохода лавы скорость оседания достигла максимальной величины 1,1 мм/сут. Изменение скорости оседаний (см. рисунок 5) происходит по зависимости (3):

$$v = 2,025 \cdot e^{-0,0036 \cdot T}, \quad (3)$$

Коэффициент детерминации составил 0,78.

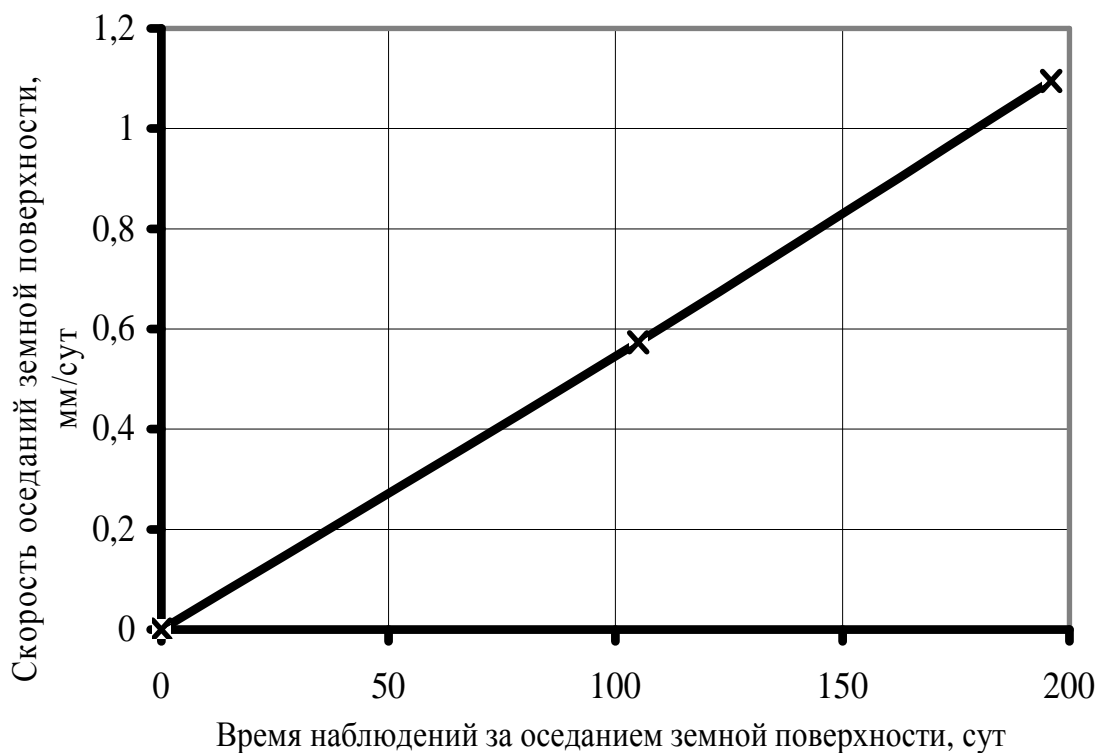


Рисунок 4 - Зависимость скорости оседания земной поверхности в первый период влияния очистных работ лавы

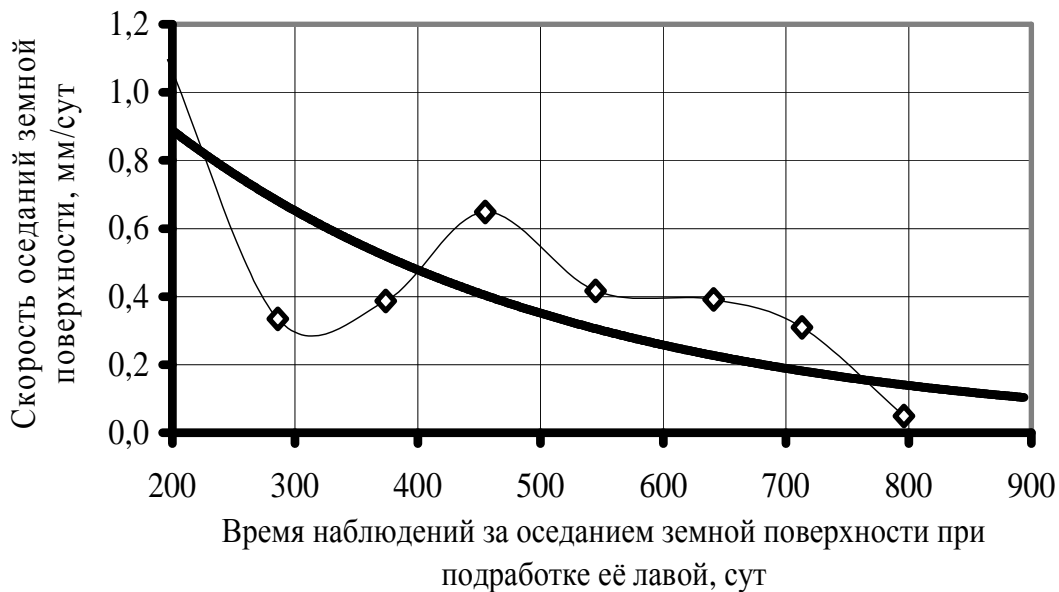


Рисунок 5 - Зависимость скорости оседаний земной поверхности на затухающем периоде влияния очистных работ

На основании обработки результатов нивелировки железнодорожного полотна получена зависимость скорости оседаний земной поверхности (4) по отношению к месту нахождения очистного забоя, представленная на рисунке 6.

$$v = 3 \cdot 10^{-6} \cdot X^2 + 14 \cdot 10^{-4} \cdot X - 44, \text{ мм/сут} \quad (4)$$

где v – скорость оседания земной поверхности, мм/сут;
 X – расстояние от лавы до точки замера, м.

Коэффициент детерминации составил 0,87.

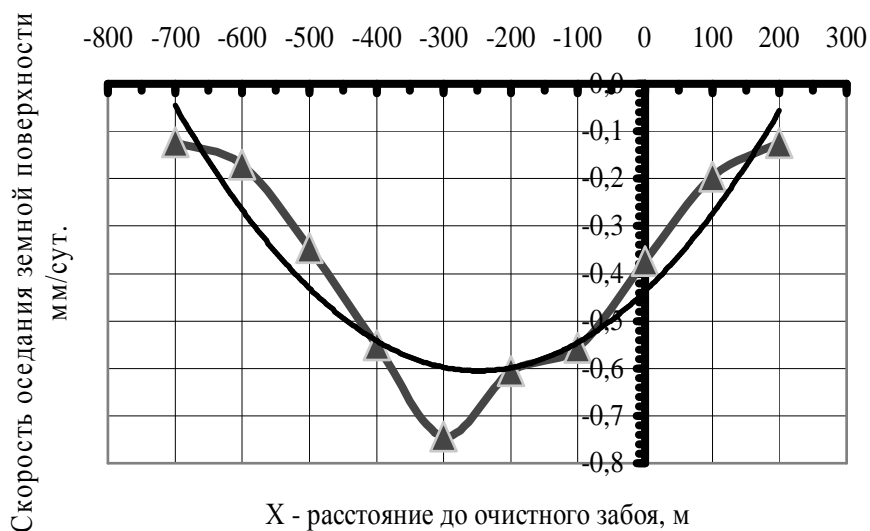


Рисунок 6 - Зависимости скорости оседаний земной поверхности на различном удалении от очистного забоя

Полученная зависимость позволяет определить скорость оседания земной поверхности по отношению к нахождению очистного забоя.

Максимальная скорость оседания составила 0,7 мм/сут после отхода лавы на 300 м. При средней скорости подвигания лавы 30-50 м/мес. снижение скорости смещений приходится на 6-10 месяц. Относительная стабилизация сдвижений (скорость оседаний менее 0,35 мм/сут) земной поверхности на подработанном участке наступает через 1,3 года.

Выводы

1. В течение 180 дней от начала влияния очистного забоя на земную поверхность, скорость оседания пород интенсивно растет и достигает максимального значения 1,1 мм/сут. После указанного периода она интенсивно падает, и через 20-27 месяцев достигает 0,1 мм/сут.

2. Минимальная скорость оседания земной поверхности на глубине 900 м приходится на 700–800 м после отхода лавы и составляет в среднем 0,1 мм/сут.

В статье приведены результаты экспериментальных наблюдений и теоретических исследований, направленных на анализ условий проведения пластовых подготовительных выработок в разгруженных зонах.

The article gives the information about the results theoretic researches, which direct to analyzing conditions of build mining manufactures in unloading zones.

Библиографический список.

1. М.П. Зборщик. *Охрана выработок глубоких шахт в выработанном пространств.* - К., «Техніка», 1978. – 176 с.

2. *Правила підробки будівель, споруд і природних об'єктів при видобуванні вугілля підземним способом.* – Київ: Мінпаливенерго України, ГСТУ 101.00159226.001-2003, - 2004. - 128 с.

*к. т. н, доц. Фесенко Э. В.
(ДонГТУ, г. Алчевск, Украина)*

ОЖИДАЕМЫЙ ЭКОНОМИЧЕСКИЙ ЭФФЕКТ МЕТОДОВ ПРОГНОЗА ГОРНОГО ДАВЛЕНИЯ

Запропоновано оцінку економічної ефективності методів прогнозу гірського тиску. Враховано витрати на підвищення стійкості гірничих виробок та їхній ремонт. Розрахунки основані на використанні ймовірності прогнозу й понять помилок прогнозу першого й другого роду.

Улучшение экономических показателей угольной отрасли в первую очередь связано с проблемой уменьшения себестоимости добываемого угля. Для этого необходимо значительно снизить затраты на ремонт горных выработок, ежегодный размер которых достигает сотен миллионов гривен [1]. Средняя глубина разработки угольных пластов в Донбассе постоянно увеличивается, приближаясь в настоящее время к 800 – 850 м, что приводит к ухудшению условий проведения и поддержания горных выработок. Так, более 40% проводимых выработок ремонтируется еще до сдачи их в эксплуатацию, а половина действующих деформирована. Поэтому при проектировании новых и эксплуатации существующих горных выработок важное значение приобретает использование различных методов прогноза проявлений горного давления (ожидаемых смещений пород кровли, почвы и боков, скоростей этих смещений, их интенсивности с течением времени и т. д.).

Экономический эффект от применения того или иного метода прогноза зависит от его точности, поскольку любая ошибка при прогнозировании может привести к значительным экономическим потерям. Так, при отсутствии или неточности прогноза могут возникать ошибки первого или второго рода. Ошибка первого рода возникает, когда ожидается отсутствие проявлений горного давления, а фактически они происходят. Эта ошибка приводит к необходимости ликвидировать последствия проявлений горного давления (подрывка пород почвы, ремонт крепи или перекрепление выработки, демонтаж, а затем настилка новых рельсовых путей, переустановка конвейеров и т. д.). Ошибка второго рода появляется, если применяют излишние способы повышения устойчивости выработок в условиях, где нет опасных проявлений горного давления, что приводит к неоправданным затратам средств на борьбу с несуществующей опасностью. Использование достоверных методов про-

гноза при строительстве и эксплуатации горных выработок устраняет ошибки проектирования первого и второго рода, даёт возможность своевременно и рационально применять способы борьбы с различными проявлениями горного давления и избегать их там, где они не нужны.

В настоящее время в основном разработаны и используются методики расчета фактического экономического эффекта, когда оценивают и сравнивают между собой различные способы предотвращения проявлений горного давления, а не методы его прогноза. Однако на стадии проектирования выработок, когда еще не известны фактические масштабы проявлений горного давления, представляет интерес оценка эффективности применения именно метода прогноза с учетом точности, которую данный метод может обеспечить. Применение теории распознающих систем для прогнозирования различных проявлений горного давления впервые предложено Р.А. Фрумкиным [2]. В работе [3] предложенная методика использована для прогнозирования смещений кровли очистных выработок, когда с помощью прогностических таблиц принимаются решения по выбору рациональных параметров крепей для различных горно-геологических и горнотехнических условий. В данном случае при расчете эффективности применения методики прогноза стоимостью ошибок второго рода, а также стоимостью правильно принятых решений можно пренебречь [3], хотя в общем случае прогнозирования проявлений горного давления это не всегда справедливо. Кроме того, в этом случае не видно, на сколько возрастает эффективность той или иной методики прогноза при повышении ее точности.

В связи с этим, цель исследований – разработка методики определения ожидаемого экономического эффекта при использовании различных методов прогноза горного давления с учетом их точности и достоверности. Задачи исследований – определение вероятности проявлений горного давления в различных горно-геологических условиях и величины возможной ошибки при расчете этой вероятности, численная оценка эффективности прогноза в зависимости от затрат на способы борьбы с горным давлением, мероприятия по ликвидации последствий его проявлений.

Разработку методики рассмотрим на примере метода прогноза пучения почвы, разработанного в ДонГТУ [4 – 6]. Метод позволяет с достаточной высокой степенью достоверности (ошибка 9 – 12 %) рассчитать вероятность и величину поднятия пород почвы в пластовых подготовительных выработках для различных горно-геологических и горнотехнических условий.

На первом этапе проанализируем случай, когда прогноз пучения почвы не сделан, т.е. проектировщик или производитель в среднем

(отвлекаясь от субъективных и внепроизводственных факторов) с равной степенью вероятности $P=50\%$ может принять решение – планировать в данной выработке мероприятия по предотвращению пучения или нет. При этом фактически пучение может проявиться, а может отсутствовать. Таким образом, принятое решение может совпасть с реальным проявлением пучения, либо оказаться ошибочным. Оценим эффективность \mathcal{E} принимаемых решений для каждого из возможных случаев (табл. 1).

Таблица 1 – Эффективность \mathcal{E} принятия решений при отсутствии прогноза пучения почвы

<div style="text-align: center;">принимаемое решение</div> <div style="text-align: center;">пучение фактическое</div>	<div style="text-align: center;">$P_{\text{п}} = 0$</div> <div style="text-align: center;">(способы предотвращения не планируются)</div>	<div style="text-align: center;">$P_{\text{п}} = 1$</div> <div style="text-align: center;">(способы предотвращения планируются)</div>
<div style="text-align: center;">$P_{\text{ф}} = 1$</div> <div style="text-align: center;">(пучение есть)</div>	1 $\mathcal{Z}_c - \mathcal{Z}_n$	2 $\mathcal{Z}_n - \mathcal{Z}_c$
<div style="text-align: center;">$P_{\text{ф}} = 0$</div> <div style="text-align: center;">(пучения нет)</div>	3 \mathcal{Z}_c	4 $-\mathcal{Z}_c$

где \mathcal{Z}_c – затраты на средства борьбы с пучением;

\mathcal{Z}_n – затраты на ликвидацию последствий пучения.

Случай 1 – ошибка первого рода. Применять способы предотвращения пучения не планировалось, а фактически пучение в выработке проявилось. Следовательно, возникнет необходимость ликвидации последствий пучения \mathcal{Z}_n (подрывка пород почвы, перестилка рельсовых путей, конвейеров и т.д.), однако исключены затраты на мероприятия по предотвращению пучения \mathcal{Z}_c . Эффективность решения в этом случае: $\mathcal{E} = \mathcal{Z}_c - \mathcal{Z}_n$. Поскольку всегда $\mathcal{Z}_n > \mathcal{Z}_c$, то возникнут убытки $\mathcal{E} < 0$.

Случай 2 – правильное решение, а именно, о применении способов предотвращения пучения, что совпало с реальным проявлением горного давления в выработке. Тогда $\mathcal{E} = \mathcal{Z}_n - \mathcal{Z}_c$, т.е. имели место затраты \mathcal{Z}_c на мероприятия по предотвращению пучения, однако удалось избежать затрат \mathcal{Z}_n , связанных с ликвидацией его последствий. Поскольку $\mathcal{Z}_n > \mathcal{Z}_c$, то в случае 2 будет экономия средств $\mathcal{E} > 0$.

Случай 3 – правильное решение, когда предотвращение пучения не планировалось и пучения в выработке действительно нет. Эффектив-

ность решения в том, что были исключены затраты Z_c на средства борьбы с пучением. $\mathcal{E} = Z_c$.

Случай 4 – ошибка второго рода, когда предусмотрены мероприятия по предотвращению пучения при его фактическом отсутствии. В этом случае возникли убытки в размере затрат Z_c , т.е. $\mathcal{E} = -Z_c$.

При отсутствии геомеханического прогноза в среднем эффективность принятия решений будет равна нулю для обоих случаев фактического проявления пучения ($P_\phi = 1$ или $P_\phi = 0$), поскольку вероятность принятия того или иного решения одинакова и составляет 50 % (см. табл. 1), так:

$$P_\phi = 1 \rightarrow \mathcal{E} = (Z_c - Z_n)/2 + (Z_n - Z_c)/2 = 0;$$

$$P_\phi = 0 \rightarrow \mathcal{E} = Z_c/2 - Z_c/2 = 0.$$

В качестве альтернативы рассмотрим ситуацию, когда прогноз пучения абсолютно достоверный, т.е. заранее благодаря идеальному геомеханическому прогнозу точно известно, будет в выработке пучение почвы или нет. Эффективность \mathcal{E} принимаемых решений составит (табл. 2):

Таблица 2 – Эффективность \mathcal{E} принятия решений при абсолютно достоверном прогнозе пучения почвы

принимаемое решение \ пучение фактическое	$P_\pi = 0$ (способы предотвращения не планируются)	$P_\pi = 1$ (способы предотвращения планируются)
$P_\phi = 1$ (пучение есть)	1 случай невозможен	2 $Z_n - Z_c$
$P_\phi = 0$ (пучения нет)	3 Z_c	4 случай невозможен

Как видно из табл. 2, при абсолютно достоверном прогнозе случаи 1, 4 невозможны, а эффективность случаев 2, 3 остается прежней (см. табл. 1).

Если вероятность того, что пучение в данной выработке произойдет, составляет P_δ , то в среднем эффективность решений для абсолютно точного прогноза составит (см. табл. 2):

$$\begin{aligned} \mathcal{E} &= (Z_n - Z_c) \cdot P_\delta + Z_c \cdot (1 - P_\delta) \text{ или} \\ \mathcal{E} &= Z_n \cdot P_\delta - Z_c \cdot (2P_\delta - 1) \end{aligned} \quad (1)$$

Таким образом, экономическая эффективность \mathcal{E} прогноза увеличивается с повышением его точности. При отсутствии прогноза $\mathcal{E} = 0$, для абсолютно точного прогноза $\mathcal{E} = \mathcal{E}_{max}$.

Обычно точность любого метода прогноза меньше единицы, поэтому его эффективность будет находиться в пределах $0 \leq \mathcal{E} \leq \mathcal{E}_{max}$. Прогноз пучения почвы позволяет рассчитать вероятность P_p этого события для различных горно-геологических условий. При расчетах может возникнуть ошибка, равная:

$$\Delta \varepsilon = |P_\delta - P_p|; \quad (2)$$

где $\Delta \varepsilon$ – ошибка расчета вероятности пучения;

P_δ – действительное (точное) значение вероятности пучения;

P_p – расчетное значение вероятности пучения.

При расчете ожидаемого экономического эффекта использование в формуле (1) значения P_p вместо P_δ приведет к тому, что значение \mathcal{E} может быть рассчитано с ошибкой. Величина ошибки $\Delta \mathcal{E}$ составит:

$$\begin{aligned} \Delta \mathcal{E} &= \mathcal{E}_d - \mathcal{E}_p; \\ \Delta \mathcal{E} &= (Z_n \cdot P_\delta - Z_c \cdot (2P_\delta - 1)) - (Z_n \cdot P_p - Z_c \cdot (2P_p - 1)); \end{aligned} \quad (3)$$

Заменив в выражении (3) P_δ на $\Delta \varepsilon + P_p$, раскрыв скобки и сделав преобразования, получим:

$$\Delta \mathcal{E} = \Delta \varepsilon (Z_n - 2 \cdot Z_c); \quad (4)$$

Ошибка $\Delta \varepsilon$ может привести к завышению или занижению истинного значения вероятности P_δ . Поэтому значение ожидаемого экономического эффекта \mathcal{E} с учетом возможной ошибки составит:

$$\mathcal{E} = \mathcal{E}_p - \Delta \mathcal{E}; \text{ или}$$

$$\mathcal{E} = \mathcal{Z}_n \cdot P_p - \mathcal{Z}_c \cdot (2P_p - 1) - \Delta\varepsilon(\mathcal{Z}_n - 2 \cdot \mathcal{Z}_c); \quad (5)$$

Пример.

Оценим эффективность применения прогноза пучения почвы для следующих условий проведения выработки: 34-й западный конвейерный штрек ш. "Суходольская-Восточная" находится на глубине 820 м, охраняется по схеме «бутовая полоса – массив», в почве залегает алевролит мощностью $m_n = 3$ м, прочностью $\sigma_{сж} = 60$ МПа, мощность угольного пласта $m_y = 0,75$ м, угол падения пород $\alpha = 5^0$, ширина выработки $2a = 5$ м. В качестве мер предотвращения пучения рекомендуется способ, разработанный в ДонГТУ, – активная разгрузка и последующее упрочнение пород почвы (АРПУ). Расчет ведем на 1 п.м. выработки.

Расчетная вероятность пучения почвы в данной выработке составит [4 – 6] $P_p = 0,57$, величина поднятия пород почвы $U = 1,0$ м. Возможная ошибка прогноза $\Delta\varepsilon = 12\%$ или в абсолютном значении расчетной вероятности $\Delta\varepsilon = 0,07$. Рассчитаем затраты на средства борьбы с пучением почвы \mathcal{Z}_c и на ликвидацию последствий пучения \mathcal{Z}_n .

$$\mathcal{Z}_c = V_{АРПУ} \cdot c_{АРПУ} = 1,0 \cdot 400 = 400 \text{ грн};$$

где $V_{АРПУ}$ – объем работ по применению способа АРПУ (ДонГТУ) [7];
 $c_{АРПУ}$ – стоимость работ по применению способа АРПУ, грн.

$$\mathcal{Z}_n = V_{подр} \cdot c_{подр} + V_{дем.р} \cdot c_{дем.р} + V_{наст.р} \cdot c_{наст.р} + V_{пер} \cdot c_{пер}$$

$V_{подр}$, $V_{дем.р}$, $V_{наст.р}$, $V_{пер}$, – соответственно объем работ по подрывке почвы; демонтажированию, настилке рельсовых путей; перекреплению выработки;

$c_{подр}$, $c_{дем.р}$, $c_{наст.р}$, $c_{пер}$, – стоимости единицы объема работ по подрывке почвы; демонтажированию, настилке рельсовых путей; перекреплению выработки, грн.

Объем пород при одной подрывке:

$$V_{подр} = U \cdot 2a = 1,0 \cdot 5,0 = 5 \text{ м}^3,$$

где U – прогнозируемая величина пучения, $U = 1,0$ м;

$2a$ – ширина выработки, $2a = 5,0$ м.

Объем работ по демонтажированию старых и настилке новых рельсовых путей:

$$V_{дем.р} = n = 2 \text{ м};$$

$$V_{наст.р} = n = 2 \text{ м},$$

где n – количество рельсовых путей в сечении выработки.
Объем работ по перекреплению выработки:

$$V_{пер} = n_{кр} = 1 \text{ рама},$$

где $n_{кр}$ – плотность установки крепи, рам/м.

Тогда $Z_n = 5 \cdot 150 + 2 \cdot 30 + 2 \cdot 60 + 1 \cdot 500 = 1430 \text{ грн}$

Ожидаемый экономический эффект для данной выработки составит:

$$\mathcal{E} = Z_n \cdot P_p - Z_c \cdot (2P_p - 1) - \Delta\epsilon (Z_n - 2 \cdot Z_c)$$

$$\mathcal{E} = 1430 \cdot 0,57 - 400 \cdot (2 \cdot 0,57 - 1) - 0,07(1430 - 2 \cdot 400)$$

$$\mathcal{E} = 759 - 44 = 715 \text{ грн}$$

Таким образом, предложенная методика оценки ожидаемого экономического эффекта при прогнозе пучения почвы позволяет ориентировочно рассчитать эффект в различных горно-геологических условиях с учетом возможной ошибки прогноза. Разработанная методика не ограничена лишь прогнозированием пучения почвы горных выработок, а может быть распространена на иные методы прогноза горного давления, в которых рассчитывается вероятность и интенсивность его проявления (ожидаемые смещения пород, объемы вывалов, выбросов и т.д.).

Предложена оценка экономической эффективности методов прогноза горного давления. Учтены затраты на повышение устойчивости горных выработок и их ремонт. Расчеты основаны на использовании вероятности прогноза и понятий ошибок прогноза первого и второго рода.

The estimation of economic efficiency of methods of the forecast of mountain pressure is offered. Expenses for increase of stability of developments and their repair are taken into account. Calculations are based on use of probability of the forecast and concepts of mistakes of the forecast of the first and second sort.

Библиографический список.

1. Мизин В.А., Сытник А.В., Нагорный А.В. Творческое сотрудничество института, завода и шахты – залог успеха // Уголь Украины. – 2003. - №8. – С. 43-44.

2. Фрумкин Р.А. Методика прогнозирования процессов со многими параметрами и ее приложение в горном деле // Уголь. – 1973. - №1.

3. Рогозян Н.С. Прогнозирование смещений кровли очистных выработок пологих пластов Донбасса для выбора рациональных параметров крепи: Дис. ... канд. техн. наук: 05.15.02. – Коммунарск, 1975. – 167 с.

4. Литвинский Г.Г., Фесенко Э.В. Вероятность и величина пучения почвы горных выработок // Современные проблемы шахтного и подземного строительства: Материалы международного научно-практического симпозиума. – Донецк: Норд-Пресс, 2004. – Вып. 5. – С. 118 – 130.

5. Litvinsky Garry G. Engineering method for predicting footwall heave in mine workings / Garry G. Litvinsky, Eduard V. Fesenko // Technical, technological and economic aspects of thin-seams coal mining: International mining forum 2007. – London, 2007. – P. 67 – 74.

6. Фесенко Э.В. Прогноз и закономерности пучения слоистых пород почвы горных выработок: Дис. ... канд. техн. наук: 05.15.04. – Днепропетровск, 2005. – 177 с.

7. Литвинский Г.Г., Бабиюк Г.В., Быков В.А. Эффективные способы предотвращения пучения пород в шахтах/ Обзорная информация. – М.: ЦНИЭИУголь, 1985. – 48 с.

*к.т.н. Сятковский С.Л.
(ДонГТУ, г. Алчевск, Украина)*

ВЫЯВЛЕНИЕ ЗАКОНА РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ДЕБИТА МЕТАНА В ИСХОДЯЩИХ ВЕНТИЛЯЦИОННЫХ СТРУЯХ ВОЗДУХА ВЫЕМОЧНЫХ УЧАСТКОВ АНТРАЦИТОВЫХ ШАХТ

Наведено аналіз літературних даних про дослідження закону розподілу дебіту метану у вихідних вентиляційних струменях повітря виїмкових ділянок вугільних шахт. На підставі експериментальних даних отримані розподіли дебіту метану при різних навантаженнях на лаву. Встановлено, що максимальна відповідність нормальному закону розподілу дебіту метану у вихідних вентиляційних струменях повітря виїмкових ділянок антрацитових шахт може досягатися в одних гірничо-геологічних і гірничо-технічних умовах при стабільному навантаженні на лаву.

Случайный характер шахтных газодинамических процессов определяет и случайный характер его динамических характеристик. Фундаментальной характеристикой случайного процесса является закон распределения случайной величины, устанавливающий вероятность появления того или иного ее значения.

Изучение статистических характеристик шахтных газодинамических процессов, прежде всего законов распределения, было начато в начале 60-х годов в ИГД им. А.А. Скочинского, МакНИИ, МГИ и продолжено затем в ряде других организаций.

Авторами ключевых работ [1-6] на основании теоретических рассуждений и имеющегося на тот период опыта были сделаны неоднозначные выводы о законе распределения дебита метана в исходящих вентиляционных струях воздуха выемочных участков.

Результаты одних исследований позволили сделать вывод об удовлетворительной применимости нормального закона распределения дебита и концентрации метана в шахтных вентиляционных потоках. В то же время были обнаружены и отклонения от нормального закона, в ряде случаев существенные.

На практике, несмотря на большое разнообразие имеющихся видов распределения, особое внимание уделяется нормальному закону. Это, в первую очередь связано с тем, что для него наиболее полно разработан математический аппарат.

Основной характеристикой такого распределения, является плотность вероятности случайной величины X , которая описывается уравнением:

$$f(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_x} e^{-\frac{(x-m_x)^2}{2\sigma_x^2}}, \quad (1)$$

где m_x – математическое ожидание величины X ;
 σ_x – ее среднеквадратическое отклонение.

Применительно к нормальному закону главным условием нормальности распределения дебита метана в исходящих вентиляционных струях воздуха является постоянство среднего уровня газовыделения. В этом случае будет обеспечиваться постоянство математического ожидания (m_x) и среднеквадратического отклонения (σ_x). В свою очередь, неизменность среднего уровня газовыделения возможно при постоянной добыче и горно-геологических условий отработки угольного пласта. Ввиду изменчивости данных параметров в шахтных условиях, можно предположить, что полное соответствие нормальному закону распределения дебита метана можно ожидать в редких случаях.

Этим случаям должны соответствовать постоянные значения m_x и σ_x . При изменении добычи угля и горногеологических условий данное условие не будет соблюдаться и, следовательно, можно ожидать несоответствие нормальному закону распределения.

До настоящего времени остается неизученной зависимость среднеквадратического отклонения дебита метана при изменении среднего уровня газовыделения (математического ожидания).

От изменения соотношения этих характеристик зависит вероятность превышения заданного уровня газовыделения (концентрации метана) в горной выработке, а следовательно и создание безопасных условий по газовому фактору. Так, например, по изменению соотношения математического ожидания и среднеквадратического отклонения можно судить о коэффициенте неравномерности газовыделения:

– при увеличении математического ожидания и постоянном среднеквадратическом отклонении коэффициент неравномерности будет уменьшаться. Такая зависимость заложена в действующие нормативные документы;

– если среднеквадратическое отклонение увеличивается быстрее, чем растет математическое ожидание, коэффициент неравномерности будет увеличиваться;

– при других соотношениях темпов изменения m_x и σ_x следует ожидать уменьшение коэффициента неравномерности.

Исходя из теоретического анализа следует, что для создания безопасных условий по газовому фактору, необходимо знать не только среднее значение газовыделения, но и прогнозировать возможные законы распределения. До настоящего времени нормативными документами учитывается только один возможный вариант соотношения m_x и σ_x из трех. Кроме этого не изучены возможные изменения других параметров распределения.

Учитывая изложенное возникла необходимость проведения шахтных экспериментов с целью установить:

– соответствие нормальному закону распределения дебита метана при постоянной нагрузке на очистной забой в одних горногеологических условиях;

– зависимость среднеквадратического отклонения и других параметров распределения при изменении добычи угля.

Экспериментальная часть работы выполнена в условиях шахты им. газеты «Известия» ГП «Донбассантрацит» при отработке 9-й западной лавы пласта l_2^g мощностью 0,9м. Пласт отрабатывался механизированным комплексом МК-97, выемка угля производилась комбайном ИК-101. Участок проветривался по возвратноточной схеме, за время эксплуатации лавы режим вентиляции не изменялся. Газовыделение происходило, в основном, из выработанного пространства и составляло 80÷90% в газовом балансе участка. К анализу привлекли данные непрерывной записи аппаратурой газового контроля концентрации метана в исходящей вентиляционной струе воздуха из очистного забоя после посадки основной кровли и достижения максимального уровня газовыделения из выработанного пространства с шагом квантования 30 мин. Согласно правил безопасности в угольных шахтах датчики были установлены в 10-20 м от очистного забоя у стенки, противоположной выходу из лавы, посередине высоты выработки. Замеры количества воздуха производили периодически. На основании этих данных получены значения абсолютных газовыделений. Наблюдения продолжались около десяти месяцев при эксплуатации участка и были продолжены после остановки очистного забоя.

Время работы выемочного участка разделили на характерные периоды с учетом уровня добычи угля (табл. 1). Учитывая, что в течение месяца сохранялась стабильная нагрузка, рассмотрели процессы газовой динамики за этот период как для отдельного выемочного участка.

Таблица 1 - Сведения о среднесуточной добыче угля и статистических параметрах дебита метана на участке 9-й западной лавы шахты им. газеты "Известия" в разные периоды ее эксплуатации

№ п/п	Период наблюдений	Среднесуточная добыча	Количество наблюдений	Количество метана, м ³ /мин			Стандартное отклонение, σ	3 σ	Количество данных, выходящих за пределы $\pm 3\sigma$		Медиана, Ме	Максимальное отклонение от $Me \pm 3\sigma$	
				среднее	минимальное	максимальное			-n	+n		- Δ	+ Δ
1	14.06.85-30.06.85	907	750	7,55	3,23	17,28	1,92	5,76	0	3	7,37	-1,62	4,15
2	1.07.85-31.07.85	818	1488	6,37	2,42	12,53	1,72	5,16	0	8	6,32	-1,26	1,05
3	1.08.85-31.08.85	727	1478	6,58	3,23	12,50	1,52	4,56	0	7	6,45	-1,34	1,49
4	1.09.85-30.09.85	425	1198	5,25	2,45	12,04	1,30	3,90	0	14	5,04	-1,31	3,10
5	1.10.85-31.10.85	382	1488	4,82	2,91	7,74	0,81	2,43	0	3	4,81	-0,53	0,50
6	1.11.85-30.11.85	282	1440	5,07	2,51	9,43	0,96	2,88	0	8	5,02	-0,37	1,53
7	1.12.85-31.12.85	201	1488	4,33	2,68	6,42	0,63	1,89	0	1	4,31	-0,26	0,22
8	1.01.86-31.01.86	198	1488	4,94	1,44	8,62	0,78	2,34	1	9	4,79	1,01	1,49
9	1.02.86-28.02.86	48	1344	3,13	1,43	4,90	0,65	1,95	0	0	3,19	-0,19	-0,24
10	1.03.86-13.03.86	0	889	2,29	1,34	3,02	0,35	1,05	0	0	2,26	-0,13	-0,29

С другой стороны отработку ластва в данном случае за отдельные периоды приняли как эксплуатацию нескольких участков с разной добычей в одних горногеологических условиях. Изменение средней добычи в разной степени влияло на изменение минимального, среднего и максимального дебита метана. Это определило отличительные признаки распределения абсолютного уровня газовыделения за каждый характерный период отработки выемочного участка.

Анализ экспериментальных данных показал (см. табл. 1), что большим абсолютным значениям уровня газовыделения соответствуют большие стандартные отклонения (рис. 1).

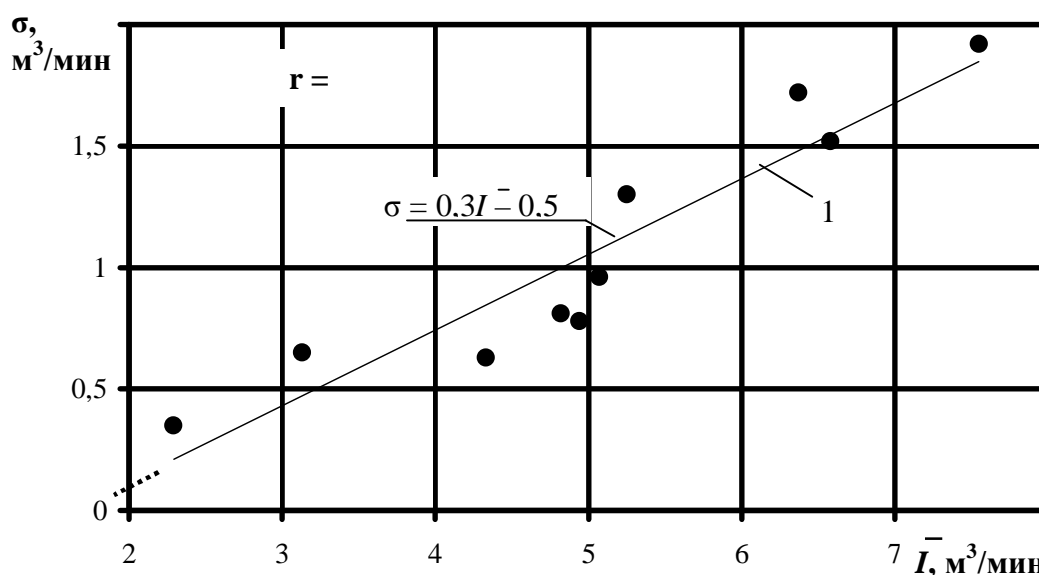


Рисунок 1 - Зависимость стандартных отклонений (σ) от среднего дебита метана (\bar{I}) в исходящей вентиляционной струе воздуха 9-й западной лавы пласта l_2^e шахты им. газеты “Известия” ГП “Донбассантрацит”: 1 – осредняющая прямая; r – коэффициент парной корреляции; ● – экспериментальные данные.

Изменение характеристик распределения дебита метана от уровня добычи угля хорошо иллюстрируется графиками (рис. 2). Снижение среднесуточной добычи угля с 907 до 0 т привело к снижению среднего абсолютного уровня газовыделения в три раза, а стандартное отклонение при этом уменьшилось в пять раз. Такое непропорциональное изменение статистических характеристик предопределило соответствующее отклонение фактических параметров распределения дебита метана по отношению к нормальному закону.

Согласно экспериментальным данным при увеличении уровня газовыделения возрастает правосторонняя асимметрия. Это приводит к существенному превышению текущими значениями дебита метана верхней положительной границы «трех сигм», рассчитанной в предположении соответствия нормальному закону распределения.

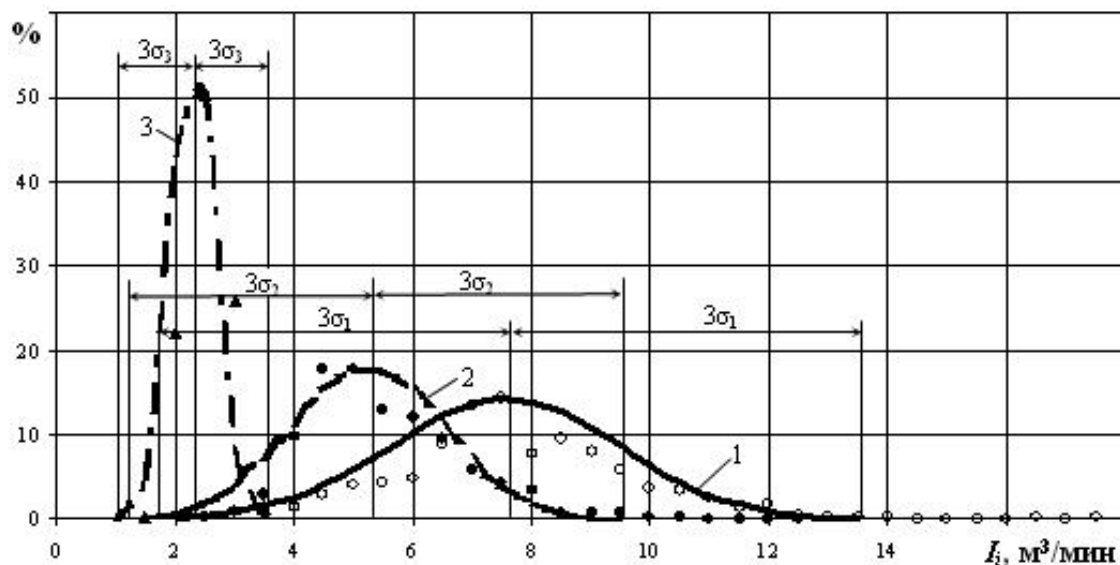


Рисунок 2 - Распределение дебита метана (I_i) в исходящей вентиляционной струе воздуха 9-й западной лавы шахты им. газеты «Известия» ГП «Донбассантрацит»:

1, 2, 3 – теоретические кривые нормального распределения, рассчитанные соответственно при среднесуточной добыче угля 907, 425 и 0 т;

σ_1 , σ_2 , σ_3 – стандартные отклонения дебита метана для нормального закона распределения, соответственно при среднесуточной добыче угля 907, 425 и 0 т;

○, ●, ▲ – фактические экспериментальные данные распределения, соответственно при добыче угля 907, 425 и 0 т.

Для газовыделения из выработанного пространства не подтвердилась гипотеза о наличии существенной правосторонней асимметрии при сравнительно небольшом абсолютном газовыделении. При снижении среднесуточной добычи угля менее 48 т правосторонняя асимметрия исчезла, что подтверждается отсутствием превышения текущими значениями уровня газовыделения положительной верхней границы «трех сигм» (см. табл. 1).

Снижение среднесуточной добычи угля менее 200 т привело к появлению незначительной левосторонней асимметрии и к выходу за

нижнюю (отрицательную) границу «трех сигм» некоторых текущих значений дебита метана.

Отсутствие правосторонней и появление левосторонней асимметрии свидетельствуют, что максимальное соответствие нормальному закону распределения с учетом этого параметра может достигаться в одних горнотехнических и горногеологических условиях при обеспечении добычи угля на некотором постоянном уровне. Отклонение добычи угля в сторону ее увеличения или уменьшения вызывает соответственно право- или левостороннюю асимметрию фактического распределения дебита метана в исходящих вентиляционных струях воздуха выемочных участков.

Результаты фактического распределения дебита метана в исходящей вентиляционной струе воздуха выемочного участка 9-й западной лавы при разных уровнях добычи угля и преимущественном газовыделении из выработанного пространства не соответствуют большинству научных положений [2, 3].

Отличие результатов вызвано тем, что авторы указанных работ не учитывали газовыделение из выработанных пространств и его колебания. Изменение уровня газовыделения в исходящих вентиляционных струях воздуха увязывалось, в основном, с работой выемочных механизмов в отдельные смены. В большинстве случаев к совместной статистической обработке привлечены результаты трехсуточных газовых съемок, проведенных на выемочных участках с разным уровнем метановыделения и добычи угля. Такой подход является не совсем корректным, так как параметры фактического распределения дебита метана отдельных объектов могли существенно отличаться между собой. Кроме того, по результатам трехсуточных газовых съемок невозможно достоверно судить о процессе газовыделения из выработанного пространства, продолжительность которого под влиянием сдвижения подработанных пород может составлять несколько месяцев.

Проведенные исследования позволили, в некоторой степени, раскрыть механизм формирования отдельных параметров распределения абсолютного уровня газовыделения и сделать следующие выводы:

– при преимущественном газовыделении из выработанного пространства параметры закона распределения дебита метана в исходящих вентиляционных струях воздуха выемочных участков зависят от интенсивности и стабильности отработки пласта;

– максимальное соответствие нормальному закону распределения дебита метана в исходящих вентиляционных струях выемочных участков может достигаться в одних условиях при определенном уровне ста-

бильной добычи угля. Отклонение добычи угля в сторону ее увеличения или уменьшения вызывает соответственно право- или левостороннюю асимметрию;

– большим абсолютным значениям газовыделения соответствуют большие значения коэффициентов неравномерности.

Приведен анализ литературных данных об изучении закона распределения дебита метана в исходящих вентиляционных струях воздуха выемочных участков угольных шахт. На основании экспериментальных данных получены распределения дебита метана при различных нагрузках на лаву. Установлено, что максимальное соответствие нормальному закону распределения дебита метана в исходящих вентиляционных струях воздуха выемочных участков антрацитовых шахт может достигаться в одних горно-геологических и горно-технических условиях при стабильной нагрузке на лаву.

There was made the analysis of literary data about the law of methane output distribution in outgoing vent currents of air coal mines' gates. On the base of experimental data there was obtained methane output distribution under the different face loads. There was determined that maximum conformity with normal law methane output distribution in outgoing vent currents of air anthracite mines' gates can reach in the same mining geological conditions under the stable face load.

Библиографический список.

1. Анненков Б.А. Неравномерность газовыделения в лавах угольных шахт // Научные сообщения ИГД им. И.А. Скочинского, том XVIII.- М.:Гос. НТИ литературы по горному делу, 1963.- С. 39-52.
2. Ефремов К.А., Дубов А.И. Газообильность каменноугольных шахт.- М.: Недра, 1974.- 208 с.
3. Колотовкин Л.Д. Неравномерность метановыделения при разработке крутых и наклонных пластов на шахтах Кузнецкого бассейна.- В кн. Вопросы безопасности в угольных шахтах.- М., 1967, т.8.- С.3-13.
4. Осипов С.Н. Метановыделение при разработке пологих угольных пластов.- М.:Недра, 1964.- 256 с.
5. Маляревский В.М., Кизряков А.Д. О применимости нормального закона распределения к метановыделению в очистные выработки // Изв. Вузов. Горный журнал.- № 11, 1968.- С. 91-92.
6. Пигида Г.Л. Вероятностные характеристики газовых процессов на очистных участках газовых шахт Львовско-Волынского бассейна // Изв. Вузов. Горный журнал.- № 5, 1972.-С.75-79.

*к.т.н., с.н.с. Семененко Е.В.,
(ИГТМ НАН Украины, г. Днепропетровск)
ст. преподаватель Никифорова Н.А.
(НМетАУ, г. Днепропетровск, Украина)*

ОБОСНОВАНИЕ МЕТОДА РАСЧЕТА ПАРАМЕТРОВ ГИДРОТРАНСПОРТА В ПРИСУТСТВИИ ГИДРОДИНАМИЧЕСКИ АКТИВНЫХ ДОБАВОК

Наведено класифікацію існуючих методик розрахунку параметрів гідротранспорту твердих матеріалів за принципом, який визначає критичний режим гідротранспортування. Виявлено параметри, на які може впливати гідродинамічно активний додаток до несучої рідини. Запропоновано метод розрахунку параметрів гідротранспорту в присутності гідродинамічно активних додатків.

Гидротранспортные системы являются обязательным элементом технологий добычи и переработки минерального сырья, без стабильной и надежной работы которых невозможно эффективное функционирование предприятий горной, металлургической и химической отраслей промышленности [1 – 5]. В соответствии с мировыми тенденциями модернизация этого вида транспорта осуществляется в направлении экономии электроэнергии и сокращения потребляемых объемов воды [6]. В этих условиях наиболее эффективным является метод снижения гидравлического сопротивления магистрали за счет введения гидродинамически активных добавок (ГДАД), который с успехом используется для трубопроводных систем, транспортирующих воду [4, 7 – 9]. Однако использование этого метода для взвесенесущих потоков в настоящее время ограничивается случаями малых концентраций пульпы и присутствия в ней лишь тонких частиц [4, 10], что не позволяет использовать эти результаты для условий гидротранспортных систем на открытых горных разработках, при отведении отходов обогащения и освоении техногенных месторождений, где твердый материал содержит частицы крупностью от 0.2 до 2 мм [2 – 4].

Целью статьи является обоснование метода расчета гидравлического уклона и критической скорости для потоков пульпы с частицами крупностью менее 2 мм при введении в несущую жидкость ГДАД в очень малых концентрациях.

Для выявления в различных методах расчета параметров гидротранспорта тех параметров, на которые оказывают влияние добавки ГДАД, были проанализированы наиболее распространенные методики: Войтенко, Мотинова, Коберника – Войтенко, Карасика, Смолдырева, Дмитриева, Силина, Криля, Трайниса, институтов ИГМ НАН Украины, ВНИИГ, МГРИ, ВНИИжелезобетон, Проектгидромеханизация, Механобр, ЛГИ им. Г.В. Плеханова, Днепрогипрошахт [1].

Для удобства исследования все методики были разделены на группы по принципу, определяющему критический режим гидротранспортирования. Классификация методик по этому принципу приведена в таблице 1. Было выделено четыре группы методик.

Таблица 1 – Классификация методик расчета параметров гидротранспорта по принципу, определяющему критический режим

Группа №	Условия определения критической скорости	Методики, относящиеся к группе
1	Аппроксимация результатов экспериментов	Войтенко, Мотинова, Коберника – Войтенко, Карасика, ИГМ НАН Украины
2	Принцип Великанова	ВНИИГ, МГРИ, Смолдырева, Дмитриева, Силина, ВНИИжелезобетон и Проектгидромеханизация
3	Равенство касательных напряжений на стенке трубы критическому значению	Института Механобр, ЛГИ им. Г.В. Плеханова, Криля
4	Достижение минимума зависимости гидравлического уклона от скорости течения гидросмеси	Трайниса, института Днепрогипрошахт

Анализ выбранных методик позволил выявить 12 параметров, используемых при расчетах, на которые добавка ГДАД может оказывать влияние. На рисунке 1 показаны доли методик, использующих соответствующий параметр при расчете критической скорости и гидравлического уклона. На этом рисунке 1 – коэффициент гидравлического сопротивления; 2 – гидравлическая крупность частиц; 3 – средневзвешенный диаметр частиц; 4 – коэффициент фиктивного лобового сопротивления; 5 – изменение долей фракций гранулометрического состава в ре-

зультате изменения крупности частиц; 6 – коэффициент неоднородности материала; 7 – коэффициент обобщенного трения материала; 8 – эмпирический коэффициент, учитывающий влияние различных факторов на дополнительные потери напора; 9 – шероховатость трубы; 10 – высота слоя заиления; 11 – средний коэффициент лобового сопротивления; 12 – коэффициент лобового сопротивления частиц.

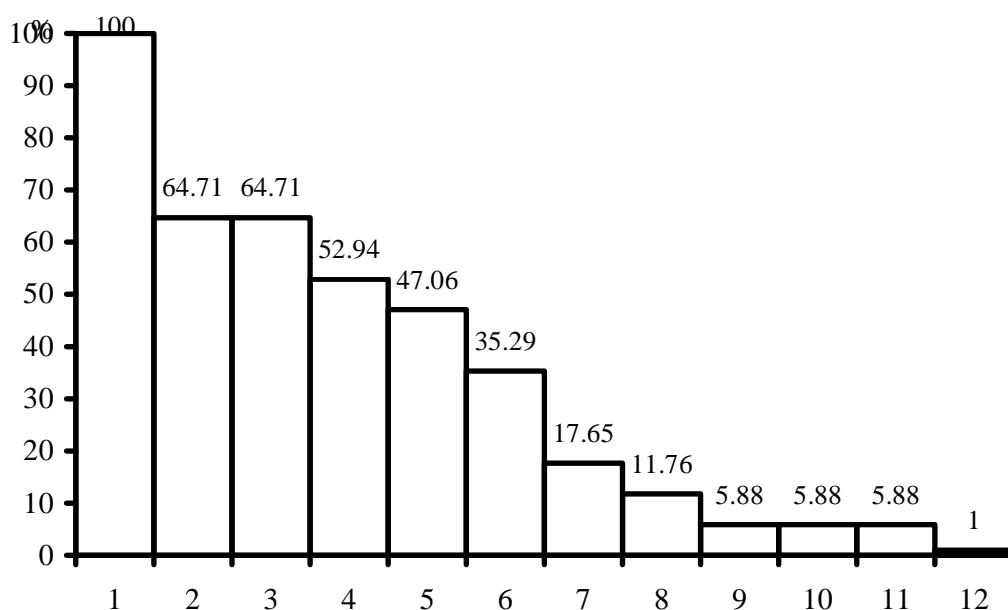


Рисунок 1 – Доля методик, использующих параметры, зависящие от добавок ГДАД, при расчете критической скорости и гидравлического уклона

Не все методики используют и учитывают эти параметры в одинаковой степени. Так как некоторые из указанных параметров дублируют друг друга, то имеет смысл объединить их в группы, которые будем называть факторами, характеризующими влияние ГДАД на параметры гидротранспорта. Можно выделить четыре таких фактора: А – изменение гидравлического сопротивления трения; В – изменение условий обтекания частиц; С – перераспределение долей фракций гранулометрического состава; D – изменение взаимодействия твердого со стенкой трубы. На рисунке 2 показаны доли методик, использующих соответствующий фактор при расчете критической скорости и гидравлического уклона. Из рисунка видно, что факторы А, В и С учитываются практически всеми рассмотренными методиками, а фактор D – меньше, чем четвертью из них.

Влияние присутствия ГДАД на фактор А всесторонне изучалось разными исследователями, однако факторы В, С и D ранее не рассматривались.

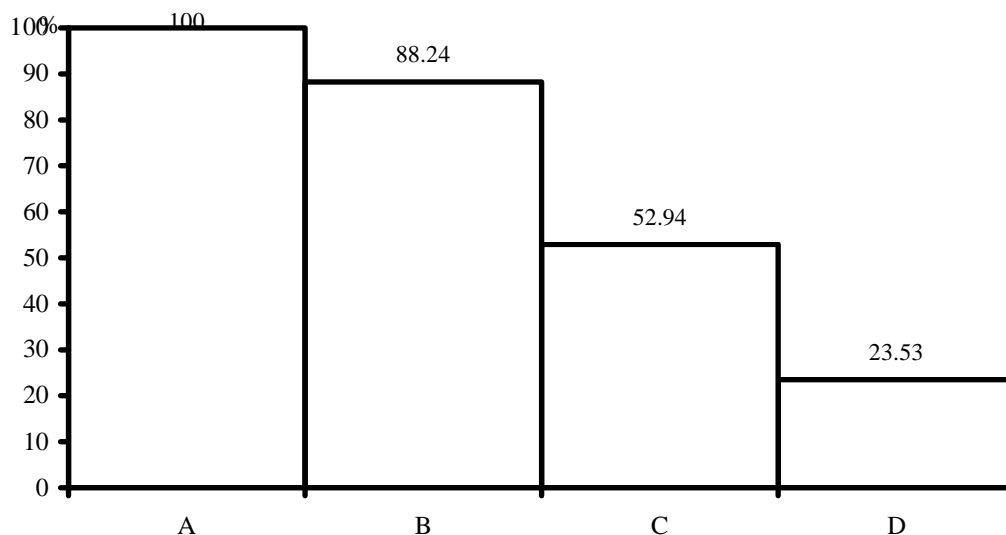


Рисунок 2 – Доля методик, использующих факторы, характеризующие влияние добавок ГДАД, при расчете критической скорости и гидравлического уклона

Таким образом, для разработки методики расчета параметров гидротранспорта, учитывающей влияние присутствия ГДАД, необходимо, прежде всего, исследовать их влияние на условия обтекания частиц, на перераспределение долей фракций гранулометрического состава и на взаимодействие твердого со стенкой трубы. Все эти факторы учитываются дополнительным гидравлическим уклоном, который обусловлен потерями напора на взвешивание и транспортирование жидкостью твердых частиц крупностью от 0.2 до 2 мм.

В рассматриваемых методиках используются различные формулы для определения величины дополнительного гидравлического уклона, однако можно выделить наиболее часто используемые величины: коэффициент гидравлического сопротивления; гидравлическая крупность частиц твердого материала; скорость потока пульпы; отношение диаметра частиц к диаметру трубы; отношение диаметра трубы к диаметру частиц.

Анализ показывает, что зависимость дополнительного гидравлического уклона от коэффициента гидравлического сопротивления λ предполагается в половине из рассматриваемых методик. В десяти из четырнадцати рассмотренных методик дополнительный гидравлический уклон рассчитывается с учетом гидравлической крупности частиц

транспортируемого материала. При этом методики, не учитывающие влияние гидравлической крупности на дополнительный гидравлический уклон, вообще не рассматривают эту характеристику материала при расчете параметров гидротранспорта. Во всех методиках учитывается зависимость дополнительного гидравлического уклона от скорости потока. При этом двенадцать методик используют для описания этой зависимости обратно пропорциональную степенную функцию, а две – прямо пропорциональную. Методики, использующие прямо пропорциональную зависимость дополнительного гидравлического уклона от скорости, априори предполагают пропорциональность между гидравлическими уклонами пульпы и воды. Показатель степени в десяти случаях равен единице, а в остальных близок к этому значению. Только пять из четырнадцати методик при определении дополнительного гидравлического уклона не учитывают соотношение диаметров частиц и трубопровода. При этом, четыре из пяти этих методик вообще не учитывают диаметр твердых частиц при расчете параметров гидротранспорта. Девять остальных методик определяют дополнительный гидравлический уклон с учетом этого соотношения, причем шесть из них используют обратно пропорциональную зависимость, а три – прямо пропорциональную.

Учитывая результаты анализа методик, а также замечания некоторых исследователей о характере движения частиц крупностью от 0.2 до 2 мм, основанные на результатах экспериментальных исследований [3 – 5, 10 – 12], можно сделать следующий вывод: при транспортировании частиц крупностью от 0.2 до 2 мм величина дополнительного гидравлического уклона прямо пропорциональна отношению гидравлической крупности частиц к эффективной амплитуде вертикальных турбулентных пульсаций.

Как показывают экспериментальные исследования, величина средней амплитуды вертикальных турбулентных пульсаций в круглой трубе выражается через среднюю расходную скорость потока и коэффициент гидравлического сопротивления [11, 12]. С учетом этого необходимая эффективная амплитуда вертикальных турбулентных пульсаций может быть рассчитана по формуле

$$v = K \sqrt{\lambda V}, \quad (1)$$

где v – эффективная амплитуда вертикальных турбулентных пульсаций;

K – коэффициент пропорциональности.

Если сопоставить формулу (1) с известными зависимостями для расчета дополнительного гидравлического уклона, то становится очевидным, что в существующих методиках в эмпирические коэффициенты входит переменная величина $\frac{1}{\sqrt{\lambda}}$, которая изменяется при использовании ГДАД. Следует также учитывать, что ГДАД может быть флокулянтном для тонких твердых частиц в пульпе и в этом случае оказывать существенное влияние на гранулометрический состав транспортируемого материала и, соответственно, на гидравлическую крупность частиц. Зависимость гидравлической крупности флокулы от концентрации флокулянта в пульпе выражается формулой [9]

$$w = w_0 (1 + k_\phi \theta), \quad (2)$$

где w – гидравлическая крупность флокулы;
 w_0 – гидравлическая крупность твердых частиц;
 θ – массовая доля флокулянта в гидросмеси;
 k_ϕ – эмпирический коэффициент.

Таким образом, ГДАД двояко влияют на дополнительный гидравлический уклон, обусловленный взвешиванием частиц крупностью от 0.2 до 2 мм. С одной стороны, присутствие ГДАД приводит к увеличению гидравлической крупности частиц, при условии, что ГДАД является для них флокулянтном. С другой стороны, ГДАД снижают величину коэффициента гидравлического сопротивления и тем самым увеличивают дополнительные гидравлические уклоны.

С учетом этого, а также формул (1) и (2) зависимость для определения гидравлического уклона по методике А.Е. Смолдырева будет иметь вид [1, 3]

$$i = \frac{\lambda V^2}{2gD} \left(1 + \frac{Ar(1-S_1)}{(1+ArS_1)} S_1 \right) + \sqrt{\frac{D}{d_{cp}}} \frac{Ar(1-S_1)^2}{(1+ArS_1)} \frac{w}{V} \frac{C_1}{\sqrt{\lambda}}, \quad (3)$$

где i – гидравлический уклон при течении пульпы, м вод. ст./м;
 λ – коэффициент гидравлического сопротивления;
 V – скорость движения воды, м/с;
 g – ускорение свободного падения, м/с²;
 D – диаметр трубопровода, м;
 S_1, S_2 – объемные концентрации соответственно частиц крупностью менее 0.2 мм и частиц крупностью от 0.2 до 2 мм;
 Ar – параметр Архимеда;

d_{cp} – средневзвешенный диаметр частиц мелкой фракции, м;

w – скорость стесненного падения частиц, м/с;

C_1 – эмпирическая константа.

Формулу для расчета критической скорости в присутствии ГДАД можно получить на основе принципа Великанова, согласно которому в критическом режиме выполняется условие [1, 5]

$$\frac{i-i_0}{i_0} = K_{kp}, \quad (4)$$

где i_0 – удельные потери напора для воды, м вод. ст./м;

K_{kp} – эмпирическая константа.

Подставляя формулу (3) в выражение (4), после несложных преобразований нетрудно показать, что критическая скорость определяется из нелинейного уравнения

$$\sqrt{\lambda_{kp}} V_{kp} = \sqrt[3]{\frac{Ar(1-S_1)^2 (1+k_\phi \theta)}{(1+ArS_1)}} \sqrt[3]{\frac{2C_1 w_0}{\sqrt{gd_{cp}}}} \sqrt{gD}. \quad (5)$$

Проведенные исследования известных методов расчета трубопроводов, транспортирующих растворы ГДАД, показывают, что зависимость коэффициента гидравлического сопротивления от числа Рейнольдса для этих систем описывается зависимостью [6, 10]

$$\lambda = \frac{m}{Re^n}, \quad (6)$$

где Re – число Рейнольдса;

m, n – функции массовой доли флокулянта в гидросмеси.

С учетом зависимости (6) легко получить формулу для расчета критической скорости в явном виде

$$V_{kp} = \left(\frac{1-S_1}{S_1} \right)^{\frac{2}{3(2-n)}} \sqrt[2-n]{\frac{(1+k_\phi \theta)^{2/3}}{m}} \left(\frac{2w_0 C_1}{\sqrt{gd_{cp}}} \right)^{\frac{2}{3(2-n)}} \sqrt[2-n]{\frac{gD^{1+n}}{v^n}}; \quad (7)$$

$$K_1 = \frac{Ar(1 - S_1)S_1}{(1 + ArS_1)}, \quad (8)$$

где ν – кинематический коэффициент вязкости, $\text{м}^2/\text{с}$.

Таким образом, используя формулы (3), (6) – (8), можно в широком диапазоне концентраций пульпы определить гидравлический уклон и критическую скорость при транспортировании частиц крупностью до 2 мм в присутствии ГДАД, а затем оценить расходно-напорную характеристику магистрали и требуемый напор насосов. Поскольку зависимости параметров гидротранспорта получены в явном виде, формулы (3), (6) – (8) позволяют проводить аналитические исследования режимов работы гидротранспортных систем и обосновывать эффективные скорости и концентрации пульпы.

Приведена классификация существующих методик расчета параметров гидротранспорта твердых материалов по принципу, определяющему критический режим гидротранспортирования. Выявлены параметры, на которые может оказывать влияние гидродинамически активная добавка к несущей жидкости. Предложен метод расчета параметров гидротранспорта в присутствии гидродинамически активных добавок.

Classification of existing calculation procedures of solid materials hydrotransport parameters by principle, which determines hydrotransportation critical mode of operation, is presented. The parameters, on which hydrodynamically active addition to carrying liquid might make an impact, are disclosed. The method of calculation of hydrotransport parameters in presence of hydrodynamically active additions is offered.

Библиографический список.

1. Обоснование параметров и режимов работы систем гидротранспорта горных предприятий // Ю.Д. Баранов, Б.А. Блюсс, Е.В. Семенов, В.Д. Шурыгин – Д.: «Новая идеология», 2006. – 416 с.
2. Проблемы разработки россыпных месторождений / И.Л. Гуменик, А.М. Сокил, Е.В. Семенов, В.Д. Шурыгин. – Днепропетровск: Січ, 2001. – 224 с.
3. Смолдырев А.Е. Трубопроводный транспорт. – М.: Недра, 1980. – 390 с.
4. Покровская В.Н. Трубопроводный транспорт в горной промышленности. – М.: Недра, 1985. – 191 с.
5. Дмитриев Г.П., Махарадзе Л.И., Гочиташвили Т.Ш. Напорные гидротранспортные системы. – М.: Недра, 1991. – 304 с.

6. *Применение гидродинамически активных добавок полимеров и поверхностно-активных веществ в энергосберегающих технологиях* / А.В. Ступин, П.В. Асланов, А.П. Симоненко, Н.В. Быковская, С.А. Фоменко // *Прикладна гідромеханіка*. – 2001. – Т. 3 (75), № 1. – С. 74 – 81.

7. Криль С.И. *Напорные взвесенесущие потоки*. – К.: Наук. думка, 1990. – 160 с.

8. *Справочник по обогащению углей* / Под ред. И.С. Благова, А.М. Коткина, Л.С. Зарубина. – М.: Недра, 1984. – 614 с.

9. *Теория и прикладные аспекты гидротранспортирования твердых материалов* / Асауленко И.А., Витошкин Ю.К., Карасик В.М., Криль С.И., Очеретько В.Ф. – Киев: Наукова думка, 1981. – 364 с.

10. Курганов А.М., Федоров Н.Ф. *Справочник по гидравлическим расчетам систем водоснабжения и канализации*. – Л.: Стройиздат, 1973. – 408 с.

11. *Надежность и долговечность напорных гидротранспортных систем* / А.К. Махарадзе, Т.Ш. Гочиташвили, Д.Г. Сулаберидзе, Л.А. Алехин. – М.: Недра, 1984. – 119 с.

12. Медников Е.П. *Турбулентный перенос и осаждение аэрозолей*. – М.: Недра, 1981. – 175 с.

*д.т.н., доц. Корнеев С.В.
(УИПА, г. Стаханов, Украина)*

КРИТЕРИИ АДАПТАЦИИ ЗАБОЙНЫХ СКРЕБКОВЫХ КОНВЕЙЕРОВ В РАБОЧЕМ РЕЖИМЕ РАБОТЫ

Наведені залежності критеріїв адаптації вибійного скребкового конвеєра до реальних умов експлуатації в робочому режимі роботи від параметрів вантажопотоку

Проблема и ее связь с научными и практическими задачами.

Энерговооруженность механизированных очистных комплексов неуклонно возрастает, при этом мощность входящих в него забойных скребковых конвейеров достигает 700 кВт. Тем не менее, в силу всяческих ограничений, которые связаны с тяжелыми горно-геологическими и горнотехническими условиями эксплуатации, нагрузки на комплексно-механизированной очистной забой в Украине в среднем едва превышают 800 т в сутки. Чтобы повысить фактическую производительность машин до уровня, который отвечает государственной программе развития угольной промышленности Украины, и снизить себестоимость угля необходимо существенно повысить надежность и долговечность машин, входящих в комплекс, и, прежде всего, скребковых конвейеров. Для снижения себестоимости угля следует также неуклонно снижать долю непроизводительных затрат энергии, например, связанных с транспортированием тягового органа (ТО) конвейера, в общем балансе затрат энергии.

Анализ исследований и публикаций. Одним из направлений повышения эффективности очистного комплекса является приведение эксплуатационных параметров конвейера (скорости, первоначального натяжения тягового органа, момента настройки средств защиты от перегрузок и пр.) в соответствие реальным условиям эксплуатации, т.е. его адаптация [1, 2].

Нельзя сказать, что отмеченное несоответствие осталось не замеченным, так как в разное время разрабатывались и продолжают разрабатываться различные системы управления скоростью конвейера, регулирования первоначального натяжения ТО и т.п., которые, в принципе, позволяют адаптировать конвейеры к условиям эксплуатации. Между тем, такие системы не получили широкого распространения, и одной из причин является отсутствие критериев для обоснования их применения,

в частности, в рабочем режиме работы в конкретных условиях эксплуатации.

Проф. Э.Г. Краус и И.В. Брейдо [3] при разработке системы управления скоростью конвейера для ее обоснования в качестве показателя эффективности рассматривают удельную энергоемкость, которая, отражая уровень качества конвейера, не содержит в явном виде скорость конвейера и характеристики реального грузопотока.

В работах [1, 2, 4] приводятся критерии адаптации, определяющие снижение затрат энергии и увеличение долговечности ТО, а также конвейера в целом при оперативном управлении скоростью, однако они определяются без учета регулирования натяжения ТО, уместного при управлении скоростью. Кроме того, формулы для определения критериев не содержат параметры поступающего на конвейер случайного грузопотока, что снижает их практическую ценность.

Постановка задачи. Целью работы является установление зависимостей критериев адаптации конвейера, предназначенных для обоснования управления скоростью и регулирования натяжения ТО в рабочем режиме в заданных условиях эксплуатации, от математического ожидания (МОЖ) грузопотока, параметров конвейера и его загрузки.

Изложение материала и его результаты. При установившемся движении конвейера длительно действующие случайные статические нагрузки в приводе определяются количеством груза на конвейере, коэффициентами сопротивления движению груза и ТО.

Поступление груза на конвейер отражает схема загрузки, приведенная на рис. 1.

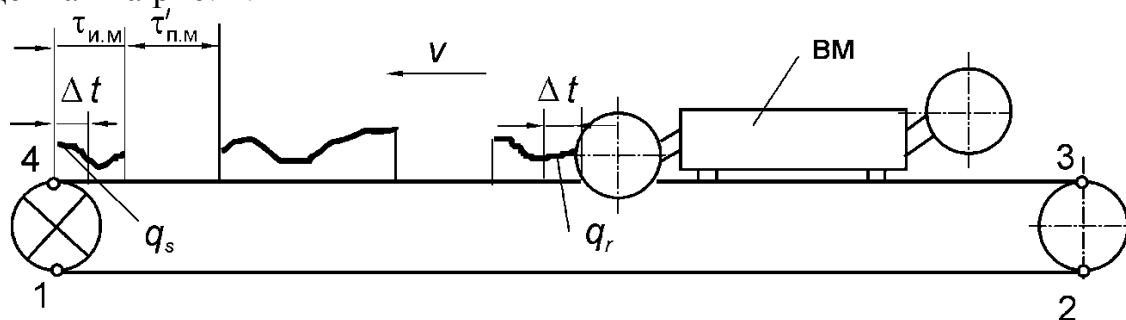


Рисунок 1 - Загрузка конвейера забойным грузопотоком

Продолжительности непрерывной работы (импульсы) $\Theta_{и.м}$ и $\Theta_{и.к}$, а также перерывы в работе (паузы) $\Theta_{п.м}$ и $\Theta_{п.к}$ на оси календарного времени, индексы (м) и (к) которых соответствуют выемочной машине (ВМ) и конвейеру, являются случайными величинами, реализации которых обозначаются соответственно $\tau_{и.м}$, $\tau_{п.м}$, $\tau_{и.к}$, $\tau_{п.к}$. На рис. 1 $\tau'_{п.м}$ – реализация случайной величины $\Theta'_{п.м}$ продолжительности пауз в поступлении груза на оси машинного времени конвейера.

Первым критерием адаптации конвейера при управлении скоростью является коэффициент снижения затрат энергии [2]

$$k_3 = \bar{N} / \bar{N}_v, \quad (1)$$

где \bar{N} и \bar{N}_v – МОЖ случайных величин, соответственно, мощности N , потребляемой приводом, если скорость не регулируется, и мощности N_v в случае управления ею.

Текущие значения мощности для базового варианта и в случае управления скоростью определяются из соответствующих выражений:

$$N(t) = v_k [W_{о.хх} + W_{\Gamma}(t)]; \quad N_v(t) = v(t) [W_{о.хх} + W_{\Gamma v}(t)],$$

где $W_{о.хх}$ – тяговое усилие, развиваемое приводом конвейера в режиме холостого хода, $W_{о.хх} = 2Lg w_{\Gamma} \rho_{\Gamma} \cos \beta$;

L – длина конвейера;

g – ускорение свободного падения;

ρ_{Γ} – погонная масса тягового органа;

w_{Γ} – коэффициент сопротивления движению ТО;

β – угол установки конвейера;

$W_{\Gamma}(t)$ и $W_{\Gamma v}(t)$ – стохастические составляющие тягового усилия, определяемые количеством груза на конвейере, соответственно в случае неизменной базовой скорости v_k и регулируемой скорости V , являющейся случайной величиной.

Случайная величина $W_{\Gamma v}$ в основном определяется координатой положения комбайна на конвейерном стае, принятым законом управления скоростью и для достаточно длинных конвейеров практически не зависит от мгновенных значений скорости. Тогда в соответствии с положениями теории вероятностей получим

$$\bar{N} = W_{о.хх} v_k + \bar{w}_{\Gamma} v_k; \quad (2)$$

$$\bar{N}_v = W_{о.хх} \bar{v} + \bar{w}_{\Gamma v} \bar{v}, \quad (3)$$

где \bar{w}_{Γ} , $\bar{w}_{\Gamma v}$ и \bar{v} – МОЖ случайных величин W_{Γ} и $W_{\Gamma v}$ и V .

Математическое ожидание скорости конвейера и коэффициенты машинного времени конвейера и ВМ на оси календарного времени:

$$\bar{v} = k'_{м.м} v_{ср} + v_k (1 - k'_{м.м}); \quad (4)$$

$$k_{M.K} = \bar{\tau}_{и.к} / (\bar{\tau}_{и.к} + \bar{\tau}_{п.к});$$

$$k_{M.M} = \bar{\tau}_{и.м} / (\bar{\tau}_{и.м} + \bar{\tau}_{п.м}),$$

где $k'_{M.M}$ – коэффициент машинного времени ВМ на оси машинного времени конвейера, из рис. 1 видно, что $k'_{M.M} = \bar{\tau}_{и.м} / (\bar{\tau}_{и.м} + \tau'_{п.м})$;

v_{cp} – МОЖ скорости конвейера на оси машинного времени комбайна;

$\bar{\tau}'_{п.м}$ – МОЖ случайной величины $\Theta'_{п.м}$;

$\bar{\tau}_{и.к}$, $\bar{\tau}_{п.к}$, $\bar{\tau}_{и.м}$ и $\bar{\tau}_{п.м}$ – МОЖ случайных величин $\Theta_{и.к}$, $\Theta_{п.к}$, $\Theta_{и.м}$ и $\Theta_{п.м}$.

Учитывая, что $\bar{\tau}_{и.к} + \bar{\tau}_{п.к} = \bar{\tau}_{и.м} + \bar{\tau}_{п.м}$ и $\bar{\tau}_{и.к} = \bar{\tau}_{и.м} + \bar{\tau}'_{п.м}$, из приведенных выражений получим $k'_{M.M} = k_{M.M} / k_{M.K}$.

В случае базового варианта (конвейер движется со скоростью v_k) при относительной длине заполненных грузом участков става $\delta = k'_{M.M}$

$$\bar{w}_Г = k'_{M.M} \bar{x} g(w \cos \beta \pm \sin \beta) m_q / v_k, \quad (5)$$

где \bar{x} – МОЖ координаты положения комбайна на стае конвейера относительно головной приводной станции, $\bar{x} = L/2$;

w – коэффициент сопротивления движению груза;

m_q – МОЖ непрерывного грузопотока.

При управлении скоростью относительная длина загруженных участков става $\delta_v = k'_{M.M} v_{cp} / \bar{v} = k'_{M.M} v_{cp} / [k'_{M.M} v_{cp} + v_k (1 - k'_{M.M})]$, тогда, учитывая, что средняя погонная масса груза на них $\rho_v = m_q / v_{cp}$, по аналогии с выражением (5) получим

$$\begin{aligned} \bar{w}_{Гv} &= \delta_v \bar{x} g(w \cos \beta \pm \sin \beta) m_q / v_k = \\ &= k'_{M.M} [k'_{M.M} v_{cp} + v_k (1 - k'_{M.M})]^{-1} \bar{x} g(w \cos \beta \pm \sin \beta) m_q / v_k. \end{aligned} \quad (6)$$

В частном случае при следящем режиме управления скоростью в выражении (6) принимается $v_{cp} = m_q / \rho_{доп}$.

Если в соответствии с результатами экспериментальных исследований [5] пренебречь влиянием скорости на коэффициенты сопротивления движению ТО и груза, то после подстановки полученных выше выражений \bar{v} , $\bar{w}_{Гv}$ и $\bar{w}_Г$ в $\bar{w}_Г v_k = \bar{w}_{Гv} \bar{v}$ получим тождество.

Тогда выражение (1) с учетом зависимостей (2)-(6) и $v_{cp} = m_q / \rho_{доп}$ представим в виде

$$k_s = a + b(m_q + c)^{-1}, \quad (7)$$

где $a=(1+\kappa'_{\text{М.М}}/v_{\text{к}}\rho_{\text{доп}}c_1)^{-1}$; $b=ac_1^{-1}[1-a(1-\kappa'_{\text{М.М}})]$; $c=ac_1^{-1}(1-\kappa'_{\text{М.М}})$ и $c_1=\kappa'_{\text{М.М}}(w\pm\text{tg}\beta)/4w_{\text{T}}\rho_{\text{T}}v_{\text{к}}$.

При ступенчатом управлении скоростью расчет \bar{v} и $\bar{w}_{\text{г}}$, как, впрочем, и непосредственное определение величин \bar{N} , $\bar{N}_{\text{в}}$, а затем $k_{\text{э}}$, целесообразно проводить методом статистических испытаний по методике, приведенной в работе [4].

В качестве примера приведем результаты расчета $k_{\text{э}}$, полученные для конвейера СПМ87Д, условия эксплуатации которого в высокопроизводительном очистном забое с суточной нагрузкой 2100 т отражены в работе [4]. При значениях $\bar{\tau}_{\text{и.М}}$, $\bar{\tau}_{\text{п.М}}$, равных, соответственно, 10^3 , $3,3 \cdot 10^2$ с, при $m_{\text{q}}=40$ кг/с и при неизменной скорости $v_{\text{к}}=1$ м/с получены значения $W_{\text{о.хх}}=36,72$ кН, $\bar{N}=63$ кВт, в случае непрерывного управления скоростью в следящем режиме при $\rho_{\text{доп}}=166$ кг/м – $\bar{v}=0,24$ м/с, $\bar{w}_{\text{г.в}}=109,6$ кН, $\bar{N}_{\text{в}}=35,1$ кВт, $k_{\text{э}}=1,79$. Для случая двухступенчатого управления при соотношениях скоростей 1:2 и 1:3 получены значения $k_{\text{э}}$, равные соответственно 1,42 и 1,67.

В качестве второго критерия примем [2]

$$k_{\text{к}} = T_{\text{к.а}} / T_{\text{к}}, \quad (8)$$

где $T_{\text{к}}$ и $T_{\text{к.а}}$ – ресурс рештаков или, что одно и то же, конвейера при поступлении реального грузопотока соответственно при базовой скорости и при адаптации конвейера в случае управления скоростью.

В работе [6] показано, что износ рештаков $\bar{x} = k_{\text{и}}vt$, где t – время; $k_{\text{и}}$ – коэффициент износа. Это также дает основание утверждать, что предельный износ рештаков, расположенных вблизи головной приводной станции и наиболее подверженных износу, пропорционален удельной, т.е. отнесенной к единице длины конвейера, работе сил трения на верхней ветви конвейера, которая может быть представлена в виде:

- в случае базовой скорости и поступления расчетного грузопотока

$$A=g(\rho_{\text{T}}w_{\text{T}}+\rho_{\text{доп}}w)v_{\text{к}}T_{\text{б}}\cos\beta; \quad (10)$$

- в случае базовой скорости и поступления реального грузопотока

$$A=g(\rho_{\text{T}}w_{\text{T}}v_{\text{к}}+\kappa'_{\text{М.М}}m_{\text{q}}w)T_{\text{к}}\cos\beta; \quad (11)$$

- в случае управления скоростью

$$A=g(\rho_{\text{T}}w_{\text{T}}+\kappa'_{\text{М.М}}m_{\text{q}}v_{\text{ср}}^{-1}w)vT_{\text{к.а}}\cos\beta, \quad (12)$$

где T_6 – ресурс конвейера (рештака) при базовой скорости и расчетном грузопотоке, $T_6=Q_p/60Q_{пр}$;

$Q_{пр}$ и Q_p – паспортные значения приемной способности конвейера и его ресурса по углю.

Из равенства правых частей выражений (10) и (11) получим

$$T_k=T_6v_k(\rho_T w_T + \rho_{доп} w)(\rho_T w_T v_k + k'_{м.м} m_q w)^{-1}.$$

Из равенства правых частей выражений (11) и (12) получим

$$k_k=T_{к.а}/T_k=(\rho_T w_T v_k + k'_{м.м} m_q w)(\rho_T w_T + k'_{м.м} m_q v_{ср}^{-1} w)^{-1} v^{-1}. \quad (13)$$

Для следящего режима управления скоростью выражение (13) с учетом (4) и равенства $v_{ср}=m_q/\rho_{доп}$ представляется в виде

$$k_k=(\rho_T w_T v_k + k'_{м.м} m_q w) \times \\ \times [k'_{м.м} \rho_{доп}^{-1} (\rho_T w_T + k'_{м.м} \rho_{доп} w) m_q + v_k (\rho_T w_T + k'_{м.м} \rho_{доп} w) (1 - k'_{м.м})]^{-1}.$$

Отсюда после несложных преобразований получим

$$k_k = T_{к.а} / T_k \quad a + b(m_q + c)^{-1}, \quad (14)$$

где $a=w\rho_{доп}/c_1$; $b=v_k\rho_{доп}[\rho_T w_T - w\rho_{доп}(1 - k'_{м.м})]/k'_{м.м}c_1$; $c=v_k\rho_{доп}(1 - k'_{м.м})/k'_{м.м}$ и $c_1=\rho_T w_T + k'_{м.м}\rho_{доп}w$.

Для рассматриваемого выше случая эксплуатации конвейера СПМ87Д $k_k=1,24$.

Третий критерий адаптации в рабочем режиме, характеризующий повышение долговечности ГО, представляется в виде

$$k_T=T_{т.а}/T_T, \quad (15)$$

где $T_{т.а}$ и T_T – средний ресурс (в дальнейшем – ресурс) цепей при износе шарниров по шагу соответственно адаптируемого и базового конвейеров.

Основываясь на положениях работы [6], представим T_T в виде

$$T_T = L\Delta t_{доп} / [1800\delta t_{ц} \alpha v (\bar{S}_1 + \bar{S}_2 + \bar{S}_3 + \bar{S}_4)], \quad (16)$$

где $\Delta t_{доп}$ – допустимое увеличение шага звена цепи при износе шарниров цепи;

$\delta t_{ц}$ – интенсивность износа шеек шарниров цепей при их взаимном повороте на звездочках;

α – угол взаимного поворота звеньев цепи при прохождении звездочек;

\bar{S}_i – средние значения натяжений S_i тягового органа в i -х точках тягового контура (см. рис. 1), $i=1\dots 4$.

Для определения S_i примем допущение о равномерном распределении груза по длине конвейера, тогда суммарное удлинение ТО конвейера определяется по формуле

$$\Delta=0,5LE^{-1}(S_1+S_2+S_3+S_4), \quad (17)$$

где E – продольная жесткость ТО.

В ТО одноприводного конвейера минимальное натяжение, как известно, образуется в точке 1 (рис. 1) тягового контура.

При нерегулируемом натяжении ТО его первоначальное натяжение осуществляется таким образом, чтобы при максимальной загрузке конвейера выполнялось условие $S_1 \approx S_{\min 3}$, где $S_{\min 3}$ – заданное минимальное натяжение.

Тогда, учитывая, что $S_2=S_1+W_{\Pi}$, $S_3 \approx S_2$, $S_4=S_3+W_{O \max}-W_{\Pi}$, где W_{Π} – сопротивление движению порожняковой ветви, а $W_{O \max}$ – максимальное значение W_O , из выражения (17) получим

$$\Delta=LE^{-1}(2S_{\min 3}+0,5W_{O \max}+W_{\Pi}). \quad (18)$$

Аналогично при любом другом значении W_O

$$\Delta=LE^{-1}(2S_1+0,5W_O+W_{\Pi}). \quad (19)$$

При неизменной длине тягового контура (нерегулируемое натяжение) суммарное удлинения ТО остается одинаковым при любой загрузке става, т.е. при любых значениях W_O .

Из равенства правых частей выражений (18) и (19) получим

$$S_1 = S_{\min 3} + 0,25(W_{O \max} - W_O).$$

Таким же образом определяются усилия в ТО двухприводного конвейера.

При одинаковой мощности головного и хвостового приводов, т.е. при равномерном распределении нагрузки между приводами, минимальное натяжение образуется в точке 3 контура. Тогда, полагая, что

при максимальной загрузке конвейера $S_3 = S_{\min 3}$, и учитывая, что $S_4 = S_3 + W_O - W_{\Pi}$, $S_1 = S_4 - 0,5W_O$ и $S_2 = S_1 + W_{\Pi}$, получим

$$S_3 = S_{\min 3} + 0,5(W_{O\max} - W_O).$$

При распределении нагрузки между головным и хвостовым приводами в соотношении 1:2, что обычно достигается в результате установки в головном приводе 2-х АД, а в хвостовом приводе 1-го АД одинаковой мощности, минимальное натяжение, как правило, также образуется в точке 3 контура.

Тогда, с учетом зависимостей: $S_4 = S_3 + W_O - W_{\Pi}$, $S_1 = S_4 - 2W_O/3$ и $S_2 = S_1 + W_{\Pi}$, получим

$$S_3 = S_{\min 3} + 5(W_{O\max} - W_O)/12.$$

При непрерывном регулировании в точке тягового контура с минимальным натяжением поддерживается $S_{\min 3}$.

Подставим в формулу (16) полученные усилия натяжения ТО.

Тогда в случае нерегулируемого натяжения и скорости получим значения ресурса:

- для одноприводного конвейера

$$T_{\tau} = L\Delta t_{\text{доп}} / [1800\delta t_{\text{ц}} \alpha v_{\text{к}} (4S_{\min 3} + W_{O\max} + 2W_{\Pi})];$$

- для двухприводного с распределением нагрузки между головным и хвостовым приводами в соотношении 1:1

$$T_{\tau} = L\Delta t_{\text{доп}} / [1800\delta t_{\text{ц}} \alpha v_{\text{к}} (4S_{\min 3} + 2W_{O\max} - 2W_{\Pi})];$$

- для двухприводного с распределением нагрузки между головным и хвостовым приводами в соотношении 2:1

$$T_{\tau} = L\Delta t_{\text{доп}} / [1800\delta t_{\text{ц}} \alpha v_{\text{к}} (4S_{\min 3} + 5W_{O\max}/3 - 2W_{\Pi})].$$

По этим же формулам определяется ресурс T_{τ} , а при управлении скоростью, если вместо $v_{\text{к}}$ подставить \bar{v} , и при регулировании натяжения, если вместо $W_{O\max}$ подставить среднее значение суммарного тягового усилия \bar{W}_O . Если одновременно производится управление скоро-

стью и регулирование натяжения, то подставляются \bar{v} и среднее значение суммарного тягового усилия \bar{W}_{O_v} при управлении скоростью.

Для одноприводного конвейера при одновременном управлении скоростью и регулировании натяжения ТО $k_T = v_K(4S_{\min 3} + W_{O_{\max}} + 2W_{\Pi}) / \bar{v}(4S_{\min 3} + \bar{W}_{O_v} + 2W_{\Pi})$, откуда с учетом выражений (4), (6), $\delta_v = k'_{M.M} v_{cp} / v$ и $\bar{W}_{O_v} = W_{O_{x.x}} + \bar{w}_{\Gamma_v}$ после несложных преобразований получим

$$k_T = b / (m_q + c), \quad (20)$$

где $b = v_K a_1 / k'_{M.M} a_3$; $c = v_K a_2 (1 - k'_{M.M}) / k'_{M.M} a_3$; $a_1 = 4S_{\min 3} + W_{O_{\max}} + 2W_{\Pi}$; $a_2 = 4S_{\min 3} + W_{O_{x.x}} + 2W_{\Pi}$; $a_3 = a_2 \rho_{\text{доп}}^{-1} + 0,5 Lg(w \cos \beta \pm \sin \beta)$.

Для конвейеров с двумя приводами критерий адаптации также определяется по формуле (20), причем при распределении нагрузки между ними в соотношении 1:1 принимается $a_1 = 4S_{\min 3} + 2W_{O_{\max}} - 2W_{\Pi}$ и $a_2 = 4S_{\min 3} + 2W_{O_{x.x}} - 2W_{\Pi}$, а при распределении нагрузки в соотношении 2:1 – $a_1 = 4S_{\min 3} + 5W_{O_{\max}} / 3 - 2W_{\Pi}$ и $a_2 = 4S_{\min 3} + 5W_{O_{x.x}} / 3 - 2W_{\Pi}$.

Если производится только управление скоростью, то аналогичным образом при $\bar{W}_{O_v} = W_{O_{\max}}$ получим

$$k_T = v_K / \bar{v}.$$

Отсюда с учетом выражений (4) и $v_{cp} = m_q / \rho_{\text{доп}}$ получим, что для следящего режима управления скоростью k_T также определяется по формуле (20), где $b = v_K \rho_{\text{доп}} / k'_{M.M}$, $c = b(1 - k'_{M.M})$.

Если производится только регулирование натяжения, то в выражении (20) следует принимать $b = a_1 v_K / 0,5 k'_{M.M} Lg(w \cos \beta \pm \sin \beta)$ и $c = a_2 v_K / 0,5 k'_{M.M} Lg(w \cos \beta \pm \sin \beta)$.

Для рассматриваемого выше типичного случая эксплуатации конвейера СПМ87Д значения T_T при $\Delta t_{\text{доп}} = 5$ мм и $\delta t_{\text{ц}} = 5,77 \cdot 10^{-8}$ мм/(кН·град·оборот) [6] равны 1400 ч (одноприводной конвейер), 920 ч (двухприводной с распределением нагрузки между приводами 1:1) и 1180 ч (двухприводной с распределением нагрузки между приводами 2:1), в случае управления скоростью $k_T = 4,1$; в случае регулирования натяжения k_T равно 1,87 (одноприводной конвейер), 2,8 (двухприводной с распределением нагрузки между приводами 1:1) и 2,94 (двухприводной с распределением нагрузки между приводами 2:1). В случае одновременного управления скоростью и регулирования натяжения $k_T = 7,8$ (одноприводной конвейер), 11,7 (двухприводной с распределением нагрузки между приводами 1:1) и 12,25 (двухприводной с распределением нагрузки между приводами 2:1).

Паспортным значениям ресурса по углю 700 тыс. т и приемной способности 10 т/мин конвейера соответствует базовый ресурс $T_6=1166$ ч. По формуле (13) $T_K=3985$ ч. Тогда, учитывая, что $k_K=1,24$, получим $T_{K.a}=k_K T_K=4940$ ч. В рассматриваемом случае регулирование натяжения ТО или управление скоростью позволяют снизить отношение величин $T_{K.a}$ и T_a , а следовательно и число замен ТО в процессе эксплуатации с 3-х до 2-х. При одновременном управлении скоростью и регулировании натяжения ресурс ТО значительно превысит ресурс конвейера.

Выводы и направление дальнейших исследований.

Из анализа формул (7), (14) и (20) следует, что критерии адаптации забойных скребковых конвейеров, отражающие уровень эффективности оперативного управления скоростью и/или регулирования натяжения тягового органа в рабочем режиме, являются функциями математического ожидания грузопотока, а графики функций – гиперболами.

Приведены зависимости критериев адаптации забойных скребковых конвейеров к реальным условиям эксплуатации в рабочем режиме от параметров грузопотока.

The dependences of adaptation criteria of mine scraper conveyors to real conditions of operation at management of speed and regulation of a tension of hauling apparatus from parameters of a freight traffic are presented.

Библиографический список.

1. Корнеев С.В. Концепция адаптации забойных скребковых конвейеров // *Наук. пр. ДонНТУ. Вип. 99. Серія: гірничо-електромеханічна. – Донецьк: ДонНТУ. – 2005. – С. 130-137.*

2. Корнеев С.В., Ширин Л.Н., Плетнев М.В. Адаптация шахтных скребковых конвейеров к условиям производства. – Луганск: Книжковий світ, 2005. – 264 с.

3. Краус Э.Г., Брейдо И.В. Выбор критериев оптимальности регулируемого электропривода забойных скребковых конвейеров // *Изв. вузов. Горный журнал. – 1983. – №8. – С. 67-70.*

4. Корнеев С.В. Оценка эффективности регулирования скорости забойных скребковых конвейеров // *Изв. вузов. Горный журнал. – 2003. – №5. – С. 66-71.*

5. Ленинг Д., Качи М.В. Вольф Х., Штраубель Д. Исследование коэффициента сопротивления движению цепи скребковых конвейеров // *Глюкауф. – 2002. – Август № 2(3). – С. 26-31.*

6. РТМ 12.44.012-76. Конвейеры шахтные скребковые. Пути обеспечения надежности на стадиях проектирования. Методика. – М.: Ин-т горн. дела им. А.А. Скочинского, 1976. – 174 с.

*к.т.н., доц. Денисенко В.П.,
аспирант Абакумова Е.В.,
к. т. н., доц. Лепило Н.Н.,
(ДонГТУ, Алчевск, Украина)*

**ОБОСНОВАНИЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ
ЗАКОНА РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ВЕЙБУЛЛА
ДЛЯ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПРОЦЕССА МЕТАНОВЫДЕЛЕНИЯ
ДОБЫЧНЫХ УЧАСТКОВ ШАХТ**

Обґрунтовано застосування розподілу Вейбула для підвищення точності опису процесу метановиділення у виробки видобувної ділянки. Розроблено спосіб визначення коефіцієнтів цього розподілу, виконана перевірка відповідності обраної моделі розподілу фактичним даним за допомогою критерію Пірсона.

Проблема и ее связь с научными и практическими задачами.

Основные запасы угля в пределах горных отводов шахт Донбасса характеризуются высокой природной метаноносностью угольных пластов. Значительные объемы выделения метана при этом являются одним из факторов, который ухудшает безопасность ведения горных работ и сдерживает эффективное использование новой техники. На процесс газовыделения влияет много факторов, что затрудняет его аналитическое описание и приводит к необходимости использования статистических методов на основании обработки фактических данных о выделении метана. При использовании этих методов важно выбрать закон распределения, исходя из физической природы процесса и имеющихся фактических данных об изменении дебита метана, адекватно описывающий статистику процесса, особенно в области его высоких значений.

Анализ исследований и публикаций. В литературе [1-3] отмечается, что процесс метановыделения из углепородного массива в выработки добычных участков угольных шахт носит случайный характер, поэтому необходимо использовать теорию случайных процессов при его исследовании. Для характеристики процесса метановыделения исследователи применяют нормальный и логарифмически нормальный законы распределения, хотя рассчитанные по экспериментальным данным статистические характеристики зачастую свидетельствуют об отклонении от этих законов [4].

Многочисленными исследователями и опытом ведения горных работ установлено, что процесс изменения метановыделения в основном зависит от изменения напряженно-деформированного состояния углепородной толщи и геологических условий ведения горных работ [5-7]. Интенсивность метановыделения зависит от интенсивности разрушения углепородного массива и в основном имеет асимметричное распределение [1].

В работе [8] нами было предложено использовать распределение Вейбулла для описания процесса метановыделения в выработки добычного участка и приведен один из вариантов подбора его коэффициентов. Применение закона распределения Вейбулла для описания процесса газовой выделении в скважины из подработанного углепородного массива в зависимости от расстояния до очистного забоя предложено в работе [9].

Постановка задачи. Целью данной работы являлось обоснование применения распределения Вейбулла для повышения точности описания процесса метановыделения в выработки добычного участка.

В задачи исследования входило:

- проанализировать существующие законы распределения для непрерывных случайных величин, к которым относится процесс метановыделения;
- разработать способ определения коэффициентов этого распределения;
- выполнить проверку соответствия выбранной модели распределения исходным данным с помощью статистических критериев.

Изложение материала и его результаты. В таблице 1 представлены основные непрерывные распределения и дана их краткая характеристика [10-11].

Широкое использование нормального распределения для многих физических явлений объясняется тем, что в соответствии с центральной предельной теоремой распределение среднего ряда наблюдений стремится к нормальному независимо от формы исходного распределения. Однако газонасыщенным углепородным массивам присущи как естественная трещиноватость, так и техногенная. От раскрытия трещин зависит интенсивность выделения метана. При пересечении трещиноватых зон, осадках кровли, прорывах метана из почвы наблюдаются кратковременные, интенсивные всплески газовой выделении.

Таблица 1 – Краткая характеристика основных непрерывных распределений

Закон распределения	Уравнение плотности распределения	Параметры распределения	Возможное применение
нормальный	$f(x) = \frac{1}{\sigma \cdot \sqrt{2\pi}} \cdot \exp\left[-\frac{(x - \mu)^2}{2\sigma^2}\right]$	μ – среднее значение (параметр положения); σ – стандартное отклонение (параметр формы)	Основное распределение математической статистики
экспоненциальный	$f(x) = \lambda \cdot \exp(-\lambda x)$	λ – параметр распределения, имеет смысл интенсивности отказа	Распределение времени между независимыми событиями, появляющимися с постоянной интенсивностью. Например, распределение времени безотказной работы системы при постоянной интенсивности отказов
гамма	$f(x) = \frac{1}{b \cdot \Gamma(c)} \cdot \left(\frac{x}{b}\right)^{c-1} \cdot \exp\left[-\frac{x}{b}\right]$	b – параметр масштаба; c – параметр формы	Для случайных величин, ограниченных с одной стороны. Описывает время, необходимое для появления определенного числа независимых событий при условии их появления с постоянной интенсивностью. Например, распределение времени безотказной работы системы с резервными компонентами, между моментами пополнения запасов и т.п.

Продолжение таблицы 1

бета	$f(x) = \frac{\Gamma(a+b)}{\Gamma(a) \cdot \Gamma(b)} \cdot x^{a-1} \cdot (1-x)^{b-1}$	<p>a и b – параметры формы. При $a = b$ распределение симметричное</p>	<p>Для случайных величин, ограниченных с обеих сторон. Применяется во многих областях, например для распределения доли совокупности, заключенной между наименьшим и наибольшим значениями выборки.</p>
логарифмически нормальный	$f(x) = \frac{1}{cx\sqrt{2\pi}} \cdot \exp\left\{-\frac{\left[\ln\left(\frac{x}{b}\right)\right]^2}{2c^2}\right\}$	<p>b – параметр масштаба; c – параметр формы</p>	<p>Позволяет описать процессы, логарифм которых распределен по нормальному закону. Например, распределение размеров кусков породы при ее дроблении, распределение размера дохода и т.п.</p>
Вейбулла	$f(x) = \frac{m}{\eta} \cdot \left(\frac{x-x_0}{\eta}\right)^{m-1} \cdot \exp\left[-\left(\frac{x-x_0}{\eta}\right)^m\right]$	<p>x_0 – параметр положения; η – параметр масштаба; m – параметр формы</p>	<p>Характеризует распределение времени между независимыми событиями, появляющимися с любой интенсивностью. Например, разрушение материалов под влиянием микродефектов, коэффициент устойчивости подземных сооружений и т.п.</p>

Это означает, что не выполняется основное требование, предъявляемое к выборке при нормальном законе распределения – равенство шансов для всех элементов генеральной совокупности попасть в выборку. Часто исследователи отмечают, что положительные отклонения в изменении метановыделения преобладают над отрицательными, поэтому закон нормального распределения имеет ограниченную область применения при описании процесса выделения метана из участков, лав и выработанного пространства: при коэффициенте вариации не выше 0,33 и асимметрии, находящейся в интервале от -0,25 до 0,25 [12].

Поскольку при разрушении газонасыщенных угленосных пород наблюдаются кратковременные всплески в области высоких значений, причем разной интенсивности, экспоненциальное, гамма- и бета-распределения не могут адекватно описывать процесс метановыделения.

Логарифмически нормальное распределение применимо, когда наблюдаемое значение случайной величины составляет случайную долю ранее наблюдаемого значения. Это распределение подходит лучше всех ранее рассмотренных для описания процесса метановыделения с учетом физики процесса, так как можно принять, что количество выделяющегося метана составляет случайную долю от его общего количества, определяемого газоносностью пласта. В работе [3] при создании имитационной модели процесса изменения концентрации метана на выемочном участке принято, что случайная часть процесса имеет логарифмически нормальное распределение. Однако проведенный анализ фактических данных свидетельствует об отклонении от этого закона [4].

Распределение Вейбулла удобно для прикладных задач, поскольку позволяет аппроксимировать широкий диапазон эмпирических зависимостей, в том числе и приближающихся к нормальному закону. Обработка фактических данных о метановыделении добычных участков шахт Донбасса показала, что изменение дебита метана (I) в горных выработках удовлетворительно характеризуется трехпараметрическим распределением Вейбулла [8], функция $F(I)$ и плотность $f(I)$ которого описываются уравнениями [13]

$$F(I) = 1 - \exp \left[- \left(\frac{I - I_0}{\eta} \right)^m \right]; \quad (1)$$

$$f(I) = \frac{m}{\eta} \cdot \left(\frac{I - I_0}{\eta} \right)^{m-1} \cdot \exp \left[- \left(\frac{I - I_0}{\eta} \right)^m \right], \quad (2)$$

где I_0 – параметр положения, численно равный минимально возможному дебиту метана, причем $I > I_0$;

η – параметр масштаба;

m – параметр формы, определяющий форму кривой.

Чтобы воспользоваться распределением Вейбулла для математического описания процесса выделения метана, необходимо по имеющимся фактическим данным изменения дебита метана I определить параметры распределения. Основными методами получения оценок неизвестных параметров распределений, используемых на практике, являются методы моментов и максимального правдоподобия [11].

В работе [8] на основе метода моментов предложен следующий способ оценки параметров распределения Вейбулла: для параметра положения (I_0) задается наименьшее значение дебита метана за исследуемый временной период, а параметры масштаба (η) и формы (m) определяются на основе двух первых моментов (из соотношений для определения среднего и дисперсии путем решения полученной системы уравнений численным путем).

Если считать неизвестными все три параметра распределения, можно взять за основу их определения 3 первых момента [11]. Тогда параметр m можно определить из соотношения для расчета коэффициента асимметрии

$$\gamma = \frac{\Gamma\left(1 + \frac{3}{m}\right) - 3\Gamma\left(1 + \frac{2}{m}\right) \cdot \Gamma\left(1 + \frac{1}{m}\right) + 2\Gamma^3\left(1 + \frac{1}{m}\right)}{\left[\Gamma\left(1 + \frac{2}{m}\right) - \Gamma^2\left(1 + \frac{1}{m}\right)\right]^{3/2}}, \quad (3)$$

где Γ – гамма-функция.

Для этого в левую часть выражения (3) необходимо подставить значение коэффициента асимметрии, полученное на основании обработки фактических данных за исследуемый период. Однако полученное уравнение не может быть решено аналитически относительно m , поэтому оно решается численным путем. Практически параметр m находится методом итераций с использованием инструмента Excel Подбор параметра. Для этого вначале задаем начальным значением параметра m , затем определяем γ по формуле (3). Полученное расчетное значение γ сравнивается со значением коэффициента асимметрии, полученным на основании обработки фактических данных за исследуемый период. Рас-

чет повторяется до совпадения расчетного и фактического значений коэффициента асимметрии с заданной точностью (обычно 0,001).

Для определения параметра масштаба можно воспользоваться соотношением для расчета дисперсии

$$D = \eta^2 \cdot \left[\Gamma\left(1 + \frac{2}{m}\right) - \Gamma^2\left(1 + \frac{1}{m}\right) \right]. \quad (4)$$

Для этого в левую часть выражения (4) подставляется значение стандартного отклонения $\delta = \sqrt{D}$, полученного на основании обработки фактических данных за исследуемый период. Тогда из уравнения (4) получим

$$\eta = \frac{\delta}{\sqrt{\left[\Gamma\left(1 + \frac{2}{m}\right) - \Gamma^2\left(1 + \frac{1}{m}\right) \right]}} \quad (5)$$

Для определения параметра формы используется соотношение для расчета среднего арифметического

$$M = I_0 + \eta \cdot \Gamma\left(1 + \frac{1}{m}\right). \quad (6)$$

Для этого в него вместо математического ожидания подставляется среднее значение дебита метана I_{cp} , полученное на основании обработки фактических данных за исследуемый период. Тогда из уравнения (6) получим

$$I_0 = I_{cp} - \eta \cdot \Gamma\left(1 + \frac{1}{m}\right) \quad (7)$$

Эта методика подбора коэффициентов опробована на фактических данных для участка 35-ой Западной лавы пласта i_3^1 шахты «Суходольская-Восточная». Полученные значения параметров распределения приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Значения параметров распределения Вейбулла для данных об изменении дебита метана

Обозначение параметра	I_0	η	m
Значение параметра	2,83	3,08	1,59

После подстановки в выражение (1) определенных параметров распределения Вейбулла получим выражение, позволяющее определить долю метановыделения, величина которого не превышает I . Так, функция распределения дебита метана для 35-ой западной лавы шахты «Суходольская-Восточная» примет вид

$$F(I) = \begin{cases} 1 - \exp\left[-\left(\frac{I - 2,83}{3,08}\right)^{1,59}\right] & \text{при } I > 2,83; \\ 0 & \text{при } I \leq 2,83 \end{cases} \quad (8)$$

Выполнена проверка гипотезы о совпадении между эмпирическими (экспериментальными) частотами изменения дебита метана и теоретическими (контрольными) частотами, рассчитанными по распределению Вейбулла, с помощью критерия согласия χ^2 Пирсона [13]. Критическое значение критерия χ^2 определялось при обычно используемом уровне значимости $\alpha=0,05$ и числе степеней свободы

$$m = n - l - 1,$$

где n – число интервалов;

l – число параметров в законе распределения.

Расчетное значение критерия χ^2 составило 6,60, что существенно меньше критического значения 11,07 при $m = 5$ (9 интервалов, 3 параметра в законе распределения), что подтверждает приемлемость использования закона распределения Вейбулла для описания статистических характеристик процесса метановыделения.

Если использовать нормальный закон распределения, расчетное значение критерия χ^2 составит 45,78, что значительно превышает уровень критического значения 12,59 (те же условия, но $m=6$, так как 2 параметра в законе распределения) и свидетельствует о наличии существенных расхождений между эмпирическим и теоретическим распределениями.

Однако в некоторых случаях подбор коэффициентов по методу моментов дает не столь эффективные результаты. Как отмечается в [11], метод максимального правдоподобия также необязательно дает лучшие оценки для выборок конечного объема, так как этот метод не использует заключенную в данных информацию наилучшим образом.

Для определения параметров масштаба и формы можно использовать регрессию. Дважды прологарифмировав уравнение (1), получим:

$$\left(\frac{I - I_0}{\eta}\right)^m = \ln \frac{1}{1 - F(I)}, \quad (9)$$

$$m \cdot \ln(I - I_0) - m \cdot \ln \eta = \ln \left[\ln \frac{1}{1 - F(I)} \right] \quad (10)$$

Используя соотношение (10), строим уравнение регрессии в логарифмических координатах. Угловой коэффициент полученной прямой соответствует значению параметра формы m . Параметр масштаба вычисляется из соотношения

$$\eta = \exp\left(-\frac{a}{m}\right),$$

где a – значение отрезка, отсекаемого уравнением регрессии на оси ординат.

Для параметра положения принимается наименьшее значение дебита метана за исследуемый временной период. Полученные таким способом коэффициенты затем уточняются, исходя из требований минимизации расчетного значения критерия χ^2 .

Выводы.

Установлено, что процесс метановыделения наиболее адекватно описывается законом распределения Вейбулла. Предложен способ уточнения коэффициентов этого распределения, исходя из требований минимизации расчетного значения критерия Пирсона. Проверка с помощью критерия Пирсона подтвердила соответствие выбранной модели распределения фактическим данным.

Обосновано применение распределения Вейбулла для повышения точности описания процесса метановыделения в выработки добычного участка. Разработан способ определения коэффициентов этого распределения, выполнена проверка соответствия выбранной модели распределения фактическим данным с помощью критерия Пирсона.

The application of Veybull distribution for increasing the preciseness of methane secretion process description to mining extraction area is grounded. The method of coefficient definition of this distribution is worked out. The examination of the chosen model of distribution correspondence to the facts with the help of Pirson's criterion is executed.

Библиографический список.

1. Пигида Г.Л. *Элементы теории автоматической газовой защиты очистных участков угольных шахт*/ Г.Л. Пигида. – М.: Недра, 1975. – 80 с.
2. Бусыгин К.К. *Колебания концентраций метана в исходящих вентиляционных струях лав и участков*// Труды / МакННИИ. – М., 1969. – Т. XX: *Вопросы безопасности в угольных шахтах.* – С. 3-12.
3. Иванов Ю.А. *Имитационная модель процесса изменения концентрации метана на выемочном участке*/ Ю.А. Иванов // *Способы и средства создания безопасных условий труда в шахтах.* – Макеевка, 1984. – С. 135-141.
4. Иванов Ю.А. *Математическая модель и методы экстраполяции изменения содержания метана на выемочных участках*/ Ю.А. Иванов // *Матеріали міжнародної конференції "Форум гірників - 2007".* – Дніпропетровськ: Національний гірничий університет, 2007. – Т. 1. – С. 92-100.
5. *Прогнозирование нарушенности подработанного массива и зон скопления метана акустическим методом*/ В.А. Баранов, П.С. Пащенко, Б.В. Бокій, Д.П. Гуня// *Матеріали міжнародної конференції "Форум гірників - 2005".* – Дніпропетровськ: Національний гірничий університет, 2005. – Т. 1. – С. 62-65.
6. *Сдвигение массива горных пород и влияние скорости подвигания очистного забоя на выделение метана*/ М.С. Четверик, Е.В. Андрощук, Е.А. Бубнова, Г.Ф. Гаврюк// *Сб. науч. трудов/ Национальный горный университет, 2003.* – № 16. – С. 42-53.
7. *Экспериментально-аналитический метод прогноза направлений и интенсивности газовых потоков*/ А.Ф. Булат [и др.]// *Геотехническая механика: Межвед. сб. научн. трудов/ Институт геотехнической механики НАН Украины.* – Днепропетровск. – 2005. – Вып. 59. – С. 10-21.
8. *Денисенко В.П. О статистических характеристиках процессов выделения метана из выработок добычного участка*/ В.П. Денисенко, Н.Н. Лепило, Г.А. Склярова// *Алчевск.* – 2007. – С. 88-98.
9. *Бокій Б.В. Фізико-технічні основи управління газовиділенням на виїмальних ділянках високопродуктивних вугільних шахт: автореф. дис. ...док. техн. наук : 05.15.02 : захищена 28.09.07* / Бокій Борис Всеволодович; *Ин-т геотехнічної механіки.* – Дніпропетровськ, 2007. – 33 с.
10. Хан Г. *Статистические модели в инженерных задачах*/ Г. Хан, С. Шатино. – М.: Мир, 1969. – 395 с.
11. *Петрович М.Л. Статистическое оценивание и проверка гипотез на ЭВМ*/ М.Л. Петрович, М.И. Давидович. – М.: Финансы и статистика, 1989. – 191 с.
12. *Скобенко А.В. Обоснование применения распределения Вейбулла для вероятностной оценки устойчивости подземных выработок*/ А.В. Скобенко // *Науковий вісник НГА України.* –1998. – №3. – С. 18-19.
13. *Мюллер П. Таблицы по математической статистике*/ П. Мюллер, П. Нойман, Р. Шторм. – М.: Финансы и статистика, 1982. – 278 с.

*к.т.н., Князьков О.В.,
к.т.н., доц. Аверин Г.А.,
магистр Болотов А.П.
(ДонГТУ, г. Алчевск, Украина)*

ИЗМЕНЕНИЕ ПОЛОЖЕНИЯ ЛИНИИ ОЧИСТНОГО ЗАБОЯ В ПРОСТРАНСТВЕ КАК МЕТОД ПЕРВИЧНОЙ ПОСАДКИ ТРУДНООБРУШАЕМОЙ КРОВЛИ

Математичним моделюванням з використанням методу кінцевих елементів встановлено зони руйнування важкообвалювальної покрівлі при розвороті лінії очисного вибою та отримано залежності, що дозволяють визначати рубежі відходу лав.

В начальный период отработки выемочного столба, согласно [1] необходимо разрабатывать мероприятия до первичной посадки кровли, особенно при труднообрушаемых. При категориях A_3 и A_4 по классификации ДонУГИ [2], необходимо использовать частичную закладку выработанного пространства или частичное обрушение пород, которые возможно применять только при использовании индивидуальной крепи. Полное обрушение применяется при использовании механизированных крепей с повышенной несущей способностью (типа КД90Т, МТ и др.). Однако нередко в призабойном пространстве механизированных лав, особенно при первичной посадке труднообрушающейся кровли, возникают аварийные ситуации. Изменение положения линии очистного забоя комплексно-механизированной лавы в пространстве влияет на характер и интенсивность первичной посадки труднообрушающейся кровли. Как показывает опыт управления кровлей [3], при этом достигается неравномерное по площади её обнажения обрушение в выработанном пространстве.

Отрабатывая пласт h_8 , шахтами ГП "Ровенькиантрацит", в начальный период подвигания лав возникают проблемы по первичной посадке труднообрушаемой кровли полным обрушением. Пласт h_8 представлен двумя пачками угля мощностью соответственно 0,86 и 0,37м и прослойкой аргиллита 0,1м. Вынимаемая мощность пласта составляет 1,5м с учетом выемки "ложной" кровли. Глубина отработки угольного пласта h_8 составляет 965м. Нижний слой кровли представлен песчаником мощностью 8,2-12,3м и крепостью по шкале проф. М.М. Протодяконова 14. Выше так же залегает песчаник мощностью 3,0-18,0м и крепостью 12.

Верхний слой почвы представлен алевролитом мощностью 1,4-4,0м и крепостью 8.

На основании вышеуказанных горно-геологических условий отработки пласта h_8 , разработана, с использованием метода конечных элементов, объемная математическая модель. Она охватывает обширную область породного массива, учитывая условия залегания и структурно-механические свойства вмещающих угольный пласт пород.

Ширина, длина и высота области охвата массива моделью составляет соответственно 960, 310 и 567,5м. Длина очистного забоя составляет 200м. Моделируемая объёмная область рассматриваемого массива с удалением от угольного пласта, в вертикальном, поперечном и продольном направлениях разбивалась на параллелепипеды с размерами сторон от 1,5 до 50м. Для повышения точности расчета напряженно-деформируемого состояния элементов схемы, предусматривалось создание условий детализации различных частей модели, приближенных к ее активным зонам. Сверху модель пригружена весом равным 17,5 МПа, что позволило получить давление на уровне угольного пласта, соответствующее глубине 965м. Нижняя граница расчетной схемы расположена под пластом на удалении 232,5м и жестко закреплена от перемещений во всех направлениях, а боковые границы имеют одну степень свободы в вертикальном направлении перемещения и жестко закреплены в горизонтальном. По результатам расчета математической модели установлены зоны разрушения первичной посадки кровли, представленные на рис. 1.

При моделировании отхода лавы от разрезной печи до 50м, первое обрушение кровли не происходит. Увеличение этого расстояния приводит к первичной осадки кровли по всей длине лавы, что соответствует [2]. Из этого следует, что на первом этапе управления кровлей можно не изменять положение линии очистного забоя от разрезной печи до половины шага ($Ш_0$) ожидаемого обрушения

$$l_{om1} = Ш_0 / 2, м \quad (1)$$

При отходе лавы от рубежа 1 (см. рис.1) равного l_{om1} необходимо изменить положение линии очистного забоя в пространстве на угол его разворота γ . Результатами моделирования установлено, что при опережении нижней части лавы по сравнению с верхней на 12, 24 и 36м при угле разворота равным $3,5^\circ$, 7° и $10,5^\circ$ первичное обрушение кровли происходит от откаточного штрека в глубь лавы соответственно на 70, 130 и 150м. При угле развороте линии очистного забоя свыше $10,5^\circ$ обрушение пород не распространяется по длине лавы, а увеличивается

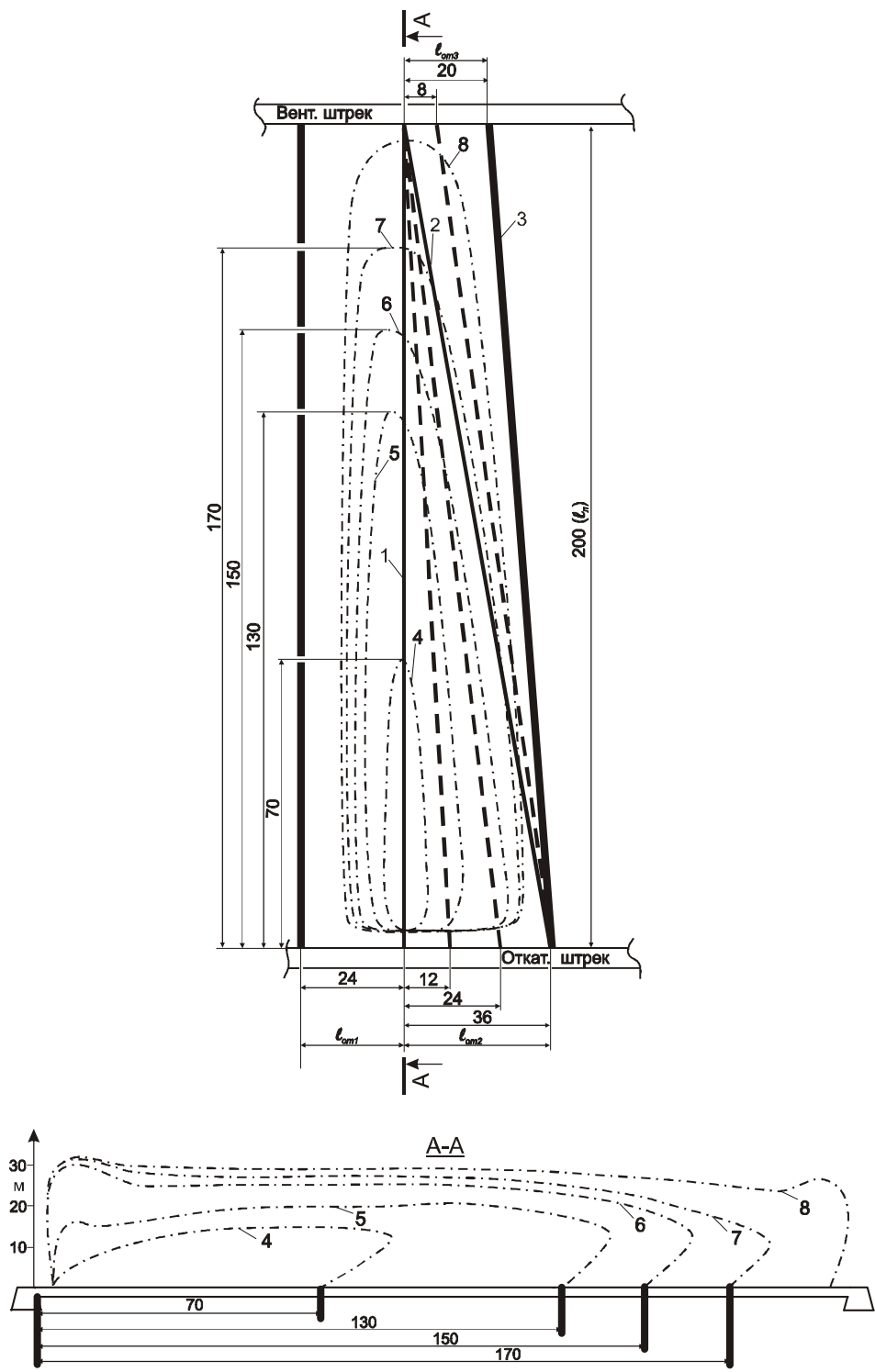


Рисунок 1 – Зоны разрушения труднообрушаемой кровли при развороте лавы: 1, 2 и 3 – соответственно рубеж равный l_{om1} , l_{om2} и l_{om3} ; 4, 5 и 6 – изолинии зон разрушения при опережении лавы по откаточному штреку на 12, 24 и 36м; 7 и 8 изолинии зон разрушения при отходе лавы от первого рубежа по вентиляционному штреку на 8 и 20м по подвиганию лавы.

Приведенные результаты, позволили установить эмпирическую зависимость второго рубежа 2 (см. рис.1) управления кровлей на участке равном l_{om2} с коэффициентом аппроксимации $R^2=0,96$

$$l_{om2}=0,04 \cdot (0,75 \cdot l_n)^{1,35}, \text{ м} \quad (2)$$

Далее при общем отходе лавы от разрезной печи в нижней ее части на 60м разработаны модели, при которых подвигание очистного забоя осуществлялось в верхней ее части при отходе от рубежа первого этапа на 8 и 20м. При отходе на 20м обрушение пород кровли произошло по всей длине лавы (см. рис.1). Следовательно, рубеж третьего этапа 3 равный l_{om3} наступит при

$$l_{om3}=51,4 \ln(l_n) - 252, \text{ м} \quad (3)$$

Коэффициент аппроксимации полученной зависимости составил $R^2=0,96$.

Однако возможен способ первичной посадки кровли, исключаящий первый этап. Непосредственный разворот лавы, возможно, осуществлять при отходе от разрезной печи на рубеж l_{om2} , определяемый по зависимости (2), с последующим определением следующего рубежа l_{om3} по зависимости (3).

Выводы.

Математическое моделирование с использованием метода конечных элементов позволило установить зоны поэтапной первичной посадки кровли при изменении положения линии очистного забоя в пространстве.

Установлены эмпирические зависимости определения рубежей положения линии очистного забоя при первичной посадке кровли по участкам, что позволяет избежать трудоемких процессов по ее разупрочнению и возникающих с этим аварийных ситуаций в лаве.

По полученным зависимостям рекомендуется определять величину отхода лавы от разрезной печи и опережения одним концевым участком другого при управлении первичной посадкой труднообрушаемой кровли полным обрушением.

Математическим моделированием с использованием метода конечных элементов установлены зоны разрушения труднообрушающейся кровли при развороте линии очистного забоя и получены зависимости позволяющие определять рубежи отхода лав.

Mathematical modeling with use of a method of final elements establishes zones of destruction of a roof at a turn of a line of clearing development and dependences allowing are received to calculate boundaries of promoting of lavas.

Библиографический список.

1. *Правила безпеки у вугільних шахтах. НПАОП 10.0 – 1.01-05. Затв. наказом Держкомохоронпраці України від 16.11.2004, № 257. – Київ, 2005. – 400 с.*

2. *Управление кровлей и крепление в очистных забоях на угольных пластах с углом падения до 35⁰. Руководящий нормативный документ госдепартамента УП Минтопэнерго Украины КД 12.01.01.503-2001. Киев, 2002. – 143 с.*

3. *Борzych А.Ф. Первичная посадка кровли в длинной лаве // Уголь Украины, 1968. – № 1. – с. 14-15.*

*к.т.н, доц. Подлипенская Л.Е.
ассистент Долгопятенко С.И.
(ДонГТУ, г. Алчевск, Украина)*

МЕТОДИКА ГИБРИДНОГО ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ДИНАМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ГОРНОГО ПРОИЗВОДСТВА

Побудована методика гібридного прогнозування динамічних процесів, яка дозволяє здійснювати комплексні дослідження показників гірничого виробництва.

Проблема и ее связь с научными и практическими задачами.

Горное производство характеризуется множеством показателей, каждый из которых, как правило, описывает конкретную характеристику производства в определенный момент времени и в фиксированной точке пространства. Совокупность большого количества статистических данных, накопленных за многие годы, является источником дополнительной, гораздо более ценной информации о закономерностях, тенденциях и взаимозависимостях между факторами. При этом возникают вопросы: проводился ли когнитивный (от англ. “cognition” – познание) анализ накопленной информационной базы горного производства? Как наиболее эффективно обработать эмпирические данные и обнаружить в них новые знания, ранее неизвестные, нетривиальные, практически полезные и доступные для интерпретации? Какого вида прогнозы могут иметь наибольшую ценность в условиях горного производства? Ответы на поставленные вопросы позволят сформировать иное отношение как к накапливаемым данным, так и к самому понятию прогнозирования и расширить область применения статистических выводов и прогнозов. Поэтому создание на основе современных методов математического моделирования технологии обнаружения и выделения в “сырых” данных особенностей, повторяющихся явлений, скрытых аномалий и закономерностей, обусловленных процессами, происходящими при разработке угольных месторождений, является важной актуальной проблемой горной науки.

Анализ исследований и публикаций. Статистические исследования показателей процессов подземных горных работ выполнялись многими исследователями. Как правило, изучению подвергался такой набор факторов, который отражал определенную сторону горного производства, при этом игнорировались показатели, имеющие, на первый взгляд, косвенное отношение к решаемой проблеме. Статистическая информация изучалась с учетом решения определенной задачи, в то

время как работы за последние годы в области моделирования и прогнозирования свидетельствуют о необходимости широкого охвата данных с использованием новых методов математической обработки. Современные научные подходы к построению комплексной оценки и прогноза показателей не возможны без применения системного подхода, который представляет собой совокупность методов и средств, позволяющих исследовать свойства, структуру и функции объектов, явлений или процессов в целом, представив их в качестве систем со всеми сложными межэлементными связями. Особенно это касается показателей безопасности ведения подземных работ, которые отслеживаются разобщенно, в то время как они характеризуют единое динамическое явление и должны изучаться комплексно в одной системе.

Наиболее целесообразным математическим аппаратом для изучения подобных систем является когнитивное моделирование. Когнитивное моделирование – это способ анализа, обеспечивающий определение силы и направления влияния факторов на перевод объекта управления в целевое состояние с учетом сходства и различия во влиянии различных факторов [1].

Таким образом, имеются предпосылки для использования современных технологий анализа статистических данных и адаптации их к условиям прогнозирования ряда показателей и ситуаций в горном производстве. Предлагается использовать определенную комбинацию методов исследования, применяя гибридный принцип в моделировании и гибридный метод прогнозирования в формировании концепции понимания глубины использования полученных моделей и прогнозов.

Постановка задачи. Задачей данной работы является создание методики гибридного прогнозирования динамических показателей подземных горных работ.

Изложение материала и его результаты. В основе разработанной методики лежат новые положения и понятия математического моделирования, которые сводятся к следующему.

Гибридное прогнозирование.

Прогнозирование всегда базируется на прошлой информации. Прошлое является источником детализированной информации. Будущее ведет себя наоборот: оно не дает нам доступной конкретной информации, но зато не скрывает обобщенной информации, являющейся смысловым контекстом грядущего.

Под спектром информации понимается степень ее детализации. Чем более детализирована и конкретна информация, тем более она локальна, тем более самостоятельный, независимый “кусочек жизни” она описывает. И, напротив, чем более информация обобщена, тем более широкий смысл она несет, тем больше сторон “жизни” она охватывает.

На основании информации строятся прогнозы, которые также можно разделить на детализованные и обобщенные. Например, утверждение: “если в лаве не будет работ по выемке пласта, то метановыделение уменьшится” – это обобщенный прогноз, а “средняя метанобильность на исходящей участка завтра составит 12,3 м³/мин” – это конкретный прогноз.

Первый тип прогнозов довольно банален, а второй тип является конкретным, хотя, скорее всего, маловероятен. Если планировать будущее, опираясь на конкретные прогнозы, уверенность в которых лишает предусмотрительности и осторожности, то подобные действия могут привести к трагическим (особенно в условиях горного производства) ошибкам, причем более тяжелым, чем при отсутствии такой “точной” информации. Конкретный прогноз может быть весьма ненадежным, а обобщенный прогноз – тривиальным. Между детализованной, трудной и опасной для прогнозирования информацией и обобщенной, контекстной и легко доступной, но недостаточной для конкретного планирования информацией, лежит область “гибридной информации”. Она обладает несколькими свойствами, которые делают ее наиболее привлекательной для решения задач прогнозирования. Пусть с одной стороны эта информация не так конкретна, как детальная числовая, но зато она обладает и свойствами обобщенной, контекстной информации – она содержит в себе смысл, содержательный контекст. Руководствуясь гибридной информацией, можно делать осмысленной подготовку к будущему, поскольку такая информация, оставляет некоторую свободу, указывает направление, а не конкретные, детализованные шаги.

Детализованная информация не переступает границы настоящего, будущее сохраняет свою неопределенность в деталях. Гибридная информация охватывает и прошлое и будущее, в виде устойчивых смысловых конфигураций проникает сквозь время. Именно на их основе возможно надежное прогнозирование.

Термины гибридного прогнозирования взяты из интромаркетинга [2], в дальнейшем дополнены и модифицированы с учетом решаемой проблемы.

▪ **Гибриды.**

Гибридная информация отражается в виде устойчивых во времени (или по иному независимому признаку) конфигураций сил, событий, фактов – гибридов. При этом гибрид не зависит от конкретных событий и фактов, скорее он проявляется через них. Он разворачиваются во времени, формируя поток событий. Различные гибриды приводят к различным прогнозируемым последовательностям событий, так что один из способов его идентификации – описание в виде соответствующей последова-

тельности событий. Использование нескольких гибридов позволит сделать прогноз более детальным и при этом достаточно надежным.

▪ ***Знаковая и аморфная информация.***

Вводится разбиение информации на знаковую и аморфную. Знаковая информация влияет на краткосрочные, частные, тактические факторы. Это так называемая "фактическая" информация, представляемая в виде цифр и фактов. Особенность знаковой информации – оторванность от контекста, в котором она возникает.

Аморфная информация влияет на долгосрочные, комплексные, стратегические факторы в системе. Аморфная информация характеризует комплексные свойства ситуации и глубоко привязана к своему контексту. При соответствующей обработке данных из знаковой информации можно извлечь аморфную.

▪ ***Каналы распространения информации.***

Каждый тип информации распространяется по специфическим для своего типа каналам. Знаковая информация может претерпевать изменения, проходя по своим каналам, которые преобразуют входную информацию в более формализованный вид, структурируют ее и приближают к аморфной информации.

Наряду с явными каналами движения информации в ней всегда существуют скрытые, аморфные каналы, которые обычно находятся вне зоны контроля. Эти каналы невозможно устранить, и поэтому информация способна распространяться, преодолевая все искусственные ограничения. Это скрытое, неявное движение информации приводит к явным последствиям, которые не менее важны, чем последствия движения информации по открытым каналам.

Концептуальная схема движения информации представлена на рис.1, где в качестве знаковой информации выступают динамические ряды факторов, которые можно измерить или каким-то образом оценить.

Знаковая информация движется от уровня 1 (знаковое пространство, содержит исходную конкретную информацию) через уровни 2 (декомпозиция факторов на составляющие компоненты) и 3 (кластеризация компонент) к уровню 4 (переход к главным компонентам), который открывает каналы в аморфное пространство. Уровень 4 представляет информацию, которая уже не совсем знаковая, но еще не обобщенная.

Аморфное пространство наполняется преобразованной знаковой информацией (уровень 1) и дополняется полученной по другим аморфным каналам чисто аморфной информацией (например, плохо поддающийся учету человеческий фактор; теоретические представления и гипотезы о природе явления; положения горно-геолого-геодезических наблюдений и теорий; прошлый опыт ситуаций-аналогий; интуитивное понимание ситуации и пр.) – уровень 2. Осмысленное перемешивание

(трактовка главных компонент, создание гибридов; выделение детерминант путем перекрестной проекции) этих видов информации делает аморфное пространство гибридным – уровень 3. Информация этого уровня в сочетании с исходным знаковым пространством позволяет строить гибридные прогнозы.

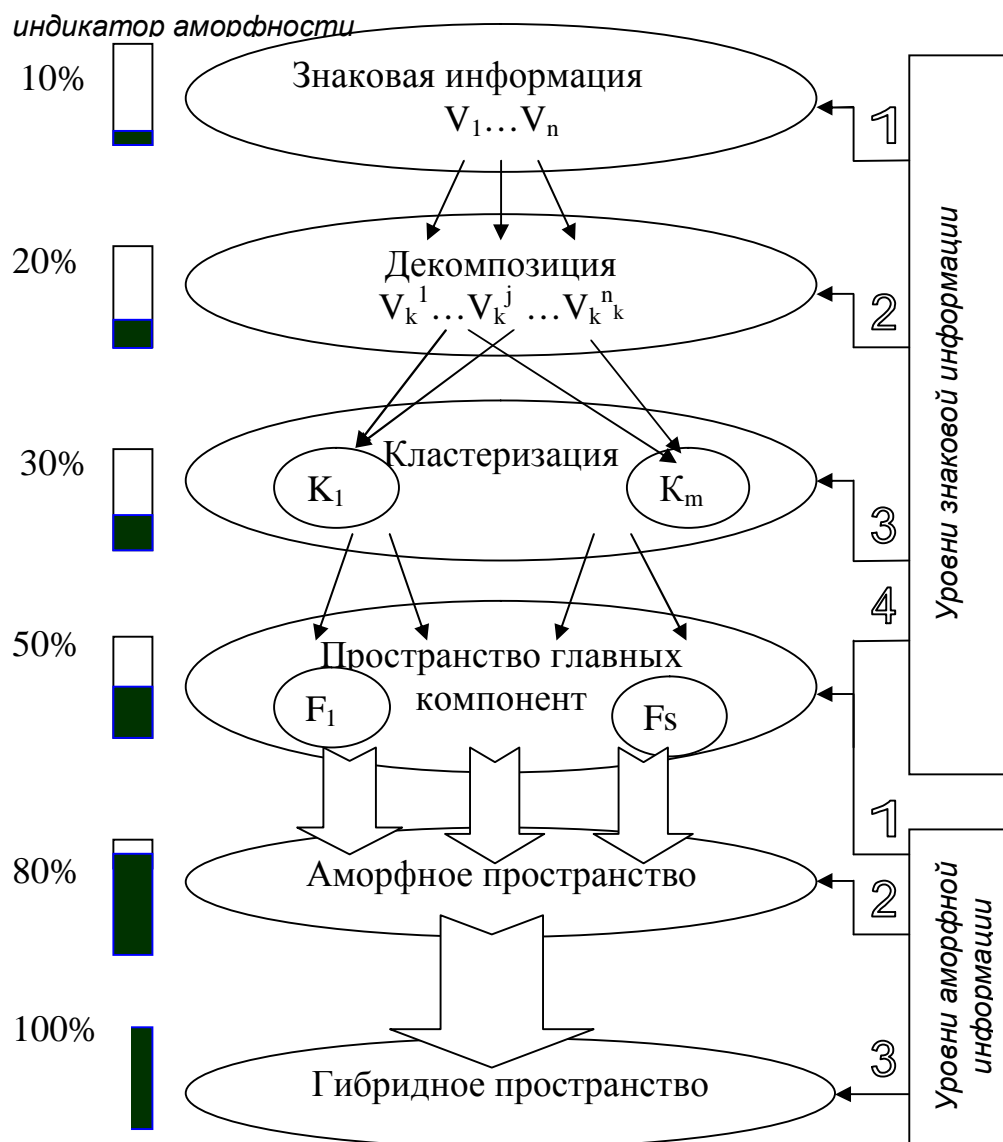


Рисунок 1 – Схема концептуальной структуры представления информации

Индикатор аморфности показывает степень аморфности (от 0 до 100%) информации на каждом этапе ее движения.

Представим алгоритм, реализующий основные этапы гибридного прогнозирования.

Этап 1. Сбор исходной информации.

На начальном этапе выявляется вся имеющаяся информация, анализируется и разделяется на знаковую и аморфную.

Знаковая информация – это база упорядоченных во времени сопоставимых наборов измерений количественных и качественных показателей $V_1 - V_n$, связанных с кругом рассматриваемых в каждом конкретном случае проблем горного производства.

Аморфная информация содержит сведения об установленных ранее закономерностях, о технологических решениях, имеющих место в рассматриваемый период, а также другие особенности процессов подземных горных работ.

Затем производится визуализация данных и первичная статистическая обработка, которая носит разведочный характер.

Этап 2. Декомпозиция факторов.

На этом этапе факторы $V_1 - V_n$ раскладываются на компоненты в аддитивной форме, в результате чего получают разложения, отсортированные в порядке убывания значимостей компонент:

$$V_k = V_k^1 + \dots + V_k^i + \dots + V_k^{n_k}, \text{ где } k = \overline{1 \div n}. \quad (1)$$

В качестве базовых методов разложения могут быть использованы метод SSA (как это сделано в [3]) или вейвлет-преобразование [4]. Для дальнейшего анализа оставляют m_k компонент каждого фактора V_k , суммарная значимость которых в общей сумме V_k составляет не менее 90-99%.

Этап 3. Кластеризация компонент.

На данном этапе все выделенные компоненты V_k^i проходят сравнительный анализ (между компонентами различных факторов) как по виду их динамик, так и по основным совместным характеристикам, включая корреляционный и автокорреляционный анализ, спектральный анализ Фурье. Затем компоненты объединяются в кластеры. Принцип кластеризации основывается на качественном (визуальное представление) и количественном сходстве объединяемых компонент. В модели сходство компонент рассматривается как их однотипное поведение на заданном временном отрезке. В результате выделяются следующие наиболее типичные группы кластеров, представляющих собой классы различных идентичностей:

- кластеры монотонных компонент, которые описывают трендовые изменения показателей (рис.2);
- кластеры циклических компонент, каждый из которых объединяет периодические компоненты с одним периодом (рис.3);

- кластеры “хвостатых” компонент (рис.4). Считается, что они несут в себе информацию о зарождающейся нестабильности процессов по тем факторам, компоненты которых вошли в данный кластер. Последний кластер образуют компоненты, которые при тестировании на белый шум дают положительный результат (рис.5).

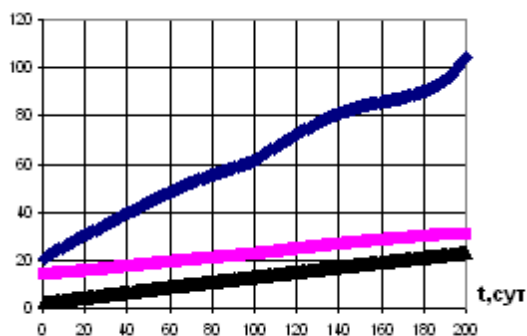


Рисунок 2 – Кластер монотонных компонент

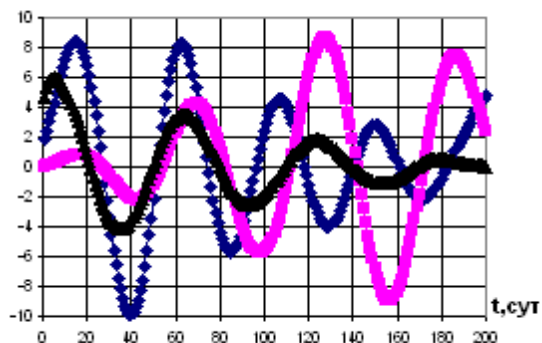


Рисунок 3 – Кластер циклических компонент

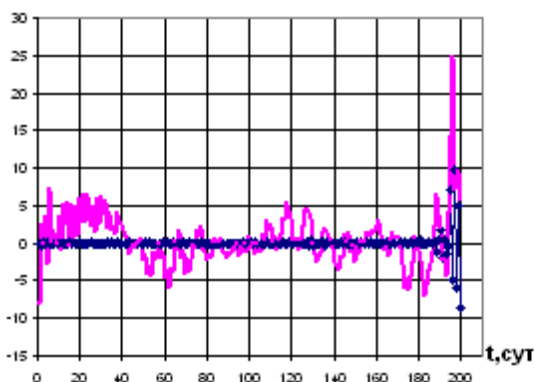


Рисунок 4 – Кластер “хвостатых” компонент

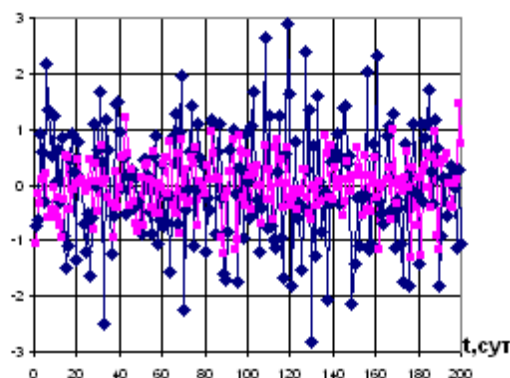


Рисунок 5 – Кластер случайных компонент

Этот этап является важным для выявления структур динамических рядов и их связей. Анализ полученных кластеров поможет обнаружить скрытые в общей сумме V_k взаимосвязи между факторами как некоторые зависимости между составляющими частями этих факторов. Например, пусть трендовые компоненты V_1' и V_2' показателей V_1 и V_2 попали в один кластер, остальные же их компоненты находятся в разных кластерах. Отсюда делаем вывод о монотонной форме взаимовлияния этих факторов, а наблюдаемые циклические изменения фактора V_2 объясняются влиянием других показателей.

Этап 4. Переход к главным компонентам.

Используя идею аморфизации информации и имея внутри каждого кластера ряд мультиколлинеарных (сильно коррелированных) признаков, осуществляем переход к главным компонентам, содержащим в себе квинтэссенцию закономерностей каждого класса идентичностей.

В результате получаем ортогональные (не коррелированные) главные компоненты $F_1 - F_s$. Каждая главная компонента характеризует некую новую идентичность, объединяющую несколько компонент V_k^i различных факторов, и является уже своего рода аморфной информацией, несущей в себе новое знание, интегрированное по нескольким входным факторам. Далее привлекается внешняя аморфная информация для трактовки содержания полученных компонент.

Этап 5. Выявление детерминант.

В результате многоступенчатой обработки исходной информации построенная система имеет ряд компонент с некоторой неоднородностью. Об этом свидетельствуют как исходная информация, так и разложенные, очищенные от взаимных влияний и шумов компоненты. Эти неоднородности представляют собой совокупности зон когнитивной стабильности, разделенных узкими когнитивно нестабильными границами. На границах зон стабильности находятся переломные точки (детерминанты), которые оказывают значительное влияние на ее состояние. В когнитивно стабильной зоне зарождается изменение, возникает слабое течение, а на ее границах уже можно обнаружить детерминанту, сигнализирующую о почти невидимых и скрытых явлениях. Это свойство детерминант используется для прогнозирования, когда нужно получить комплексное представление о ситуации в условиях дефицита времени и информации.

При поиске детерминант используется метод перекрестной проекции. Когнитивное пространство обладает свойствами сложных систем на границе фаз. Такие системы обладают свойством самоподобия или фрактальности. Различные части фрактальных систем (компоненты разложений V_k^i и главные компоненты F_i) подобны друг другу, хотя конфигурации могут и не повторяться в точности и не всегда проявляются одинаково ярко. В некоторые периоды подобие может быть почти незаметно, но в другие моменты становится очевидным и даже "навязчивым". Благодаря повторениям, когнитивные конфигурации образуют серии или семейства. Так, главные компоненты из кластера "хвостатых" компонент в перекрестной проекции с $V_1 - V_n$ объясняются как иден-

тичности, содержащие детерминанты, и в дальнейшем поставляющие в обобщенном виде информацию о переломных точках процессов.

Этап 6. Построение гибридов.

После того, как все главные компоненты модели получают понятную с точки зрения горных и технологических процессов интерпретацию, а перекрестный анализ выявляет наличие в модели детерминант, строятся гибриды как система когнитивных признаков F_1-F_s или когнитивных функций (если удастся построить в явном виде зависимости внутри кластеров), несущих в себе больше обобщенной, нежели конкретной информации.

Этап 7. Построение гибридного прогноза.

Метод прогнозирования интересующих исследователя показателей выбирается в зависимости от попадания точки прогноза $t = t_*$ в зоны стабильности или нестабильности процесса. Используя стандартные методы продолжения рядов (например, модели ARIMA), выполняется продолжение в пространстве гибридов, затем, возвращаясь к исходным показателям, осуществляется нужный прогноз, который представляется в интервальном виде либо продолжается до прогноза вероятности определенного события (например, состояния безопасного ведения горных работ).

Выводы и направление дальнейших исследований.

Созданная методика гибридного прогнозирования динамических показателей позволяет:

- осуществлять комплексное исследование и когнитивный анализ накопленной информационной базы;
- выявлять детерминанты горного производства и увязывать их с определенными технологическими решениями;
- выполнять текущий прогноз динамических показателей, характеризующих процессы подземных горных работ.

Дальнейшие исследования предполагается проводить по обоснованию и усовершенствованию технологии гибридного прогнозирования для решения конкретных технологических задач горного производства, связанных с газодинамическими явлениями.

Построена методика гибридного прогнозирования динамических процессов, позволяющая осуществлять комплексные исследования показателей горного производства.

Conceptual technology of hybrid prognostication of stochastic processes, allowing to carry out complex research of dynamic indexes of mountain production is built.

Библиографический список.

1. Аршинов В.И., Буданов В.Г. *Когнитивные основания синергетики*. – М.: Прогресс, 2002. – 108 с.
2. <http://www.metaphor.ru>
3. Подлипенская Л.Е., Бубунец Ю.В. *Исследование динамики метановыделения выемочного участка*// Сб. научн. трудов ДонГТУ, вып. 23 – Алчевск: ДонГТУ, 2007. – С. 56 - 66.
4. Новиков Л.В. *Основы вейвлет-анализа сигналов*. – СПб.: СПбГТУ, 1999. – 152 с.

*аспирант Касьян С.И.
(ДонГТУ, г. Алчевск, Украина)*

ДЕФОРМАЦИИ КРОВЛИ НА СОПРЯЖЕНИЯХ ЛАВ С ПОВТОРНО ИСПОЛЬЗУЕМЫМИ ВЫРАБОТКАМИ

Досліджені деформації покрівлі на сполученнях лав з виробками, що повторно використовуються, набуті численні значення відносних деформацій та рівняння регресій для їх розрахунку.

Проблема и ее связь с научными и практическими задачами.

Самыми уязвимыми местами при добыче полезного ископаемого являются сопряжения лав с примыкающими к ним выработками, особенно, если эти выработки повторно используется, это связано с нарушением угольного пласта, пород за длительный период после проведения выработки, проходом первой лавы и с дополнительным воздействием повышенного горного давления впереди второй лавы. Актуальность изучения деформаций кровли обусловлена необходимостью повышения устойчивости сопряжений лав с выработками путем упрочнения кровли.

Анализ исследований и публикаций.

Деформации поверхности кровли в лавах, возникающие при ее опускании в призабойном пространстве, исследованы в зоне влияния выемки угля комбайном на концевых и протяженных участках лав [1, 2]. Из-за больших размеров ниш у вентиляционных выработок не установлено влияние выемки угля комбайном. Поэтому необходимо изучить деформации кровли на сопряжениях лав с выработками от процесса выемки угля в нише.

Постановка задачи.

Объект исследования – геомеханические процессы в кровле очистной выработки.

Предмет исследования – деформации поверхности кровли в лаве.

В работе для исследования деформаций кровли использован натурный и аналитический методы исследования.

Цель работы – установление закономерностей деформирования кровли на сопряжениях лав с выработками для обоснования параметров технологии упрочнения неустойчивых пород кровли.

Задачи:

- провести шахтные исследования деформирования кровли на концевых участках лав в окрестности повторно используемой выработки;
- изучить деформации кровли аналитически с помощью метода конечных элементов;
- исследовать влияние геологических факторов на деформирование кровли на концевых участках лав под влиянием выемки угля в нише отбойными молотками.

Изложение материала и его результаты.

Исследования деформаций кровли проводились на 7 сопряжениях лав с вентиляционными выработками при выемки угля в нишах отбойными молотками на шахтах ГП Луганскуголь, Донбассантрацит и Антрацит. Для охраны повторно используемой выработки применяются технологические целики, размерами 2 x 5 м.

Лавы с одинаковой технологией в нише разрабатывают пласты мощностью (m) от 0,85 до 1,7 м при глубине разработки (H) от 490 м до 1060 м и прочности пород кровли ($\sigma_{сж}$) от 30 до 60 МПа.

Деформации кровли измеряли следующим образом: замерные станции, представляющие собой измерительные стойки СУИ – 2 с индикаторными головками, установленные между реперами, заделанными в кровлю пласта, устанавливали в верхней нише. Деформации измеряли параллельно и перпендикулярно линии очистного забоя на разных расстояниях от него. Прочность пород в лаве измеряли прибором ППЭИ.

На рисунке 1 представлены результаты измерения деформаций кровли в верхней нише 7 западной уклонной лавы шахты XIX Партсъезда, где L – расстояние от места выемки угля в нише до замерной станции. Лава оборудована механизированной крепью КД-80, комбайном УКД 200-250, конвейером СП-202. Длина ниши составляет 4 м. Замерные станции установлены: перпендикулярно лаве – на расстоянии 0,25 м от забоя ниши и 1 м от предохранительного целика, длина базы 0,88 м; параллельно лаве – на расстоянии 0,4 м от забоя ниши и 1,0 м от предохранительного целика, длина базы 1,215 м. Деформации измеряли в течении 93 минут при выемки трех полос угля отбойными молотками суммарной глубиной 0,8 м.

Деформации кровли перпендикулярно забою лавы при выемке угля отбойными молотками растягивающие и увеличиваются при приближении места выемки угля к замерной станции. Деформации кровли параллельно забою лавы сжимающие и возникают уже после снятия полосы угля на 0,3 м. Растягивающие деформации $0,02 \cdot 10^{-3}$ возникли после углубления ниши на 0,6 м, а по мере удаления выемки угля от замерной станции снова возникли сжимающие деформации.



Рисунок 1 – График изменения относительных деформаций в верхней нише 7 западной уклонной лавы пласта l_1

Аналогичным образом измерены и проанализированы деформации кровли на остальных объектах исследований.

Результаты замеров деформации кровли в верхних нишах обработаны с помощью программы «Excel» в режиме «Регрессия». В связи с тем, что деформации кровли в нишах были сжимающие и растягивающие, рассмотрены два массива данных, включающие: конечные деформации за весь период наблюдения; отдельно растягивающие и сжимающие.

Результаты обработки данных приведены в таблице 1, где $\varepsilon_1, \varepsilon_2$ – конечные деформации перпендикулярные и параллельные очистному забою, соответственно; ε_6 – сжимающие деформации параллельные очистному забою.

Таблица 1 – Уравнения регрессий для расчета деформаций на сопряжении лав с вентиляционными выработками

№ п/п	Уравнение	R	R ²	F	α
1	$\varepsilon_1 = (0,0346 \cdot 18,8554^m \cdot 0,9507^\sigma) \cdot 10^{-3}$	---	0,881	14,8 > 6,94	---
2	$\varepsilon_2 = (-0,0245 + 0,0003 \cdot H - 0,002 \cdot \sigma) \cdot 10^{-3}$	0,883	0,78	7,07 > 6,94	0,0486
3	$\varepsilon_6 = (-0,0133 + 0,0003 \cdot H - 0,0023 \cdot \sigma) \cdot 10^{-3}$	0,886	0,785	7,28 > 6,94	0,0464

Для расчета конечных относительных деформаций перпендикулярно лаве получено достоверное показательное уравнение множественной регрессии (ε_1), значащими факторами в котором являются мощность пласта и прочность пород. Коэффициент детерминации (R^2) данного уравнения составляет 88%, а критерий Фишера $F = 14,8 > F_{кр} = 6,94$.

Для расчета конечных относительных деформаций параллельно лаве получено линейное уравнение множественной регрессии (ε_2) от глубины разработки и прочности пород. Коэффициент детерминации (R^2) составляет 78%, уровень значимости (α) 0,0486, и критерий Фишера $F = 7,07 > F_{кр} = 6,94$. Второе надежное уравнение представляет собой зависимость только сжимающих относительных деформаций от глубины разработки и прочности пород (ε_6), которое и принимаем в дальнейших исследованиях, как наиболее достоверное.

Согласно полученным надежным уравнениям регрессий определены уравнения чистых регрессий отдельно:

– перпендикулярно лаве

$$\varepsilon_1 = (0,956 \cdot 0,951^\sigma) \cdot 10^{-3}, \quad (1)$$

$$\varepsilon_1 = (0,0044 \cdot 18,86^m) \cdot 10^{-3}; \quad (2)$$

– параллельно лаве

$$\varepsilon_6 = (0,176 - 0,0023 \cdot \sigma) \cdot 10^{-3}, \quad (3)$$

$$\varepsilon_6 = (-0,108 + 0,0003 \cdot H) \cdot 10^{-3}. \quad (4)$$

По анализу уравнений чистых регрессий построены графики для определения относительных деформаций от влияющих на них факторов (рисунки 2, 3).

По графикам изменения перпендикулярных относительных деформаций видно, что при увеличении прочности пород кровли от 30 МПа до 60 МПа относительные деформации уменьшаются от $0,21 \cdot 10^{-3}$ до $0,046 \cdot 10^{-3}$, а при увеличении мощности пласта от 0,85 м до 1,7 м относительные деформации увеличиваются от $0,052 \cdot 10^{-3}$ до $0,641 \cdot 10^{-3}$, причем значительный рост деформаций наблюдается при мощности пласта 1,3 м и более.

По графикам изменения параллельных относительных деформаций наблюдается увеличение деформаций от $0,039 \cdot 10^{-3}$ до $0,21 \cdot 10^{-3}$ при увеличении глубины разработки от 490 м до 1060 м, а при увеличении прочности пород на сжатие от 30 МПа до 60 МПа относительные деформации уменьшаются от $0,107 \cdot 10^{-3}$ до $0,038 \cdot 10^{-3}$.

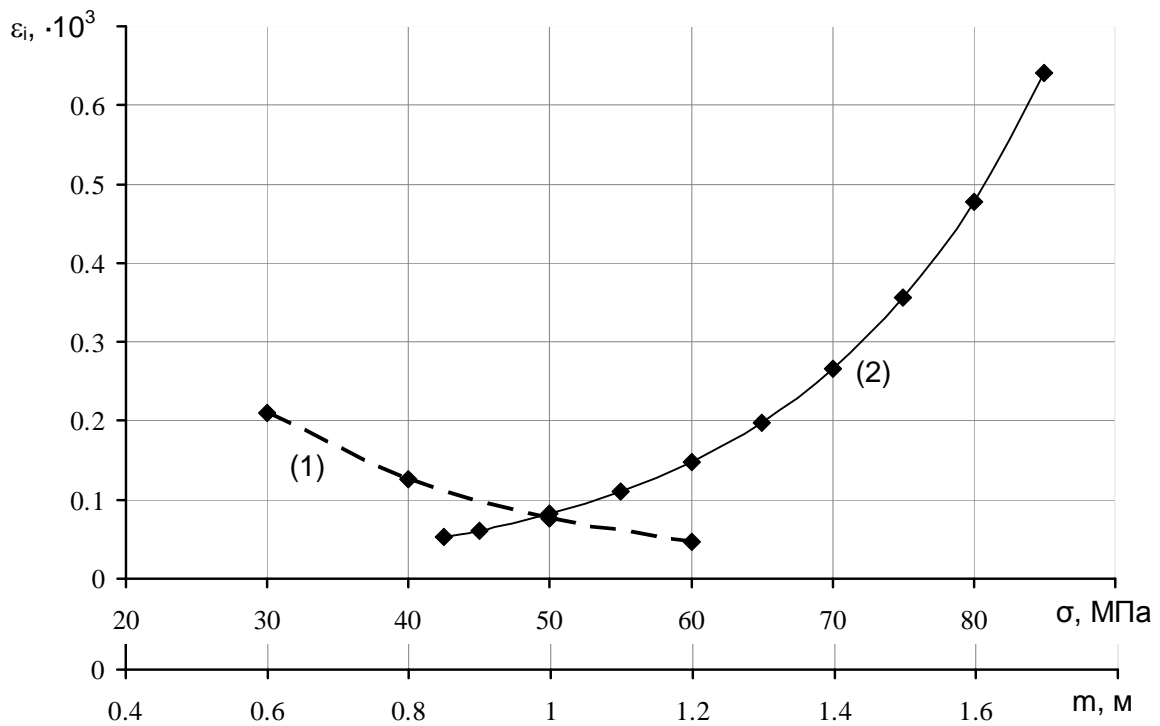


Рисунок 2 – График изменения перпендикулярных относительных деформаций от прочности пород кровли (1) и мощности пласта (2)

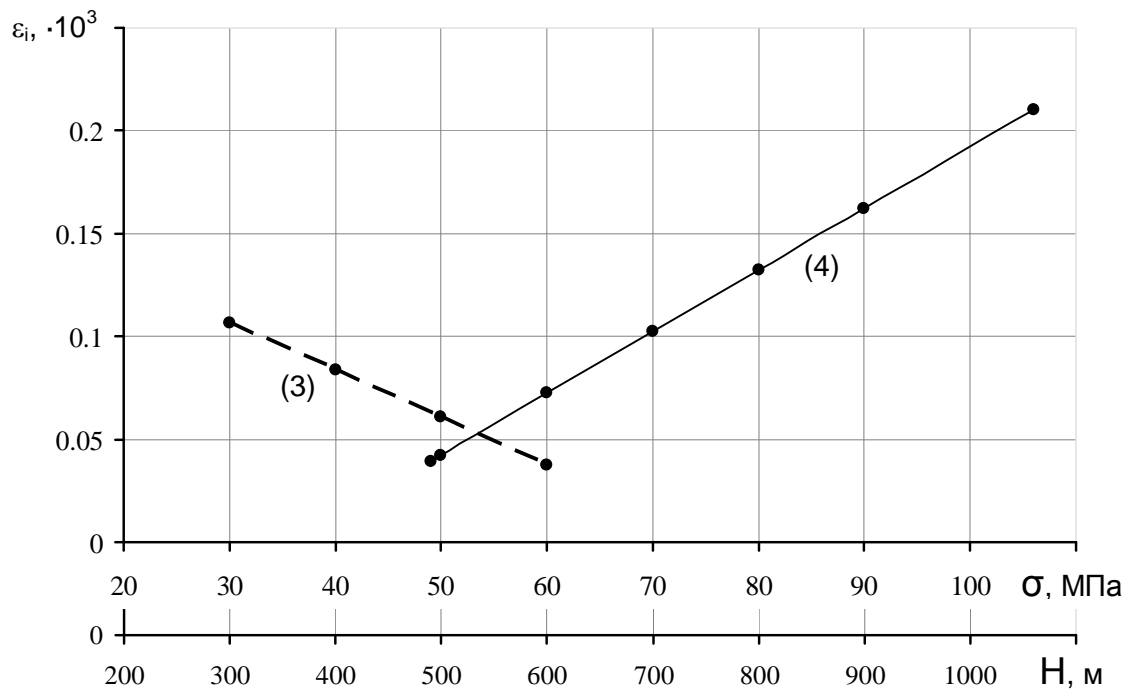


Рисунок 3 – График изменения параллельных относительных деформаций от прочности пород кровли (3) и глубины разработки (4)

Для исследования деформаций аналитическим путем были составлены объемные модели методом конечных элементов в программном комплексе «Ли́ра» для условий аналогичным шахтным. Модель с размерами вдоль выработки 1110 м, вдоль лав 395 м, глубина разработки пласта 580 м, от поверхности до граничных элементов модели 926 м, состоит из 104000 конечных элементов и представляет собой массив горных пород, в котором проведена подготовительная выработка шириной 5 м и высотой 3,4 м, по пласту мощностью 1 м со смешанной подрывкой боковых пород. В отработке две лавы, расстояние между которыми 500 м. Охрана выработки осуществляется двумя рядами железобетонных тумб за первой лавой с целью повторного ее использования и целиками угля 2 x 5 м за второй лавой.

По данным модели относительные деформации составили: перпендикулярно забою растягивающие $0,312 \cdot 10^{-3}$, параллельно забою сжимающие $0,170 \cdot 10^{-3}$. Расхождение аналитических данных с измеренными шахтными деформациями составили 34 % по перпендикулярным деформациям и 42 % по параллельным деформациям, что может судить о достоверности полученных результатов.

Выводы и направления дальнейших исследований.

1. Кровля в нише при выемки угля деформируется неравномерно: перпендикулярно лаве преобладают растягивающие деформации от $0,021 \cdot 10^{-3}$ до $0,252 \cdot 10^{-3}$, параллельно – сжимающие от $0,019 \cdot 10^{-3}$ до $0,171 \cdot 10^{-3}$.

2. Перпендикулярные относительные деформации при увеличении прочности пород кровли от 30 МПа до 60 МПа уменьшаются от $0,21 \cdot 10^{-3}$ до $0,046 \cdot 10^{-3}$, а при увеличении мощности пласта от 0,85 м до 1,7 м увеличиваются от $0,052 \cdot 10^{-3}$ до $0,641 \cdot 10^{-3}$, причем значительный рост деформаций наблюдается при мощности пласта 1,3 м и более.

3. Параллельные относительные деформации при увеличении глубины разработки от 490 м до 1060 м увеличиваются от $0,039 \cdot 10^{-3}$ до $0,21 \cdot 10^{-3}$ при , а при увеличении прочности пород на сжатие от 30 МПа до 60 МПа уменьшаются от $0,107 \cdot 10^{-3}$ до $0,038 \cdot 10^{-3}$.

Полученные зависимости могут быть использованы для прогноза вывалов из кровли на сопряжениях лав с повторно используемыми выработками и для обоснования параметров технологии упрочнения пород.

Исследованы деформации кровли на сопряжениях лав с повторно используемыми выработкам, получены численные значения относительных деформаций и уравнения регрессий для их расчета.

Deformations of roof are investigational on the interfaces of longwalls with repeatedly in-use making, the numeral values of relative deformations and equalization of regressions are got for their calculation.

Библиографический список.

1. Клишин Н.К., Пятаченко А.А., Герасько О.А., Леончук Г.М. Исследование деформаций кровли в лавах / Сб. науч. тр. ДГМИ / Алчевск. – 2000. – Вып. 15. – С. 93 – 99.

2. Н.К. Клишин, К.З. Склепович, С.И. Касьян, О.Л. Кизияров. Деформации кровли в лавах. // Уголь Украины. – 2004. – №1. – С. 16 – 18.

*Аспирант Кизияров О.Л.
(ДонГТУ, г. Алчевск, Украина)*

ОБОСНОВАНИЕ СХЕМЫ РАСПОЛОЖЕНИЯ И ПАРАМЕТРОВ АНКЕРНОЙ КРЕПИ ДЛЯ УПРОЧНЕНИЯ КРОВЛИ В ЛАВЕ

Запропонована нова схема розташування анкерів та обґрунтовані параметри анкерного кріплення для зміцнення покрівлі в лавах.

Проблема и ее связь с научными и практическими задачами.

Одним из эффективных способов снижения вывалообразования в очистном забое является упрочнение неустойчивых слоев кровли. В настоящее время актуальным вопросом является применение комбинированных способов упрочнения, т. е. применение нескольких способов с учетом их достоинств и недостатков. Наиболее распространена комбинация упрочнения нагнетанием скрепляющих составов с одновременным анкерованием пород кровли, однако в этом случае недостаточно изучены усилия, возникающие в элементах анкерной крепи, при различных схемах их установки.

Анализ исследований и публикаций.

Переход на отработку глубоких горизонтов приводит к увеличению нарушенности алевролитов, объемов ложной кровли, высоты вывалов [1]. Упрочнение неустойчивой кровли в очистном забое позволяет снизить зольность и себестоимость добываемого угля, повысить безопасность ведения работ. В нормативном документе [2] приведены схемы расположения анкеров для упрочнения кровли после вывала из кровли и для профилактики вывалов. Недостатки:

- при прочном не обрушающемся слое весьма затрудняется бурение шпуров;
- при большой высоте вывала рекомендуется 3 ряда анкеров;
- при небольшой мощности пласта угол наклона верхнего анкера мал.

Постановка задачи.

Объект исследования – геомеханические процессы в кровле очистной выработки.

Предметом исследования являются усилия в элементах анкерной крепи.

В работе для исследования усилий элементов крепи использован аналитический метод исследования.

Цель работы – обосновать рациональную схему и параметры анкерной крепи для упрочнения кровли в лаве.

Задачи:

– создать модель трещиноватого массива кровли, подлежащего упрочнению;

– исследовать влияния высоты вывала, ширины обнаженной поверхности кровли после выемки угля, а так же геометрию установки анкеров на характер и величину возникающих в них усилий.

Изложение материала и его результаты.

Для моделирования породного массива использованы реальные горно–геологические условия шахты им. XIX партсъезда, детальное описание которых приведено в работе [3]. Задача решалась с применением нелинейного процессора МОНТАЖ. Весь расчетный процесс задачи разбит на 5 стадий:

- нагружение модели;
- снятие полосы угля в лаве;
- образование вывала из кровли;
- упрочнение кровли;
- снятие второй полосы угля в лаве.

Из модели поэтапно удалялись и включались элементы, для моделирования процесса снятия полосы угля, обрушения неустойчивой кровли, установки анкеров или нагнетания в кровлю скрепляющих составов. На каждом этапе расчета вычислялись главные и эквивалентные напряжения. Для разбивки кровли на блоки в модель были введены "трещины" - элементы с малым модулем упругости ($E = 5$ МПа) и коэффициентом Пуассона $\mu = 0$.

Моделирование анкеров осуществлялось путем введения в модель углепородного массива стальных стержней диаметром 30 мм. Анкеры служат для упрочнения неустойчивой кровли мощностью 1- 2 м в зоне вывала. Рассмотрены 2 варианта расположения анкеров. Согласно первому варианту (рисунок 1) нижний анкер связывает отдельные блоки нарушенного массива кровли; верхний – прикрепляет неустойчивую кровлю к вышележащему слою прочных пород. Анкера между собой соединяются металлической планкой. Длина нижнего анкера - 1,73 м, верхнего - 1,68 м. Углы наклона анкеров к горизонтальной плоскости – 4 и 42° соответственно.

Во втором варианте (рисунок 2) планка, соединенная с нижним анкером, прикрепляется к плите, которая приклеивается к устойчивой кровле. Такая схема установки наиболее целесообразна при прочном необрушающемся слое кровли [5].

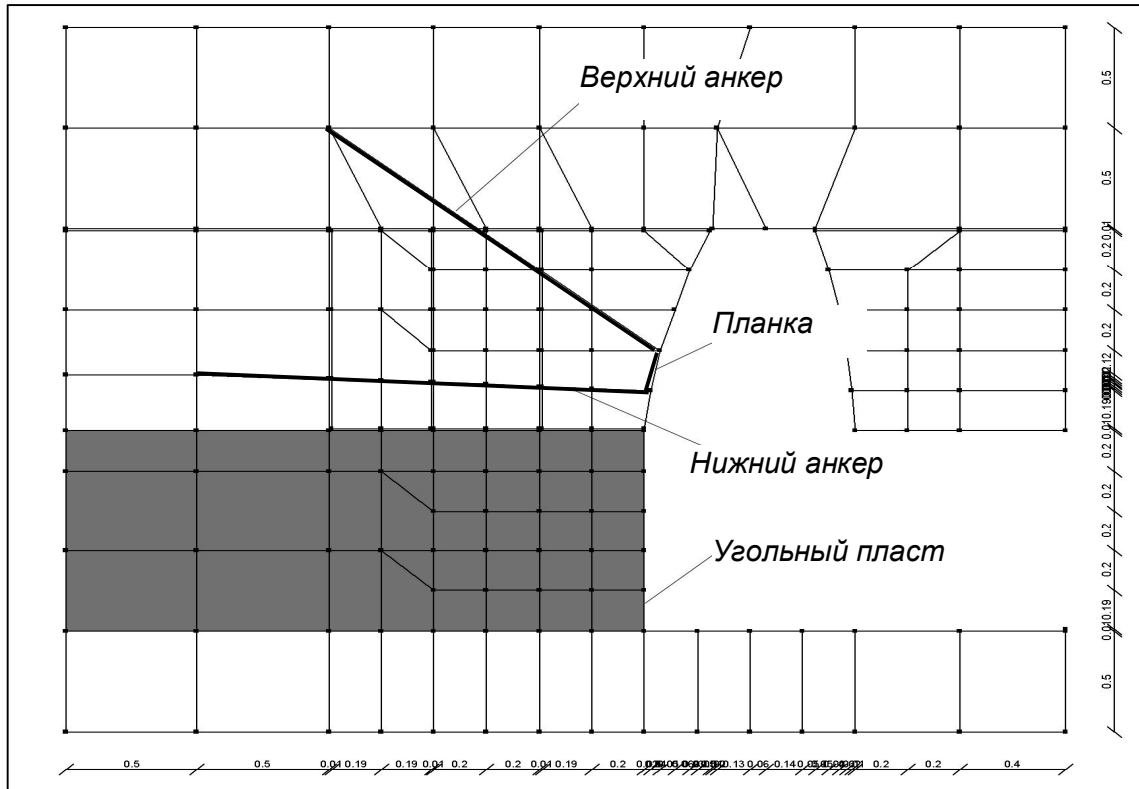


Рисунок 1 – Схема расположения анкеров в лаве

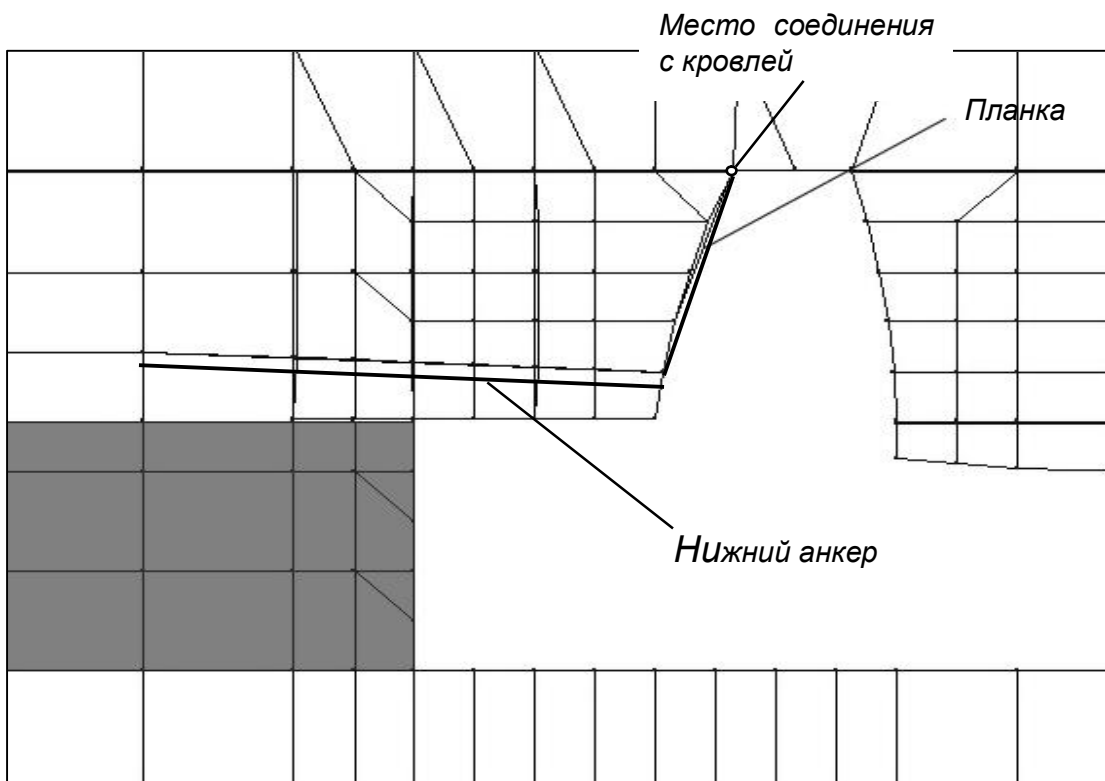


Рисунок 2 – Схема расположения анкеров при втором варианте

Результаты расчетов усилий в элементах анкерной крепи сведены в таблицу 1.

Таблица 1 – Результаты сравнения усилий элементов анкерной крепи при различных вариантах

Вариант расположения ан- керов	Нагнетание скреп- ляющих составов	Средние значения усилий в элементах, МН					
		при подходе комбайна			после снятия полосы угля		
		нижний анкер	верхний анкер	планка	нижний анкер	верх- ний анкер	планка
1	без на- гнетания	0,015	-0,0078	-0,0458	-0,023	0,043	- 0,0009
	с нагне- танием	0,02	-0,0036	-0,042	0,024	0,013	0,014
2	без на- гнетания	0,00425	-	0,031	0,0525	-	0,055
	с нагне- танием	0,022	-	0,02	0,041	-	0,034

Как видно из таблицы, после прохода комбайна нижний анкер работает на сжатие (-0,023 МН), а верхний - на растяжение (0,043 МН). При второй схеме установки анкеров после снятия полосы угля нижний анкер и планка испытывают растягивающие усилия.

Далее рассматривались варианты упрочнения анкерованием с заполнением трещин пенополиуритановым составом (комбинированный способ упрочнения). Для этого элементам, моделирующим трещиноватость, задавались свойства пенополиуританового скрепляющего состава ППУ-13А ($E = 290$ МПа, $\mu = 0,28$).

Дополнительно исследовано влияния способа упрочнения на напряженное состояние массива горных пород в призабойном пространстве и впереди него. На рисунке 3 представлено распределение эквивалентных напряжений после нагружения модели.

Из рисунка 3 видно, что после нагружения модели в кровле пласта, на расстоянии 1,8 м от забоя выемки, образуется зона с растягивающими эквивалентными напряжениями 0,2-7 МПа. Непосредственная кровля вблизи очистного забоя, имеет локальный участок повышенных растягивающих напряжений шириной 0,8 и высотой около 1 м, на котором возможно образование зон потери устойчивости.

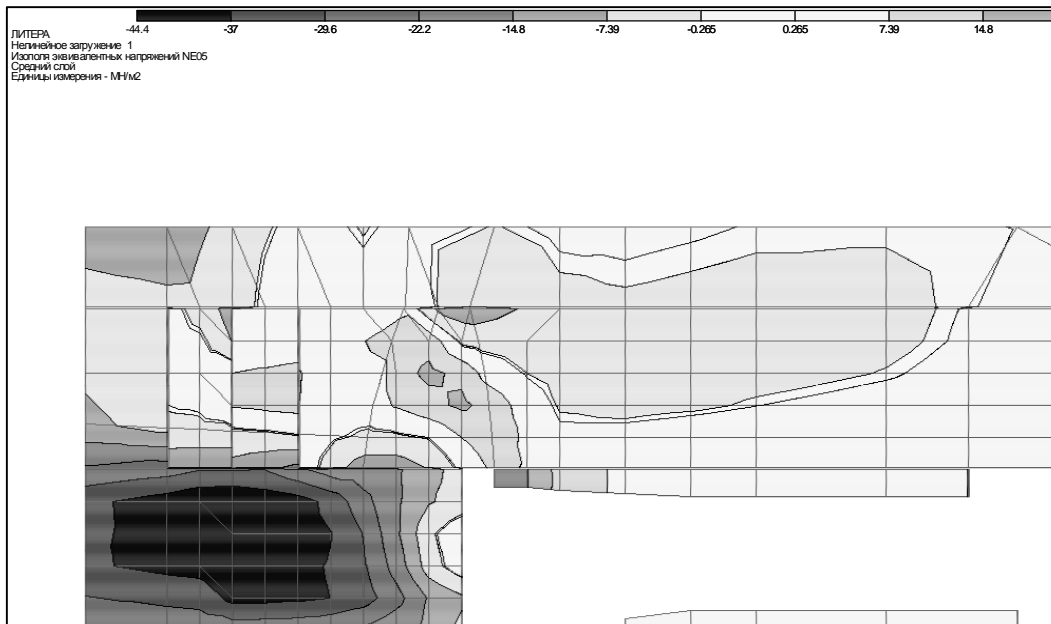


Рисунок 3 – Изополя эквивалентных напряжения в кровле пласта при нагружении модели

Угольный пласт впереди лавы подвержен влиянию опорного давления, максимальные сжимающие напряжения которого наблюдаются впереди забоя на расстоянии 1,5 м. Кроме того, на расстоянии 0,3 м от козырька секции на контакте пласта с кровлей сжимающие напряжения распространяются на высоту 0,3 м. После выемки полосы угля участок кровли с повышенными растягивающими напряжениями остается не закрепленным, в результате чего возможно образование уступов и вывалов кровли.

Комбинированное упрочнение неустойчивой кровли приводит к значительному уменьшению размеров зон растягивающих эквивалентных напряжений. Так, участок растягивающих напряжений впереди лавы (рисунок 4) имеет ширину 0,8 - 1 м и высоту 0,2 - 0,6 м. Эквивалентные напряжения кровли в призабойном пространства так же снизились. Это приводит к улучшению состояния кровли и снижению вероятности возникновения вывала.

Таким образом, упрочнение неустойчивой кровли по комбинированной схеме приводит к снижению напряжений в призабойном пространстве и впереди него, а так же уменьшению усилий в элементах анкерной крепи в 1,2 - 3 раза.

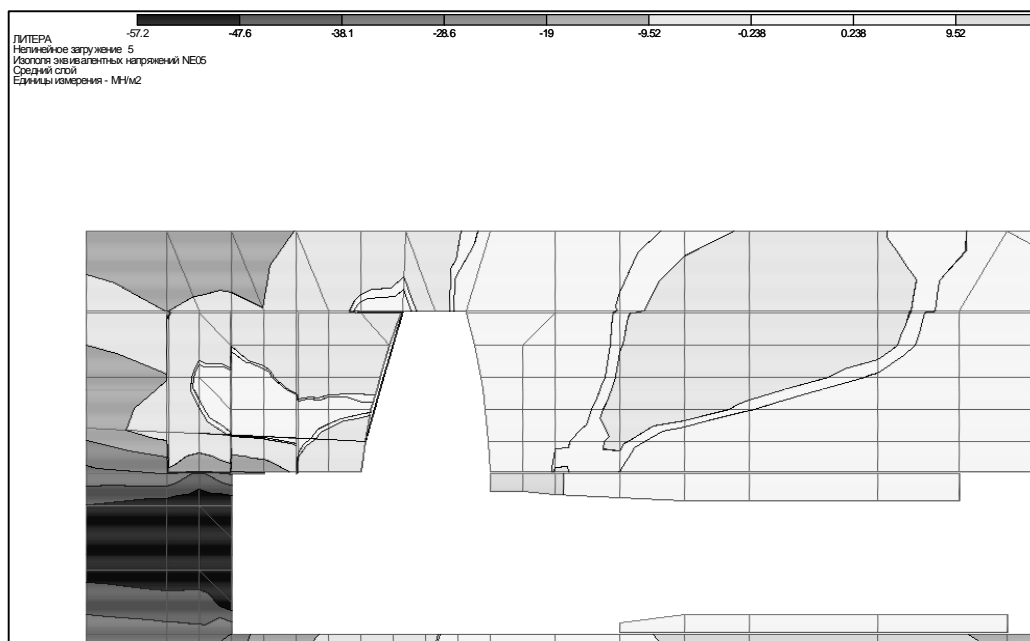


Рисунок 4 – Изополю эквивалентных напряжений при комбинированном способе упрочнения

При максимальном усилии в верхнем анкере 0,043 МН и расчетной прочности материала анкера $[\sigma_{\text{Ст.3}}] = 210$ МПа, с учетом коэффициента запаса прочности $K = 2$, минимальный диаметр анкера составляет 23 мм; в планке, прикрепленной к устойчивой кровле усилие составляет 0,055 МН. В этом случае ее поперечное сечение должно быть не менее 522 мм². В случае закрепления планки к металлической пластине, приклеенной к слою прочных пород, площадь последней с учетом адгезии 4 МПа должна быть не менее 138 см².

Полученные результаты в дальнейшем будут использованы при выборе способа, средств, параметров технологии упрочнения пород для предотвращения вывалов из кровли в призабойном пространстве лавы.

Исследованы усилия в элементах анкерной крепи и их зависимость от схемы установки и способа упрочнения, получены геометрические параметры элементов крепи.

Efforts in elements fastening anchor timber and their dependence on the circuit of installation and a way of hardening, geometrical parameters of anchorage.

Библиографический список.

1. Анализ условий отработки угольных пластов Донбасса применительно к химическому способу упрочнения пород / Клищин Н.К., Горбунов Н.И., Пятаченко А.А., Тоцкий А.В., Склепович К.З., Левин А.А., Герасько О.А., Леончук Г.М. // *Материалы межд. канд. "Экология и*

безопасность жизнедеятельности – 2002” (Затока, Одесская обл., 22-27. 2002.).-Алчевск: ВУО МАНЭБ, ДГМИ, 2002. – С. 134 – 137.

2. Управление кровлей и крепление очистных забоев на угольных пластах с углом падения до 35°. Руководство. Изд-е официальное - Киев: Минтопэнерго Украины, 2002. – 142 с.

3. Кизияров О.Л. Модель для исследования параметров технологии комбинированного упрочнения кровли в лавах// Сборник научных трудов. - Алчевск: 2004, вып. № 18. – С. 87 - 91.

4. Комиссаров С.М. управление массивом горных пород вокруг очистных выработок. – М.: Недра, 1983. –237с.

5. Патент України 22615, МПК(2006) E 21 D 20/00. Спосіб зміцнення безпосередньої покрівлі від обвалювання. М.К. Клішин, С.І. Касьян, О.Л. Кізіяров, К.З. Скленович. № и200612763; Заявл. 04.12.2006; Опубл. 25.04.2007.

УДК.504.3.55.06:622.

*д.т.н., проф. Буянов А.Д.
магистр механизации Павленко А. Т.
к.т.н., доц. Мирошниченко В. Т.
инженер 1-ой категории Анушина Н.П.*

АНАЛИТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ РЕЖИМНЫХ ЭЖЕКТОРНЫХ АППАРАТОВ

Розглядається можливість використання теорії при вирішенні завдання зниження запилення за рахунок аерогазопилединамічної реалізації при розробці апаратів пилевловлювання за допомогою розрахункових двоступінчатих ежекційних схем.

Резервом значительного снижения запыленности атмосферы на различных технологических процессах являются схемы использования выброшенной энергии технологическим оборудованием. К таким энергиям можно отнести: рециркуляционное движение воздушных потоков, движения и вращения исполнительных органов работающего оборудования (центробежные силы); в металлургической и химической промышленности, когда в технологическом процессе существует температура 850-1050°C с большим успехом можно использовать Архимедовы силы (восстающие потоки); наряду с этим, можно и необходимо использовать факелы воды зонтичных форсунок, которые при давлении в 15 атм. (1,5 Мпа) эжектируют воздух при расходе 1 л воды до 80 м³ воздуха.

Аэродинамические исследования при работе форсунки в эжекторной камере.

Основным фактором влияющим на производительность эжектора (форсунки) по воздуху является диаметр активной части факела воды.

Некоторые расчеты справедливо говорят о том, что в эжекторной камере (аппарате) форсунку располагают внутри камеры, по ее оси. В этом случае факел форсунки не полностью раскрывается и эжекционный эффект воздушного потока значительно снижается.

Следовательно необходимо решить вопрос расположения форсунки относительно среза камеры так, чтобы факел воды раскрывался до среза камеры.

С целью решения задачи увеличения производительности факела воды по воздуху, рассмотрим две схемы работы форсунки внутри камеры и за ее пределами на расстоянии $\frac{d}{2}$. (рис. 1)

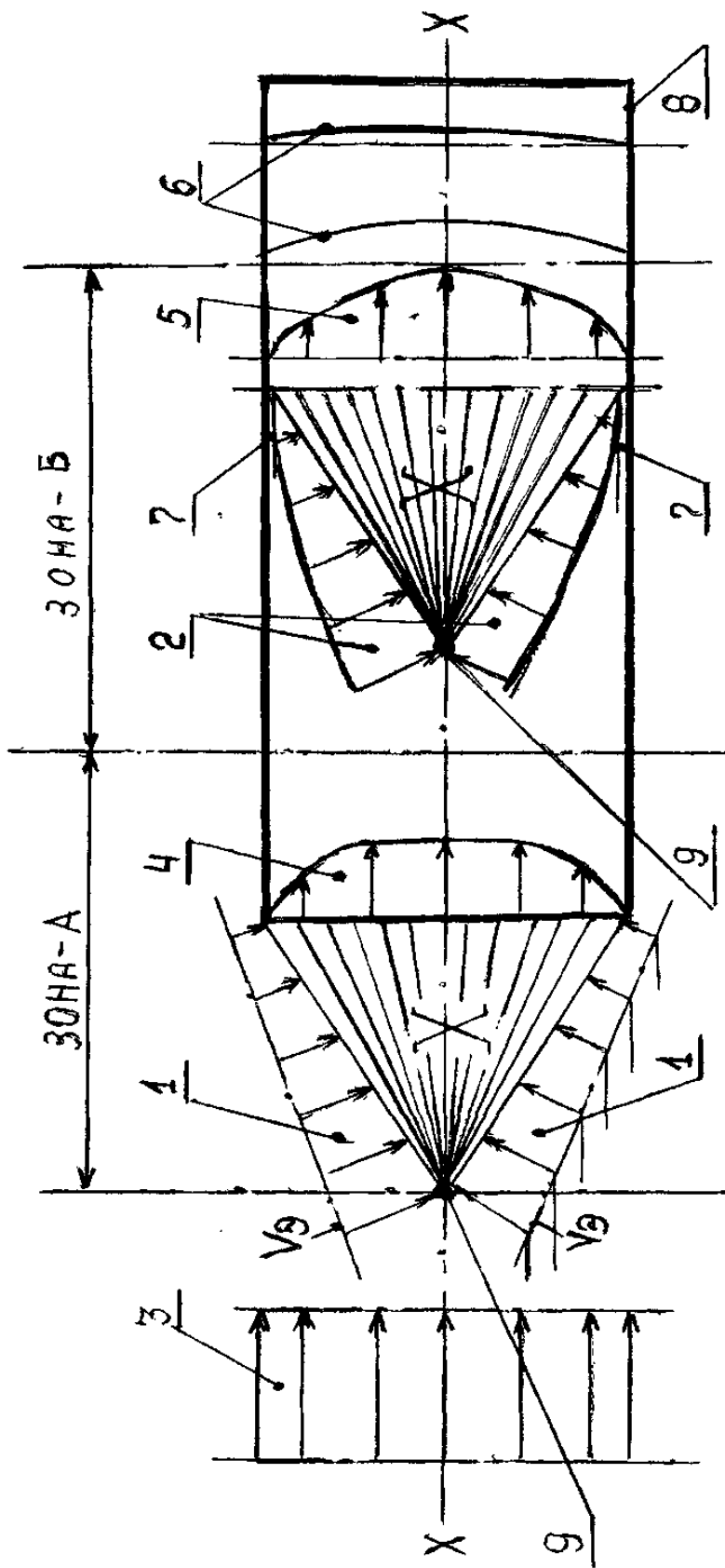


Рисунок 1

1,2,3,4,5,6 – эшоры скоромтей воздуха, 7 – зона по периметру эжектора ≈ 8 мм – эжекция отсутствует,
 8 – труба эжектора, 9 – форсунки, X – факел воды

Теоретическое обоснование увеличения деления капель воды на мелкие фракции. По первой схеме (рис.1, зона А) форсунка расположена на таком расстоянии от входного сечения канала, при котором устойчивый факел диспергированной воды касается трубы у среза. Так как эжектируемый пылегазовоздушный поток поступает из незамкнутого пространства (эпюра - 3), то годограф скоростей представляет собой усеченный конус (эпюра - 1). Направление скорости эжектируемого потока воздуха параллельно оси X, но в конечном счете скорость направления перпендикулярно образующей факела воды, составляющая представлена эпюрой - 4.

Количество эжектируемого воздуха определяется по формуле:

$$Q'_3 = V'_\phi \cdot S_\phi,$$

где V'_ϕ - перпендикулярна составляющей скорости эжектируемого воздуха, м/с;

S_ϕ - площадь боковой поверхности конуса факела, м², тогда

$$V'_\phi = V_3 \cdot \sin \alpha / 2,$$

где V_3 – скорость воздушного потока, эжектируемого из атмосферы, м/с;

α – угол раскрытия факела воды форсунки, град.

$$S_\phi = R(L_\phi + R),$$

где L_ϕ - длина образующей факела воды до прикосновения с каналом, м.

$$L_\phi = R \cdot \frac{1}{\sin \alpha / 2},$$

где R - радиус трубы эжектора, м.

$$\text{Получим } S_\phi = \frac{\pi R^2 (1 + \sin \alpha / 2)}{\sin \alpha / 2}.$$

Производительность эжектора по воздуху определяется:

$$Q_3 = V_3 \cdot \sin \frac{\alpha}{2} \cdot \frac{\pi R^2 (1 + \sin \alpha / 2)}{\sin \alpha / 2} = V_3 \cdot \pi R^2 (1 + \sin \alpha / 2)$$

Во второй схеме (рис. 1, зона Б) форсунка расположена в трубе на некотором расстоянии от среза трубы. Пылегазовоздушный поток движется в цилиндрическом канале и его годограф скоростей имеет форму кубического вращающегося параболоида (эпюра - 5). Это связано с тем, что в конце активного факела воды происходит резкое снижение скорости каплей из-за увеличения влияния силы трения воды о поверхность камеры. При дальнейшем движении поток стабилизируется и в контуре (сети) появляется годограф плавных скоростей (эпюра - 6). В этом случае среднюю скорость воздуха по оси канала X в первом приближении можно считать равной $2/3 d$, причем у стенок цилиндрического канала и на некотором расстоянии от них она равна нулю. Так как факел воды эжектирует воздух перпендикулярно образующей факела (эпюра - 1), то скорость эжекции определится и количество эжектируемого воздуха при этом составит:

$$Q^2 = V_3 \cdot S_\phi, \text{ м}^3/\text{мин},$$

или

$$Q_3^2 = \frac{2}{3} V_3 \cdot \sin \frac{\alpha}{2} \cdot \frac{\pi R^2 (1 + \sin \alpha / 2)}{\sin \alpha / 2} = \frac{2}{3} V_3 \cdot \pi R^2 (1 + \sin \alpha / 2)$$

При прочих равных условиях эффективность первой схемы А относительно второй схемы Б, увеличивается в n раз, т.е.:

$$n = \frac{Q_3^1}{Q_3^2} = \frac{3}{2} = 1,5 \text{ раз.}$$

Следовательно, количество тонкодисперсных капель воды пропорционально увеличится на это же число и эффективность улавливания тонко дисперсной пыли так же увеличится в 1,5 раза.

Выводы. Приведенные аналитические исследования подтвердили возможность увеличения в эжекторных аппаратах эффективность улавливания опасной тонкодисперсной пыли более чем в 1,5 раза, что позволило снизить запыленность до норм близких к ПДК.

Рассматривается возможность использования теории при решении задачи снижения запыленности за счет аэрогазопылединамических реализаций при разработке аппаратов пылеулавливания с помощью расчетных двухступенчатых эжекторных схем.

The possibility of theory appliance under the solving dust level reducing problem by way of air-gases-dust-dynamic realization under dust-catching apparatus developing with calculative double-level ejective schemes is considered.

Библиографический список.

1. Буянов А.Д. *Управление пыле и гидродинамическими потоками на пылящих процессах.* — Донецк: «Совинтерпрессполиграф», 1992, - 160с.
2. Буянов А.Д. *Применение эжекционных пеногенераторов и укрытия для локализации и подавления пыли.*// *Производственная среда и интенсификация производственных процессов: Сб. трудов.* - Киев: «Знание», 1976, - 25с.
3. Буянов А.Д. *Аналитические исследования воздухообмена в рециркуляционном устройстве ЭПП//Проблемы разработки угольных пластов Донбасса: Сб. трудов.* -Киев: УМК ВО, 1991. -с.78-87.
4. Саранчук В.И., Журавлев В.П., Рекун В.В., Беспалов В.И., Буянов А.Д., Страхова Н.А., Клойзнер В.Х., Саранчук Е.В. *Система борьбы с пылью на промышленных предприятиях:* - Киев: «Наукова думка», 1995, 187 с.
5. Феськов М.И, Буянов А.Д., Давиденко В.А. *Форсуночное обеспыливание и охлаждение воздуха в тупиковых забоях глубоких шахт:* изд. «Світлиця», г.Луганск, 1995, 172с.

МЕТАЛУРГИЯ

*к.т.н., доц. Новохатский А.М.,
(ДонГТУ, г. Алчевск, Украина)*

УПРАВЛЕНИЕ ХОДОМ ДОМЕННОЙ ПЕЧИ ПРИ ОПОЛЗАНИЯХ ГАРНИССАЖА

Приведені результати теоретичних та практичних досліджень керування доменної печі при сповзанні гарніссажу.

Проблема и её связь с научными и практическими задачами.

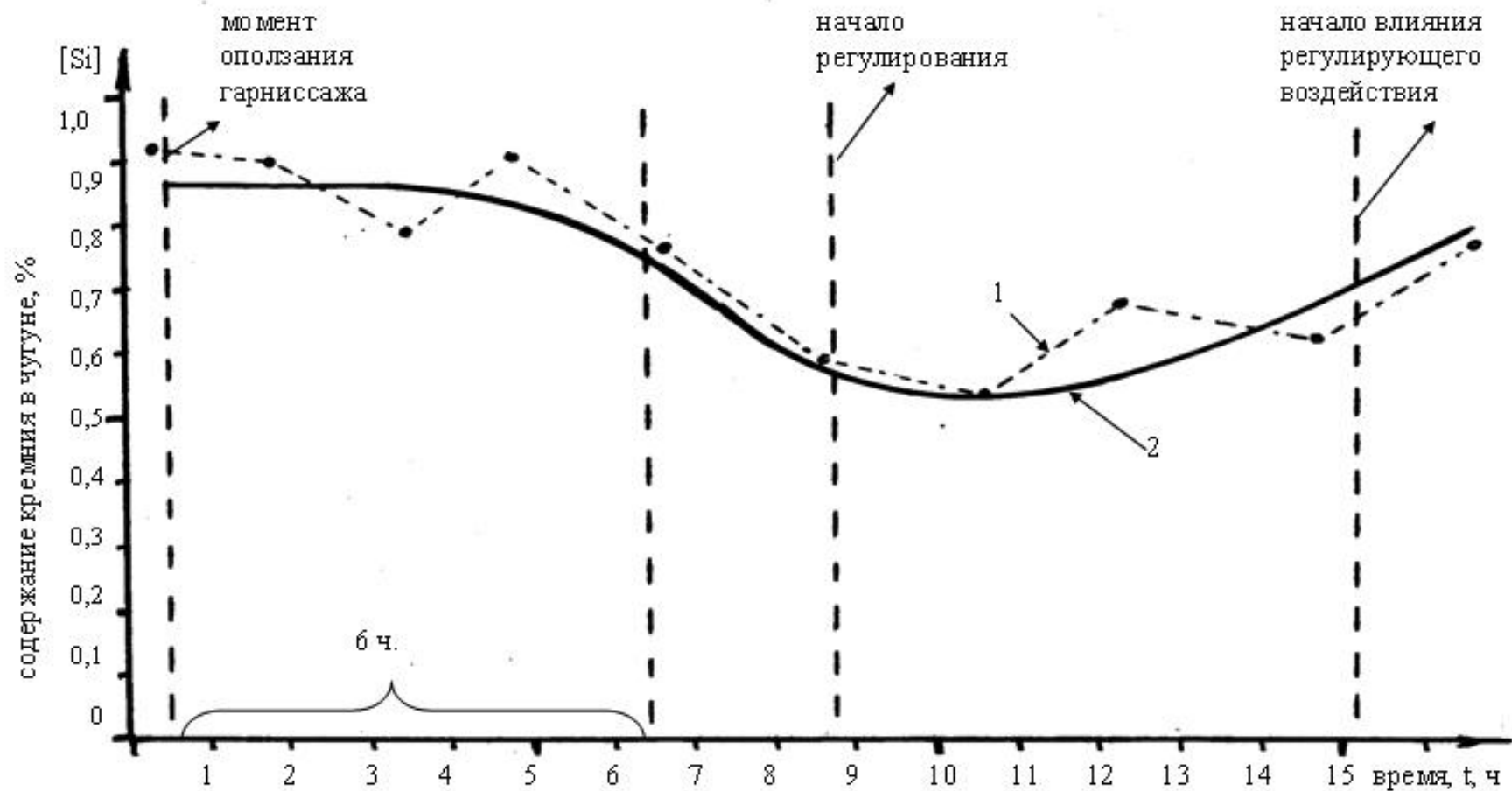
Оползания гарниссажа приводят к резкому похолоданию доменной печи, в результате попадания непроплавленных масс в горн, а также повышению величины тепловых потерь через утончённую футеровку стен шахты, распара и заплечиков.

При похолодании химический состав чугуна изменяется следующим образом: в чугуне уменьшается содержание кремния, марганца и увеличивается содержание серы. Внезапное понижение содержания марганца в чугуне следует рассматривать как первое предупреждение о предстоящем похолодании доменной печи. При переменной температуре горна последняя оказывает влияние на восстановимость марганца в большей степени, чем на кремний. Оползание гарниссажа изменяет также физический нагрев чугуна и шлака – их температура падает, уменьшается жидкотекучесть.

Похолодание печи является наиболее опасным видом расстройства хода доменной печи и поэтому при первых признаках его появления следует принимать радикальные и надёжные меры борьбы.

Анализ практических исследований регулирования хода печи при оползаниях гарниссажа. Существующие технологические приёмы регулирования хода доменной печи при оползаниях гарниссажа включают в себя регулирование рудной нагрузки в зависимости от изменения содержания кремния в чугуне. Эти меры, как видно из рисунка 1, имеют запаздывание на 8-10 часов, что приводит к усугублению похолодания, выравнивание химического состава чугуна становится более длительным процессом, нарушается высокопроизводительная и экономичная работа доменной печи.

Запаздывание регулирования происходит потому, что не существует надёжных средств контроля момента оползания гарниссажа.



1 - изменение содержания кремния в чугунах по выпускам, 2 - линейризованная кривая содержания кремния в чугунах.

Рисунок 1 – Изменение содержания кремния в чугунах при оползании гарниссажа

Гарниссаж оползает в течение 2-3 часов, а затем через 1,5-2,0 часа начинает оказывать своё действие в горне печи. Очередной химический анализ чугуна производится в течение часа. После этого, когда обслуживающий персонал ознакомится с химическим составом чугуна, убедится, что наступает похолодание печи, произведёт изменение рудной нагрузки, а в исключительных случаях даст холостые подачи.

Однако загруженный дополнительный кокс окажет влияние только через 5-6 часов, когда придёт в горн. А на печи в течении смены произойдут отклонения от нормальной работы, характеризующиеся нарушением дутьевого режима, снижением интенсивности доменной плавки, ухудшением дренажных условий в горне, горением воздушных фурм, нарушением графика выдачи продуктов плавки.

Кроме того, чтобы быстрее разогреть печь и не допустить похолодание, обычно дают слишком много кокса, а это ведёт в дальнейшем к чрезмерному разогреву печи, что снова-таки ухудшает работу печи и сопровождается перерасходом кокса. В свою очередь при чрезмерном разогреве печи нарушается дутьевой режим, сход шихты идёт с подстоями и обрывами, развивается периферийный ход, что ещё более повышает вероятность оползания, оставшегося на стенах кладки гарниссажа.

Постановка задачи. Усовершенствовать технологию доменной плавки с целью стабилизации хода доменной печи при оползаниях гарниссажа.

Изложение материала и полученные результаты. Чтобы предотвратить расстройства хода доменной печи, необходимо производить регулирование в момент оползания гарниссажа. Для предотвращения отрицательного воздействия попадания холодных непроплавленных масс на работу печи в момент их оползания, который определяется по скачкообразному расходу воды, идущей на испарительную систему охлаждения доменной печи и, соответственно, увеличению потерь тепла через кладку, необходимо подавать дополнительными скипами и отдельными подачами добавочный кокс. Число добавочных скипов кокса или холостых подач устанавливается в каждом конкретном случае своё, исходя из того, в скольких секторах печи и насколько возросли тепловые потери [1-3].

Количество кокса, необходимое в холостую подачу, рассчитывается исходя из того, что воздействие оползшего гарниссажа на химический состав продуктов плавки проявляется через 5-6 часов после оползания. За это время ($t = 6$ часов) будет произведена $6 \times 8,5 = 51$ подача (8,5 – среднее количество подач в час на доменной печи).

При оползании гарниссажа и увеличении расхода воды, идущей на подпитку баков-сепараторов, на 2500 кг/ч понижение содержания

кремния в чугуне составит на 0,17%. Зная, что изменение кремния в чугуне составит на 0,1% соответствует изменению расхода кокса на 1,2%, вычислим массу холостой подачи. Средняя масса кокса в подачу равна 12500-13000 кг, следовательно за 51 подачу $m_k = 51 \times 12\ 500 = 637\ 500$ кг. Чтобы удержать кремний постоянным, нужно увеличить расход кокса на

$$\frac{0,17 \times 1,2}{0,1} = 2,04 \%, \text{ что составляет}$$

$$637 : 100 \times 2,04 = 13\ 005 \text{ кг}$$

При скачкообразном увеличении расхода воды, идущей на подпитку баков-сепараторов, на 2500 кг/ч необходимо сразу же дать одну-две холостые подачи. Приход в горн дополнительного кокса опаздывает на 1,5-2,0 часа, поскольку на это время его опережают не проплавленные массы гарниссажа. Однако эта мера позволяет несколько стабилизировать работу горна и доменной печи в целом (рис. 2).

После оползания гарниссажа уменьшается толщина защитного изоляционного слоя и увеличиваются тепловые потери, которые необходимо компенсировать изменением рудной нагрузки.

Рассчитаем количество кокса, необходимое для корректировки рудной нагрузки в связи с увеличением потерь тепла через кладку печи.

Изменение расхода воды, идущей на подпитку испарительной системы охлаждения, определим из выражения

$$\Delta V = V_2 - V_1,$$

где V_1 – расход воды до оползания гарниссажа, кг/ч;

V_2 – расход воды после оползания гарниссажа, кг/ч.

$$\Delta V = 5940 - 3420 = 2520 \text{ кг/ч.}$$

Затраты тепла на нагрев воды составляют

$$q_1 = \Delta V \times (t_k^p - t_n) \times 4,18,$$

где q_1 – затраты тепла на нагрев воды, мДж/ч;

t_k^p – температура кипения воды при давлении в системе, равном Р, °С.

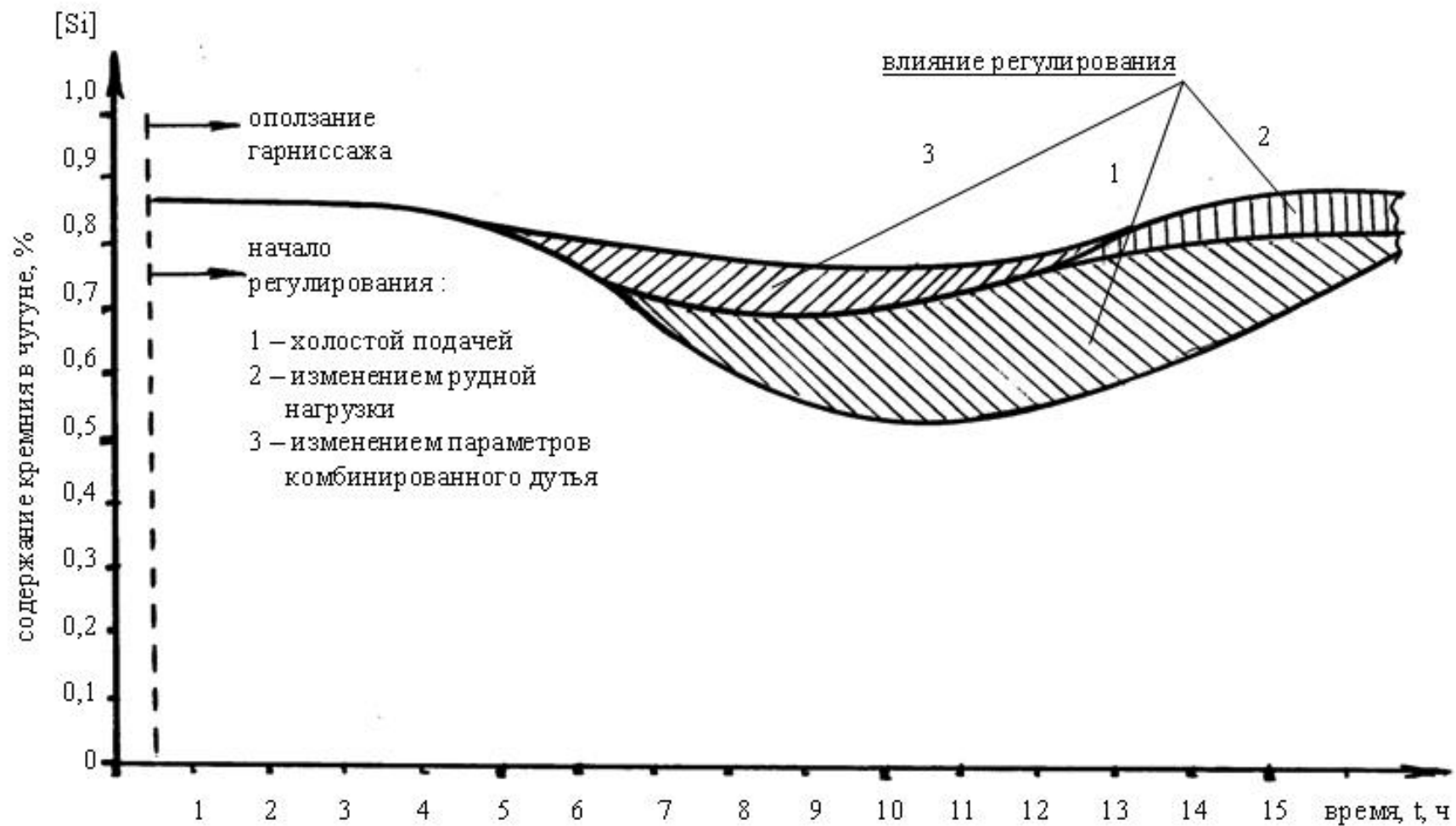


Рисунок 2 – Регулирование хода доменной печи при оползании

t_n – начальная температура воды, °С.
4,18 – теплоёмкость воды, кДж/(кг град)

$$q_1 = 2520(120^0 - 20^0) \times 4,18 = 1053,35 \text{ мДж/ч.}$$

Затраты тепла на испарение воды составляют

$$q_2 = \Delta V \times q_n,$$

где q_2 – затраты тепла на испарение воды, мДж/ч;

q_n – теплота парообразования, мДж/кг.

$$q_2 = 2520 \times 2100 = 5541,73 \text{ мДж/ч.}$$

Суммарные затраты на нагрев и испарение воды составят

$$q = q_1 + q_2,$$

где q – суммарные затраты тепла, мДж/ч.

$$q = 1053,36 + 5541,73 = 6595,09 \text{ мДж/ч.}$$

Приход тепла при сгорании 1 кг кокса составит

$$Q_k = [q_{CO_2} \times \lambda + q_{CO} \times (1 - \lambda)],$$

где Q_k – теплота сгорания кокса, мДж/кг;

q_{CO_2} – теплота сгорания углерода кокса до CO_2 , мДж/кг;

q_{CO} – теплота сгорания углерода кокса до CO , мДж/кг;

λ – степень использования CO .

$$Q_k = 33,388 \times 0,43 + 9,79(1 - 0,43) = 19,937 \text{ мДж/кг.}$$

Количество кокса, необходимое для компенсации потерь тепла в единицу времени после оползания гарниссажа со стенок доменной печи

$$m = \frac{q}{Q_k},$$

$$m = \frac{6595,09}{19,037} = 330 \text{ кг/ч.}$$

При корректировке рудной нагрузки исходя из того, что в среднем загружают 8,5 подач в час, следовательно, для компенсации потерь тепла вследствие оползания гарниссажа нужно добавить $330:8,5 \approx 40$ кг кокса в подачу. Так как минимальное количество кокса, добавляемое в подачу, составляет 50 кг, то загружаем 7 подач дополнительно по 50 кг, а восьмую оставляем без добавочного кокса. Средняя масса кокса в подачу составляет 12500 кг. Доля пятидесяти килограмм от этой массы равна

$$\frac{50}{12500} \times 100 = 0,4\%$$

Увеличение расхода кокса на 0,4% даёт увеличение кремния в чугуне на

$$\frac{0,4 \times 0,1}{1,2} = 0,033.$$

Изменение рудной нагрузки позволит компенсировать тепловые потери через кладку печи, возросшие в результате оползания гарниссажа, и поддержать заданный тепловой уровень на доменной печи.

При составлении пофакторного анализа работы доменной печи необходимо учитывать потери тепла через кладку в результате разгара футеровки как технологический фактор, влияющий на производительность печи и удельный расход кокса.

Так как уже отмечалось выше время движения оползшего гарниссажа до прихода его в горн печи меньше соответствующего времени движения подачи, то регулирующее воздействие дополнительного кокса произойдёт несколько позже влияния расплавленного гарниссажа на химический состав чугуна. Это приведёт к некоторому первоначальному падению кремния (рис. 2), но уже с приходом в горн холостой подачи это падение сильно замедляется (вследствие инерционности доменной печи не происходит резкое увеличение теплового нагрева). А через некоторое время кремний в чугуне начинает расти и вскоре стабилизируется на некотором уровне, несколько меньшем, чем до оползания гарниссажа, вследствие увеличения потерь тепла через кладку, которые компенсируются изменением рудной нагрузки.

Подача холостой подачи и изменение рудной нагрузки сразу же после момента оползания гарниссажа не позволяют полностью в начальный период стабилизировать работу доменной печи. Поэтому для

полной стабилизации теплового уровня работы горна необходимо сразу же после оползания гарниссажа повысить температуру горячего дутья до максимально возможной величины в данных условиях, чтобы увеличить приход тепла снизу. Эта мера приведёт к некоторому увеличению содержанию кремния в чугуне, что даст возможность скомпенсировать уменьшение кремния вследствие влияния оползшего гарниссажа до начала регулирующего воздействия дополнительного кокса.

При похолодании количество дутья можно уменьшить, но надо помнить, что изменение количества дутья обязательно скажется на характере газового потока. Поэтому прибегать к этому следует в крайнем случае. Когда скорость схода подач резко возрастает.

Повышению нагрева печи способствует сокращение расхода пара. Замечено, что при быстром падении нагрева временное уменьшение количества пара на ровности хода печи не сказывается. Правда, сход подач несколько замедляется, однако это благоприятно отражается на стабилизацию теплового состояния печи. Количество пара уменьшается на 2-3 г/м³ за один приём при неизменной температуре горячего дутья.

Регулирование теплового состояния печи паром имеет преимущество перед регулированием температурой горячего дутья, так как в этом случае сохраняется неизменным режим нагрева воздухонагревателей, что имеет особое значение при полной их автоматизации и при работе доменных печей на высокотемпературном дутье.

Для предупреждения заливки фурм шлаком, рекомендуется отключение природного газа на непродолжительный промежуток времени (1-1,5 часа). Когда эта опасность будет устранена и фурмы заработают ярче, расход природного газа следует постепенно увеличить до нормального. При сокращении расхода природного газа необходимо контролировать сход шихты, поскольку можно вызвать подвисяние столба материалов.

Сокращение расхода природного газа вызовет и увеличение температуры в очагах горения, что повлечёт за собой разогрев горна, который необходим для принятия и расплавления оползшего гарниссажа.

В комплексе регулирование хода доменной печи при оползаниях гарниссажа позволяет стабилизировать и нормализировать её работу, сохранить производительность печи, сократить расход кокса и уменьшить горение воздушных фурм [4].

Выводы.

При составлении пофакторного анализа работы печи необходимо учитывать потери тепла через кладку печи в результате разгара футеровки как технологический фактор, влияющий на производительность печи и удельный расход кокса.

Усовершенствована технология управления ходом доменной печи, включающая регулирование параметров комбинированного дутья и изменения режима загрузки шихтовых материалов при обнаружении системой момента оползания гарниссажа и потерь тепла через футеровку нижней части шахты, распара и заплечиков.

Приведены результаты теоретических и практических исследований регулирования ходом доменной печи при оползаниях гарниссажа.

The results of theoretical and practical investigations of regulation for the furnace run during the scull slipping are given.

Библиографический список.

1. Разработать и внедрить систему автоматизированного контроля и коррекции величины коксовой подачи в зависимости от потерь тепла в районе нижней части шахты, распара и заплечиков. Отчёт о НИР (заключительная)/ КГМИ; № ГР 01870020629. – Коммунарск, 1988. – 91с.

2. Новохатский А.М. Система контроля потерь тепла в нижней части доменной печи // Сб. науч. тр. ДонГТУ. – Алчевск. 2007. – Вып.23. – С.153-158.

3. Новохатский А.М. Динамика нарастания и оползания гарниссажа на стенках футеровки доменной печи // Сб. науч. тр. ДонГТУ. – Алчевск. 2007. – Вып. 24. – С.195-204.

4. Способ регулирования теплового состояния доменной печи: А.С. 1488310 А1 СССР. МКИ С 21 В 7/24/ А.М.Новохатский и др. (СССР) № 4247448/23-02; Заявл. 23.02.87; Опубл. 23.06.89. Бюл. №23. –2с.

*к.т.н., доц. Ершов В.М.
(ДонГТУ, г. Алчевск, Украина)*

О ДОСТОВЕРНОСТИ РЕЗУЛЬТАТОВ РЕНТГЕНОВСКОЙ ТЕНЗОМЕТРИИ

Вироблене зіставлення результатів вимірювання напруг рентгеновським і механічним методами при одноосному розтягуванні тонкого зразка в спеціальній приставці дифрактометра.

Показано цілком задовільний збіг результатів тензометрії вищезазваними методами.

Проблема и ее связь с научными и практическими задачами.

Рентгеновский метод измерения остаточных напряжений в металлических заготовках и изделиях находит широкое применение в машиностроительной практике [1]. Однако и по настоящее время ведутся постоянные дискуссии о достоверности результатов рентгеновской тензометрии металлических изделий.

Проблема состоит в том, что часто на практике приходится сопоставлять значения остаточных напряжений, измеренных различными методами, например, механическими и рентгеновскими. Давно было замечено [2], что значения напряжений, измеренных рентгеновским методом, оказывались заниженными по сравнению с результатами механической тензометрии.

В настоящей работе поставлена задача сопоставления результатов рентгеновской тензометрии с уже известными напряжениями, полученными за счет одноосного растяжения тонкого образца в специальной приставке рентгеновского дифрактометра.

Анализ исследований и публикаций.

Рентгеновский метод измерения упругих напряжений в металлических материалах основан на анализе смещения дифракционных линий под действием изменяющихся межплоскостных расстояний в кристаллической решетке [3]. Поэтому точность измерения напряжений зависит от целого ряда факторов, среди которых наиболее важным является модуль упругости материала. При механических измерениях напряжений, исследователи пользуются усредненными значениями упругих констант материала, а в рентгеновском методе приходится учитывать анизотропию модуля упругости, так как под действием напряжений изменение межплоскостных расстояний зависит от направления в кристаллической решетке [4].

Для учета анизотропии модуля упругости, в рентгеновском методе тензометрии приходится рассчитывать значения модуля упругости для тех кристаллографических направлений, по которым ведется регистрация дифракционных линий.

Постановка задачи.

Задачей настоящего исследования является сопоставление экспериментальных данных рентгеновской тензометрии с известными значениями напряжений в металлическом образце.

Изложение материала и его результаты.

Для рентгеновской тензометрии использовали дифрактометр ДРОН-1.5 с железным фильтрованным излучением трубки БСВ-8. Дифрактограммы образцов исследуемых материалов записывали на ленте потенциометра ЭПП-09 при малой скорости движения счетчика квантов (1 угловой градус в минуту).

В качестве исследуемых материалов были выбраны углеродистые и легированные стали с ОЦК решеткой: сталь 10, сталь У8 и сталь 03Н18К9М5Т. Для испытания материала с ГЦК- решеткой применили образцы из поликристаллического никеля.

Тонкие образцы (0.3-0.4 мм) испытуемых материалов подвергали одноосному растяжению на специально сконструированной автором приставке дифрактометра. Схема приставки приведена на рисунке 1.

Основной частью приставки является динамометр в жесткой массивной раме 1, которая крепится на специальном столике 2 винтами 3. Стол с рамой устанавливается в аксиальном гнезде гониометра ГУР-5 и закрепляется специальными винтами. В опорном основании рамы имеются пазы для юстировки приставки по оси рентгеновского пучка общепринятым методом.

Плоский образец 4 укрепляется в захватах 5 и 6 с помощью пластин и болтов 7. Нагрузка от пружины 8, сжимаемой натяжным винтом 9, передается на подвижный захват 5. Для уменьшения силы трения между головкой винта 9 и пружиной 8, стоит упорный подшипник 10.

Тарированная пружина 8 позволяет нагружать образец силой до 120 кг. Величина нагрузки замеряется по сжатию пружины с помощью линейки, укрепленной на раме 1 и подвижного нониуса со значением делений в 0.1 мм.

Все образцы исследуемых материалов перед испытанием проходили термическую обработку, которая включала в себя закалку и средний отпуск (стали 10 и У8) или закалку и старение (сталь 03Н18К9М5Т). Никелевые образцы упрочняли холодной пластической деформацией (прокаткой).

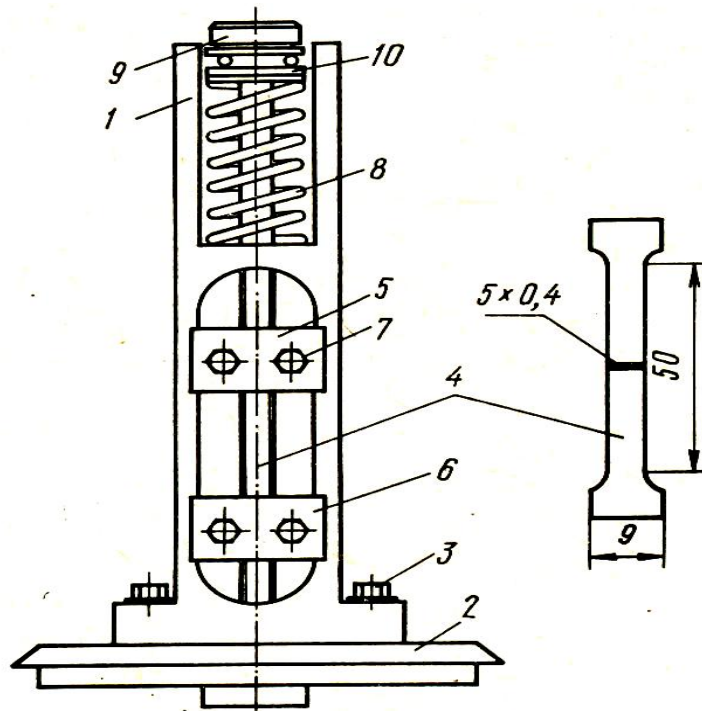


Рисунок 1.- Схема приставки к дифрактометру для изучения процесса деформации плоского образца.

Методика проведения испытания состояла в следующем. Приставку-динамометр устанавливали и юстировали на гониометре дифрактометра. Затем в захваты приставки устанавливали образец, а на его поверхность наносили тонкий слой эталонного вещества (никель, медь). Эталонное вещество давало возможность учесть возможное смещение поверхности образца при его нагружении.

Для рентгеновского измерения напряжений в образце использовали запись дифракционных линий под большими брэгговскими углами (65-75 градусов). Для сталей записывали дифракционную линию (220), а для никеля – (311) и (222) K_{α} . Величину угла отражения рентгеновского луча от атомных плоскостей образца находили по положению центра тяжести фигуры дифракционной линии. По смещению дифракционных линий нагруженного образца по отношению к положению линии ненагруженного его состояния, рассчитывали напряжения по формуле:

$$\sigma_p = E / \mu \cdot \text{ctg } \nu \cdot \Delta \nu ,$$

где E – нормальный модуль упругости; μ - коэффициент Пуассона; ν - угол отражения луча; $\Delta \nu$ – величина углового смещения дифракционной линии, вызванная напряжениями.

Исходя из возможной погрешности в оценке угла отражения дифракционной линии (1 угловая минута), точность оценки напряжений была не хуже ± 10 МПа.

На рисунке 2 приведены результаты измерения напряжений в тонком образце исследуемых материалов при нагружении в приставке.

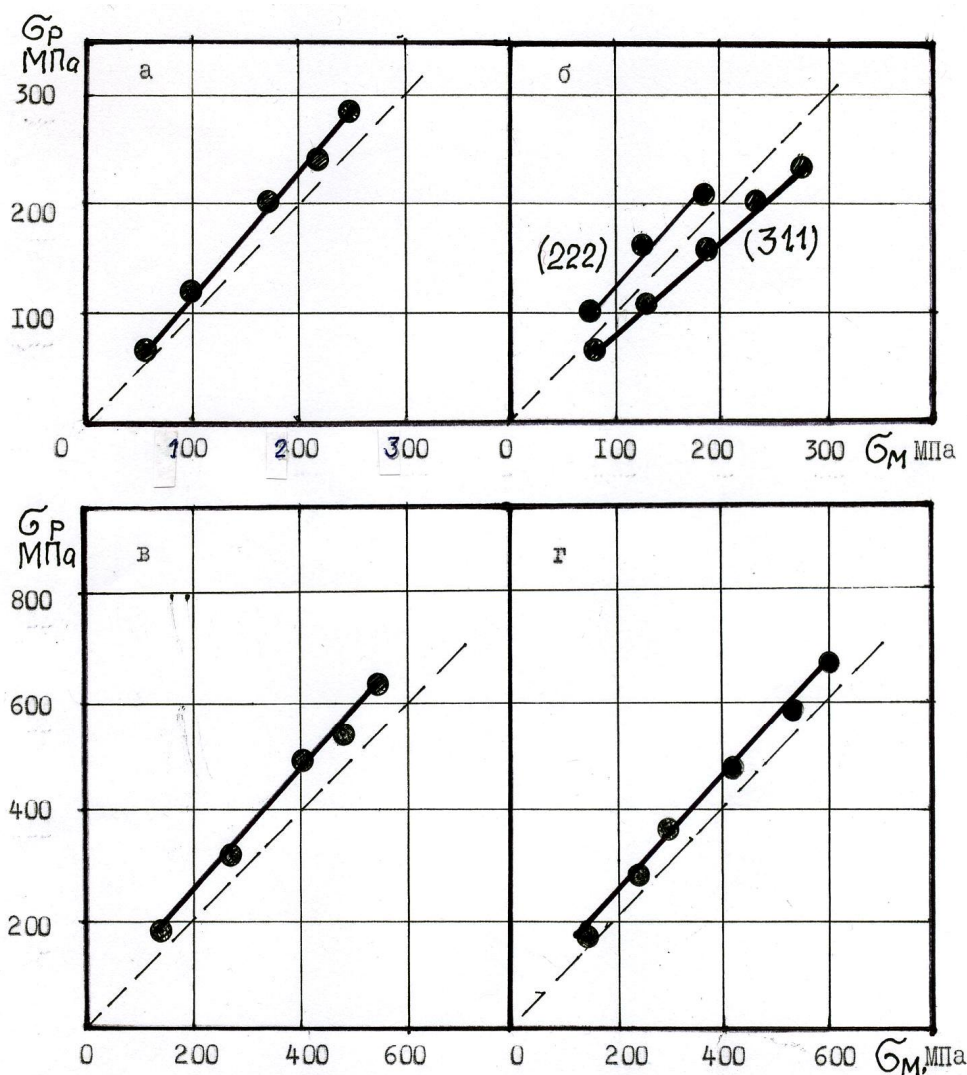


Рисунок 2. – Соотношение между напряжениями, созданными растяжением образца в приставке дифрактометра (σ_M) и напряжениями, измеренными рентгеновским методом (σ_p), для образцов из стали 10 (а), никеля (б), стали У8 (в) и стали 03Н18К9М5Т (г)

Здесь видно, что напряжения, измеренные рентгеновским методом, оказались несколько выше реальных значений, определенных механической нагрузкой на образцы (линия напряжений выше пунктирной линии соответствия). Как для углеродистых, так и для легированной стали, значения напряжений оказались на 10-15% выше реальных (рис. 2 а, в, г).

Причиной завышенных значений напряжений, измеренных рентгеновским методом, в первую очередь следует считать анизотропию

модуля упругости. Действительно, напряжения для никелевого образца, рассчитанные по двум различным дифракционным линиям, оказались по обе стороны от пунктирной линии соответствия сравниваемых методов (рис. 2 б). Поэтому, в рентгеновском методе расчета напряжений нужно использовать не усредненный модуль упругости, а модуль, вычисленный по упругим коэффициентам для заданного кристаллографического направления [5].

Второй причиной завышенных рентгеновских данных по напряжениям может быть то обстоятельство, что в условиях рентгеновской съемки на дифрактометре с фокусировкой по Брэггу-Брентано, дифракционные линии дают только те кристаллы, у которых отражающие плоскости параллельны поверхности образца. Другие же кристаллы, с отличной ориентировкой, могут создавать плосконапряженное состояние в образце, поэтому считается, что данным рентгеновским методом возможно измерение только суммы главных напряжений ($\sigma_1 + \sigma_2$), а для определения составляющих этой суммы нужно применять метод $\sin^2\varphi$.

Выводы и направления дальнейших исследований.

В результате выполненных экспериментов было установлено, что рентгеновский метод тензометрии обладает способностью давать достоверные значения напряжений в металлических материалах и разница со значениями напряжений, измеренных механическими методами, не может превосходить 10-15%.

Применительно к возможностям дифрактометрической приставки, целесообразно произвести разделение главных напряжений σ_1 и σ_2 , используя метод $\sin^2\varphi$.

Произведено сопоставление результатов измерения напряжений рентгеновским и механическим методами при одноосном растяжении тонкого образца в специальной приставке дифрактометра.

Показано вполне удовлетворительное совпадение результатов тензометрии вышеназванными методами.

Comparison of results of measuring of tensions by x-ray photography and mechanical methods at одноосном tension of thin standard in the special prefix of dyfraktometra is produced.

The fully satisfactory coincidence of results is shown tenzometryy afore-named methods.

Библиографический список.

1. Подзей А.В., Сулима А.М. Технологические остаточные напряжения. – М.: Машиностроение. 1973. С. 216.

2. Сандлер Н.М. *Определение напряжений I рода (макронапряжений)*. Сб. *Рентгенография в физическом металловедении*. – М.: Металлургия. 1961. С. 151.

3. Комяк И.И., Мясников Ю.Г. *Рентгеновские методы и аппаратура для определения напряжений*. – Л.: Машиностроение. 1972. С. 88.

4. Русаков А.А. *Рентгенография металлов*. – М.: Атомиздат, 1978. С. 510.

5. Бернштейн М.Л., Займовский В.А. *Механические свойства металлов*. – М.: Металлургия. 1979. С. 495.

*к.т.н., доц. Ершов В.М.
(ДонГТУ, г. Алчевск, Украина)*

АУСТЕНИТИЗАЦИЯ СТАЛЬНОЙ ПОВЕРХНОСТИ В УСЛОВИЯХ СУХОГО ТРЕНИЯ

Приведені результати рентгенографіювання поверхні ролика в процесі сухого тертя пальчикового зразка. Показано, що при терті відбувається часткове фазове перетворення структури феррито-карбїду в аустеніт, кількість якого періодично змінюється.

Проблема и ее связь с научными и практическими задачами.

Известно, что износостойкость деталей машин и механизмов в значительной степени определяется структурным состоянием поверхности трения контактирующих тел [1]. Причем надежно установлено [1-3], что исходная структура контактирующих поверхностей в процессе трения существенно изменяется. Так, разогрев поверхностного слоя в зоне фрикционного контакта может вызывать фазовые превращения, диффузионные процессы, окисление и износ деталей. Все вышеназванные процессы к настоящему времени изучены крайне недостаточно.

Целью настоящей работы является изучение структурных изменений в поверхностном слое металлических материалов в условиях сухого трения, когда наиболее активно развиваются тепловые процессы и связанные с ними структурные изменения.

Анализ исследований и публикаций.

В монографии Любарского И.М и Палатника Л.С. [2] приведены экспериментальные данные по непрерывному рентгенографированию поверхности трения термоупрочненного ролика из стали 20X2H4A и контртела из стали 30. Авторами было установлено, что во время активного трения происходит процесс аустенитизации тонкого поверхностного слоя ролика, а количество аустенитной фазы периодически изменяется. Эта периодичность объясняется авторами явлением наклепа аустенитной фазы и ее сносом с поверхности ролика.

Высокие температуры в зоне фрикционного контакта должны активизировать диффузионные процессы в контактирующих телах, в результате чего может происходить активный обмен атомами легирующих элементов, что дополнительно вызывает повышение устойчивости «горячего аустенита» к распаду и мартенситному превращению при охлаждении. На эти процессы указывают ряд исследователей [3.4].

Постановка задачи.

В задачу настоящей работы входит установление зависимости фазового состава поверхностных слоев трущихся тел от возможных диффузионных процессов обмена атомами легирующих элементов между ними.

Изложение материала и его результаты.

Для проведения настоящего исследования была использована та же методика, что и в работе [2]. Отличием от нее было только то, что механизм трения с приводом был установлен на гониометре ГУР-5 рентгеновского дифрактометра ДРОН-1.5, а контролируемая поверхность ролика располагалась на оптической оси гониометра.

Схема регистрации дифракционной картины с поверхности ролика приведена на рисунке 1.

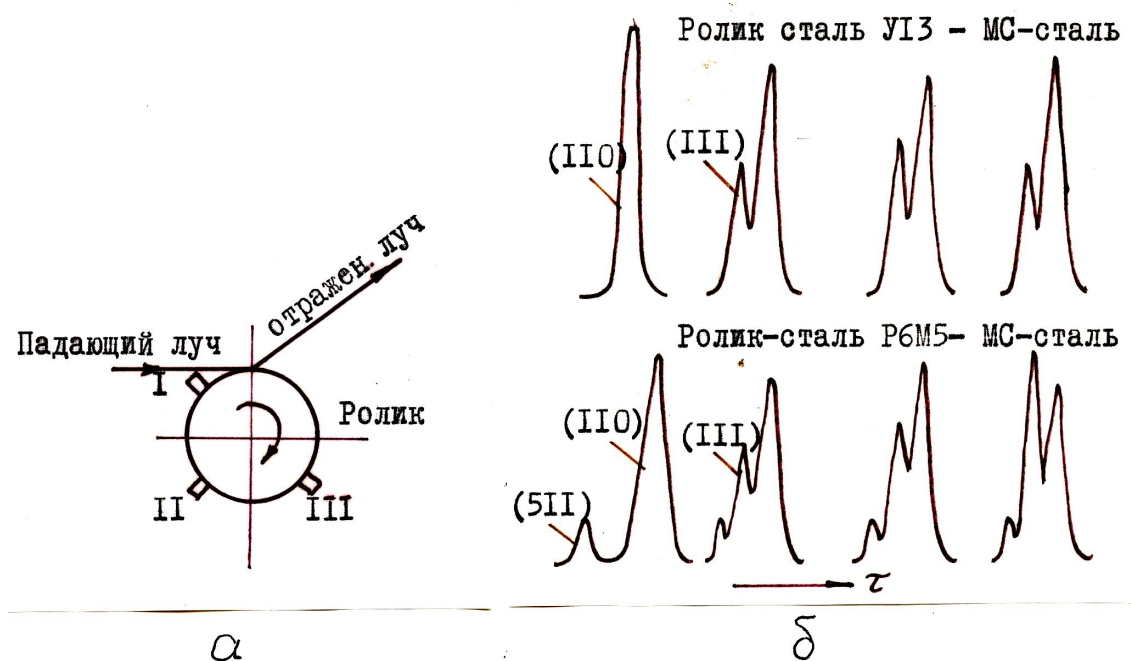


Рисунок 1. – Схема съемки дифрактограмм с поверхности вращающегося ролика (а) и вид дифрактограмм для различных комбинаций пар трения и их зависимости от времени регистрации (τ) (б). Цифрами I, II, III показано возможное положение контртела при испытании.

Как и в работе [2], ролик приводился во вращение электродвигателем и один оборот ролика совершал за 0.04 с. Располагая пальчиковый образец в различных местах поверхности ролика (I, II, III), можно было изменять время регистрации дифрактограммы от момента трения.

С помощью пружинного механизма в приставке создавалась нагрузка на пальчиковый образец от 10 до 40Н.

Запись дифрактограммы длилась 15-20 с, после чего она повторялась на протяжении 8-10 минут. Продолжительность испытания ограничивалась этим временем, так как при дальнейшем продолжении испытания существенно изменялись условия трения. Из-за быстрого износа плоской поверхности образца при сухом трении, площадь контактной зоны интенсивно увеличивается, удельное давление падает, а тепловыделение растет. Поэтому мы ограничились рассмотрением только начального этапа испытания, когда идет приработка трущихся тел и удельное давление имеет максимальное значение.

Ролики (диаметром 45 мм и толщиной 6 мм) были изготовлены из: инструментальной углеродистой стали У13А (1.28%С) и быстро-режущей стали Р6М5. Предварительно их подвергали закалке с оптимальных температур, обрабатывали холодом, а затем проводили отпуск по типовой технологии [4]. После шлифовки ролики проходили рентгеновский анализ на содержание остаточного аустенита в поверхностном слое. Для испытания были выбраны ролики без заметного количества остаточного аустенита на поверхности.

Пальчиковые образцы изготавливали из одностипных с роликами материалов, а также из: стали Х12М; мартенсито-старееющей стали 03Н18К9М5Т (далее – МС-сталь) и модельного безуглеродистого сплава Н35 (34.5%Ni). Все образцы были упрочнены закалкой с отпуском или холодной пластической деформацией (Н35).

Рентгенографирование начинали на холостых оборотах ролика, после чего плавно нагружали пальчиковый образец с усилием в 10Н. С этого момента вели последовательную запись дифрактограмм рядом-стоящих линий (111) аустенита и (110) феррита. Для съемки использовали железное фильтрованное излучение трубки БСВ-8. Пример последовательной записи дифрактограмм приведен на рисунке 1 б.

По угловому положению максимумов дифракционных линий аустенита и феррита, рассчитывали параметры кристаллической решетки фаз. Предварительный анализ погрешности в измерении постоянной решетки фаз по выбранным линиям, дал величину в $\pm 0,0003$ нм.

Оценку объемного содержания фаз проводили по результатам измерения интенсивности дифракционных линий аустенита и феррита без учета объемной доли карбидной фазы (сталь Р6М5). Учесть изменение объемной доли карбидной фазы в процессе трения весьма трудно, так как при нагреве карбиды могут растворяться, выделяться или коагулировать. С учетом вышеназванного допущения, точность измерения объемного процента аустенитной фазы составляла $\pm 5\%$.

На рисунке 2 приведены результаты измерения содержания аустенитной фазы в поверхностном слое и параметров его кристаллической решетки для пары, где ролик изготовлен из стали У13А, а

пальчиковые образцы – из сталей Р6М5, У13А, МС-стали и сплава Н35. При этом образец располагался в положении I (рис.1), то есть тогда, когда время от момента активного трения, до момента рентгенографирования составляло всего 0.004 с.

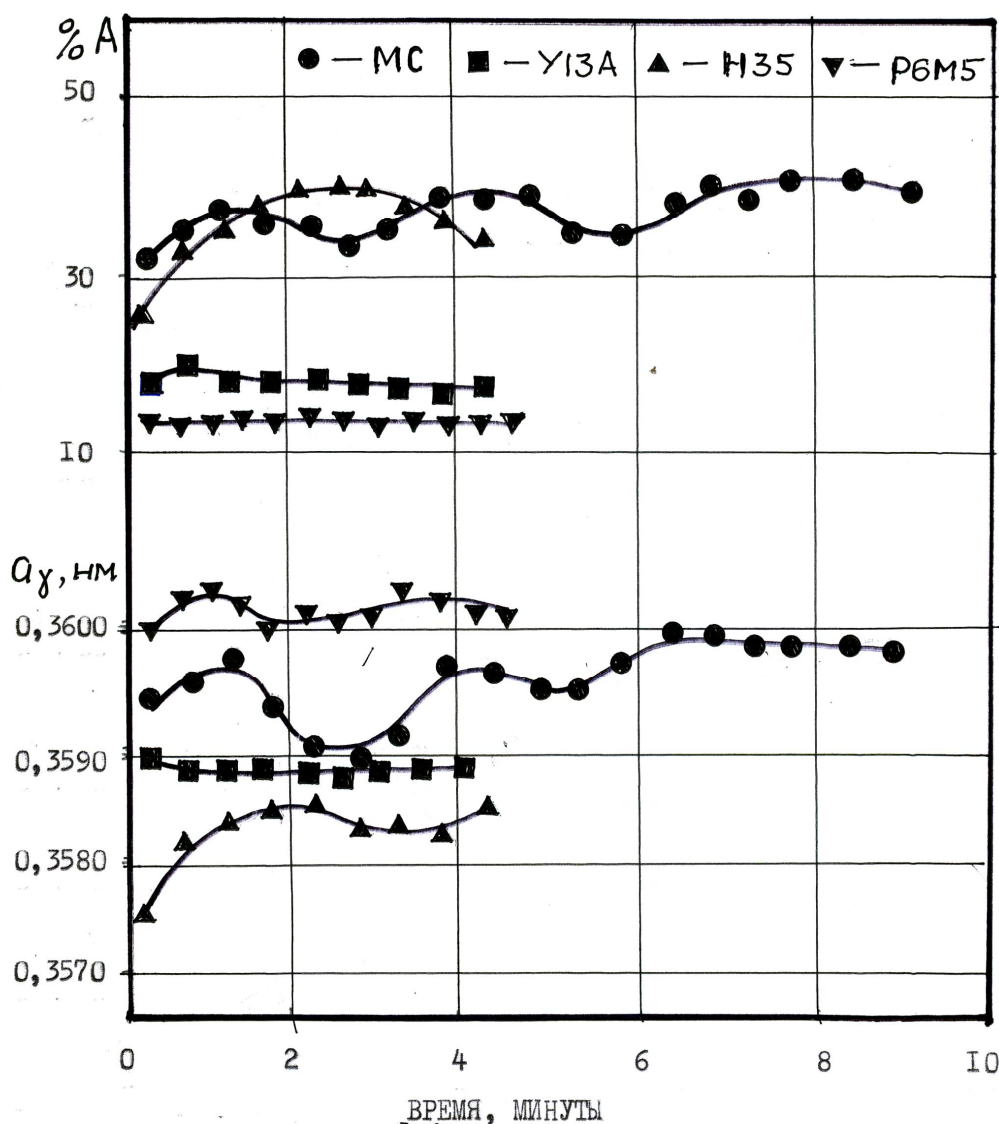


Рисунок 2. – Временная зависимость (с момента начала испытания) количества остаточного аустенита в поверхностном слое (%A) и параметров его кристаллической решетки (a_γ) для пар трения из различных материалов, где ролик всех пар был изготовлен из стали У13А.

Как следует из данных рисунка 2, наибольшее количество „горячего” аустенита в поверхностном слое получается в том случае, когда образец был изготовлен из МС-стали или из никелевого сплава Н35. Другие же материалы образца (стали У13А и Р6М5), дали значительно ме-

ньшее количество „горячего аустенита”. Этот факт однозначно указывает на активную роль никеля – легирующего элемента, который за счет диффузии в контактной зоне, насыщает аустенит и делает его устойчивым к распаду при охлаждении.

Измерение параметров решетки аустенита показали, что они имеют наибольшие значения в случае применения в качестве материала контртела стали Р6М5, а наименьшие – Н35. Никель сплава Н35, надо полагать, растворяется в аустените поверхностного слоя ролика и вытесняет из него атомы углерода, что и приводит к минимальному параметру кристаллической решетки ГЦК-фазы.

Обращает на себя внимание и тот факт, что количество „горячего аустенита” и параметр его решетки периодически изменяются по ходу испытания. Причем возрастание количества аустенита может происходить непосредственно при увеличении параметра его кристаллической решетки, а это однозначно свидетельствует о периодическом насыщении аустенита легирующими элементами и удалении тонких пленок поверхностного материала во внешнюю среду. Измерение ширины дифракционных линий аустенитной и ферритной фаз не подтвердили ранее высказанно авторами работы [2] предположения о сильном наклепе фаз в процессе испытания. Ширина дифракционных линий аустенитной и ферритной фаз практически не изменялась по ходу испытания, что, как нам кажется, связано с развитием динамической рекристаллизации в фазах.

Испытание пар, где ролик был изготовлен из быстрорежущей стали Р6М5 (рис. 3), также показал активную роль никеля. Здесь, как и в предыдущем случае (рис. 2), сталь с большим количеством никеля при трении дала наибольшее количество „горячего аустенита”. Правда, параметр кристаллической решетки аустенита здесь оказался наименьшим и слабоизменяющимся при испытании.

Другие материалы (стали У13А и Х12М), использованные для изготовления образца-контртела, создали пока необъяснимую ситуацию с количеством „горячего аустенита” и параметрами его кристаллической решетки. Действительно, возрастание (сталь Х12М) или убывание (сталь У13А) количества „горячего аустенита” не согласуется с циклически изменяющимся параметром его кристаллической решетки. Это явление требует дальнейших исследований.

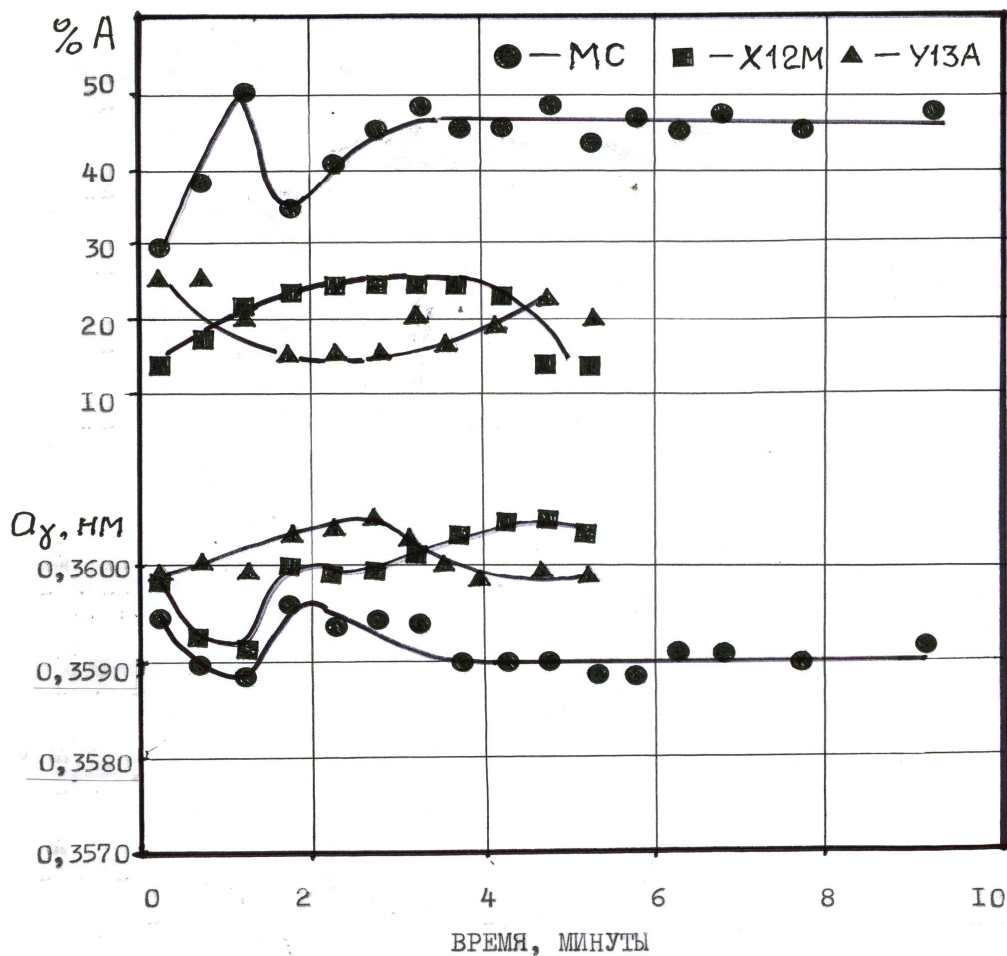


Рисунок 3. – Временная зависимость (с момента начала испытания) количества аустенита (%A) и параметров его кристаллической решетки (a_γ) для пар трения из различных материалов, где ролик всех пар был изготовлен из стали Р6М5.

Далее в настоящей работе была сделана попытка определения температуры поверхностного слоя ролика на различных участках его дорожки. Размещая образец из одноименного с роликом материала в позициях I, II и III и измеряя смещение дифракционных линий, вычисляли параметры кристаллической решетки ферритной фазы. По известному коэффициенту термического расширения ферритной фазы [5] рассчитали температуру в различных участках поверхности ролика. Результаты расчета показали, что в непосредственной близости от фрикционного контакта температура поверхности достигает 500-550⁰С, а в позиции III, то есть перед заходом образца в зону трения, температура слоя уже снижается до 250 – 300⁰С.

Выводы и направления дальнейших исследований.

Проведенное исследование подтвердило факт аустенитизации поверхностного слоя вращающегося ролика при сухом трении.

Установлено явление диффузии легирующего элемента (Ni) с поверхности контртела в поверхностный слой ролика, что вызывает образование большого количества «горячего аустенита».

Дальнейшие исследования должны быть направлены на выяснения аномального характера фазовых изменений структуры в фрикционной зоне стальных пар, которые изготовлены из материалов с большим количеством карбидной фазы (стали Р6М5, Х12М и У13А).

Приведены результаты рентгенографирования поверхности ролика в процессе сухого трения пальчикового образца. Показано, что при трении происходит частичное фазовое превращение структуры феррито-карбидной смеси в аустенит, количество которого периодически изменяется

The results of X-ray surface of roller in the process of dry friction of pal'chikovogo standard are resulted. It is shown that there is partial phase transformation of structure of ferrit-carbide mixture in austenyt at friction, the amount of which changes periodically.

Библиографический список.

1. Хебда М., Чичинадзе А.В. Справочник по триботехнике. Теоретические основы. Т.1. М.: Машиностроение. 1989. С. 400
2. Любарский И.М., Палатник Л.С. Металлофизика трения. – М.: Металлургия. 1976. С. 176.
3. Рыбакова Л.М., Куксенова Б.А. Структура и износостойкость металла. – М.: Машиностроение. 1982. С. 212.
4. Марковский М.А., Кириевский Б.А. Изменение химического состава поверхностного слоя сплавов, деформированных трением. Проблемы трения и изнашивания. – К.: Тэхника. 1974. С. 105.
5. Еришов В.М. Высокотемпературное рентгеновское исследование термического расширения карбидных фаз. //Известия высших учебных заведений. Черная металлургия . 1984. 8. С. 101.

*к.т.н., доц. Ершов В.М.
(ДонГТУ, г. Алчевск, Украина)*

ИЗМЕНЕНИЯ В ДИНАМИКЕ КРИСТАЛЛИЧЕСКОЙ РЕШЕТКИ АУСТЕНИТА ПЕРЕД МАРТЕНСИТНЫМ ПРЕВРАЩЕНИЕМ

Приведені результати рентгенівського дослідження спотворень кристалічних ґрат аустеніту Fe-Ni - сплавів перед початком мартенситного перетворення.

Показано, що кристалічні ґрати високотемпературної фази перед перетворенням втрачають свою стійкість.

Проблема и ее связь научными и практическими задачами.

Известно, что мартенситное превращение относится к фазовым переходам первого рода [1], при котором основные теплофизические свойства изменяются скачкообразно. Однако, как показали многочисленные исследования последних лет [2-5], процессу перестройки кристаллической решетки высокотемпературной фазы в мартенсит предшествует своеобразная подготовительная стадия, при которой атомы в своих колебаниях получают некоторое преимущественное направление, реализуемое при перестройке решетки.

Всякое изменение в нормальном спектре колебаний атомов кристаллической решетки порождает динамические искажения, которые могут ускорять или тормозить развитие бездиффузионного превращения.

В настоящей работе сделана попытка анализа изменений в динамике кристаллической решетки аустенита и мартенсита железоникелевых сплавов непосредственно перед превращением $\gamma - \alpha$.

Анализ исследований и публикаций.

Авторы обзора, посвященного анализу механизма мартенситного превращения в металлах и сплавах [1], указали на крайнюю необходимость экспериментальных исследований динамики кристаллической решетки аустенитной фазы. И, как указывают эти авторы, в предстоящих исследованиях необходимо определить как величину динамических искажений решетки, так и протяженность температурного интервала подготовительной стадии предстоящего превращения.

В ряде работ, выполненных на железоникелевых сплавах методами ЯГР [2], протонного теневого эффекта [3] и электронной микроскопии [4], перед началом перестройки решетки было обнаружено существенное изменение в фононном спектре колебаний атомов $\gamma - \alpha$ фазы.

В своих ранних исследованиях [5-7], автор настоящей работы применил методику высокотемпературной рентгенографии для анализа состояния кристаллической решетки аустенита перед мартенситным превращением. При измерении интенсивности дифракционных линий высокотемпературной фазы в сплавах на основе железа и кобальте была обнаружена аномалия в температурной зависимости интенсивности ряда линий. Эта аномалия выражалась в значительном ослаблении дифракционных линий в предмартенситном интервале температур, когда низкотемпературной фазы в структуре еще не обнаруживалось. Все это однозначно свидетельствовало о возникновении в кристаллической решетке динамических искажений.

Постановка задачи.

В настоящей работе, являющейся продолжением наших ранних исследований, стоит задача измерения динамических искажений кристаллической решетки ГЦК и ОЦК-фаз железоникелевых сплавов по результатам анализа интенсивности дифракционных линий этих фаз в широком температурном интервале.

Изложение материала и его результаты.

Как и в предыдущих работах автора [5,6], для исследования использовался метод высокотемпературной рентгеновской дифрактометрии.

Измерение интенсивности рентгеновских дифракционных линий проводили по результатам съемки образцов на дифрактометре ДРОН-1.5 в железном фильтрованном излучении. Нагрев и охлаждение тонких пластин-образцов (20x10x1 мм) из модельных сплавов Н25 (0.03%С и 24,8%Ni) и Н29 (0.04%С и 29.2%Ni) выполняли в вакуумной приставке дифрактометра УВД-2000.

Для уменьшения тепловой инерции нагревающего устройства приставки, нами была изменена (облегчена) конструкция держателя образца, а термопара непосредственно контактировала с его поверхностью. Изменение конструкции держателя было вызвано необходимостью быстрого охлаждения образца, чтобы избежать возможного атомного упорядочения в ГЦК-фазе.

Регулировка температуры в приставке осуществлялась с помощью высокоточного тиристорного регулятора ВРТ-2, позволяющего поддерживать температуру образца с точностью $\pm 0.5\text{K}$.

Все образцы исследуемых сплавов первоначально были разделены на две части: одна часть из них подвергалась вакуумному отжигу при 1300К – 1 час, другая – после аналогичного отжига была дополнительно охлаждена в жидком азоте. Таким образом, структура образцов первой группы представляла собой однофазный аустенит (Н29) или аустенит с мартенситом (Н25). Структура образцов второй группы состояла только

из мартенсита (Н25) или из мартенсита с небольшим количеством остаточного аустенита (Н29).

Образцы с исходной структурой мартенсита нагревали в приставке дифрактометра до температуры 600К и после кратковременной выдержки (5 мин.) ступенчато охлаждали до комнатной температуры. При каждой остановке в охлаждении, производилась запись дифракционных линий (110) и (220) α – фазы.

Отожженные образцы сплавов нагревали в приставке дифрактометра до температуры 1300К и после кратковременной выдержки ускоренно (200-250⁰С/мин) охлаждали до 625К, ниже которой производили ступенчатое охлаждение до комнатной температуры. При каждой температурной остановке производилась регистрация дифракционных линий (200) и (311) аустенита.

Для учета возможной ошибки в измерении интенсивности дифракционных линий, предварительно оценивали дрейф прибора и проверяли линейность шкалы интенсивметра. С учетом вышеназванных факторов, суммарная ошибка в измерении интенсивности линий, определяемой по площади фигур за вычетом фона, не превышала 1% при уровне значимости в 0.95.

По результатам измерения интенсивности линий аустенитной и мартенситной фаз и пользуясь известной методикой [8], рассчитывали изменение динамических искажений кристаллической решетки фаз $\Delta\bar{u}^2$ по формуле:

$$\Delta\bar{u}^2 = (\bar{u}_{\text{дин}}^2)_{T_1} - (\bar{u}_{\text{дин}}^2)_{T_2} = \frac{\ln \frac{\alpha_1}{\alpha_2}}{\frac{4}{3} \frac{\pi^2}{a^2} [(h_2^2 + k_2^2 + l_2^2) - (h_1^2 + k_1^2 + l_1^2)]}$$

где: $(\bar{u}_{\text{дин}}^2)_{T_1, T_2}$ – динамические отклонения атомов от положения равновесия при двух температурах: T_1 и T_2 :

α_1 и α_2 - отношения интенсивностей дифракционных линий плоскостей (hkl) для первого и второго порядка отражения;

a – параметр кристаллической решетки фазы.

На рисунке 1 приведена температурная зависимость интенсивности дифракционных линий аустенитной и мартенситной фаз сплавов Н25 и Н29 при охлаждении от температуры 600К (мартенсит) и 625К (аустенит). Здесь видно, что у мартенсита сплавов интенсивность линий при снижении температуры монотонно возрастает, а у аустенитной фа-

зы обнаруживается два различных участка. На начальном участке охлаждения отмечается возрастание интенсивности линий, как у мартенсита, но ниже некоторой температуры, интенсивность линий начинает уменьшаться, что свидетельствует об аномалии в поведении кристаллической решетки аустенита. Причем характерно, что данная аномалия распространяется на все линии двух порядков отражения рентгеновских лучей.

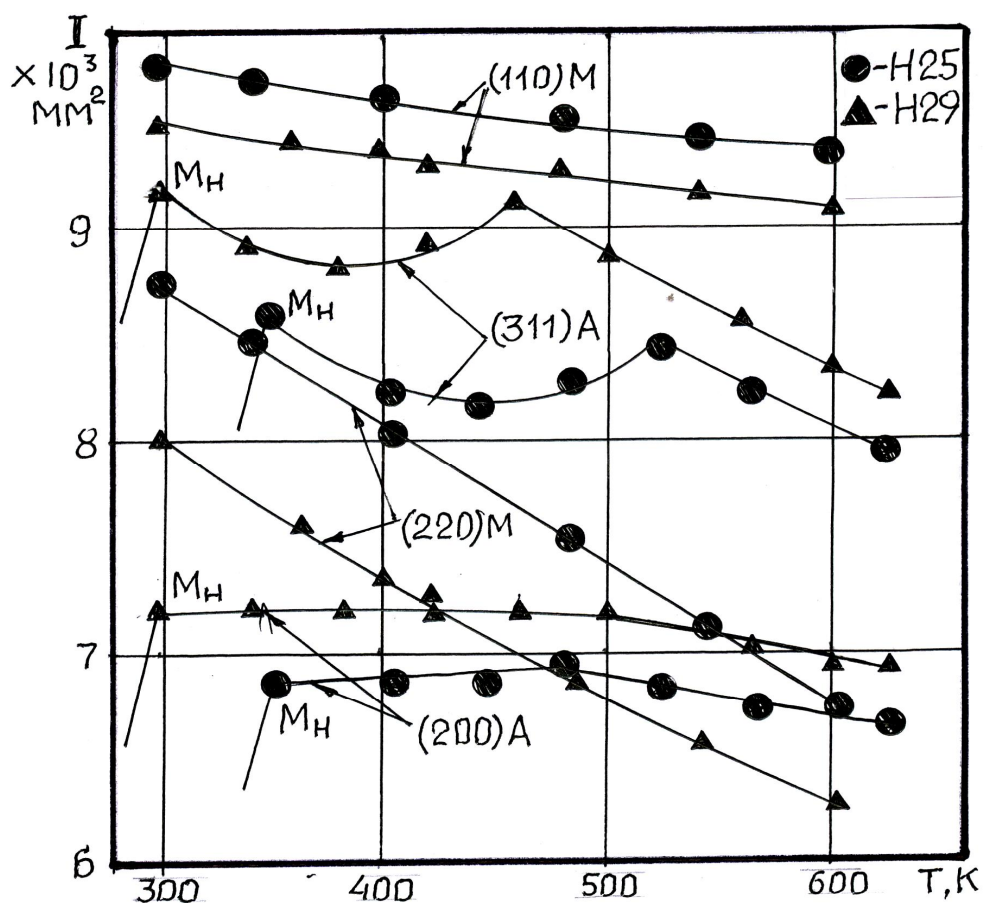


Рисунок 1. – Температурная зависимость интенсивности дифракционных линий аустенитной и мартенситной фаз сплавов H25 и H29 Mn – температура начала мартенситного превращения сплава.

По результатам измерения интенсивности дифракционных линий, рассчитали величину изменения динамических искажений кристаллической решетки аустенита и мартенсита, при этом расчет $\Delta \bar{u}^2$ вели по отношению к исходной величине динамических искажений в фазах при 625K. Поэтому, по мере снижения температуры образца, величина $\Delta \bar{u}^2$ должна снижаться, что и наблюдается у мартенситной фазы сплавов (рис.2). Иной характер температурной зависимости величины $\Delta \bar{u}^2$ у аустенитной фазы: с началом охлаждения образца от 625K динамические

искажения решетки ГЦК-фазы плавно уменьшаются, но ниже некоторой температуры, эффект снижения $\Delta\bar{u}^2$ приостанавливается и далее - возрастает. Температура начала аномального изменения динамических искажений хорошо согласуется со значениями T_0 – температуры термодинамического равновесия аустенитной и мартенситной фаз.

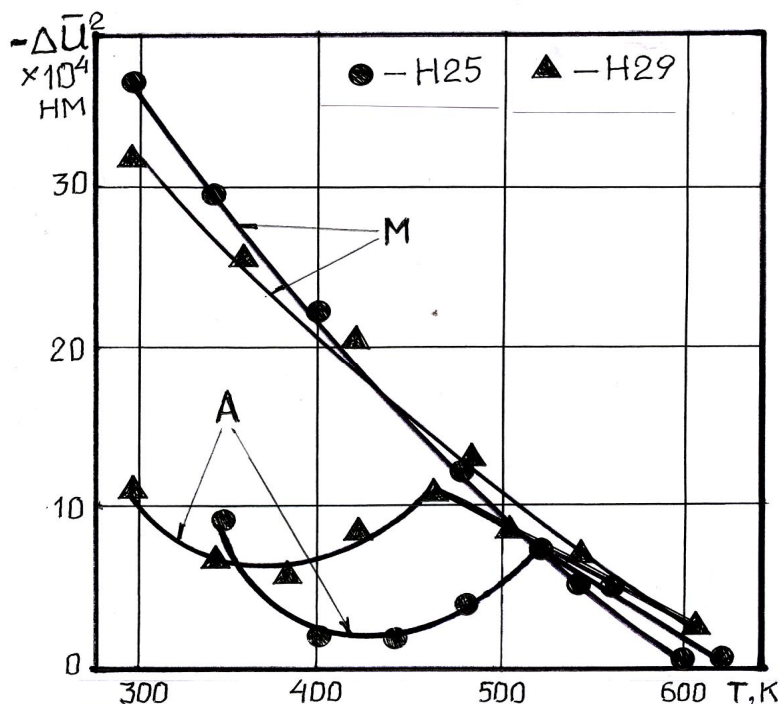


Рисунок 2. – Температурная зависимость изменения динамических искажений кристаллической решетки мартенситной (М) и аустенитной (А) фаз сплавов Н25 и Н29 при охлаждении от 600-625К.

Возрастание динамических искажений в решетке аустенита в предмартенситном интервале температур означает существенное ослабление в ней межатомной связи и, соответственно, потерю ее устойчивости. Своеобразное размягчение решетки перед превращением свидетельствует о наличии подготовительного периода, когда система готовится к предстоящей перестройке кристаллической решетки.

В то же время пока трудно объяснить некоторое уменьшение искажений кристаллической решетки аустенита на завершающем этапе предмартенситного интервала охлаждения, при непосредственном приближении к точке M_n . Возможно, на начальном этапе охлаждения (ниже T_0) амплитуда колебаний всех атомов непрерывно нарастает, а затем, постепенно происходит своеобразное перераспределение мод фононного спектра. Низкочастотные колебания атомов локализуются в областях, непосредственно прилегающих к дефектам структуры, то есть к

местам предпочтительного образования новой, в данном случае, мартенситной фазы.

Выводы и направления дальнейших исследований.

На основе результатов работы по измерению динамических искажений кристаллической решетки аустенитной и мартенситной фаз, можно утверждать, что началу мартенситного превращения аустенита всегда предшествует подготовительная стадия, когда атомы в своих колебаниях ориентируются в направлении предстоящей перестройки решетки. Протяженность этой стадии составляет 120-150⁰С.

Дальнейшие исследования предмартенситного состояния кристаллической решетки аустенита должны быть направлены на детальный анализ его фононного спектра.

Приведены результаты рентгеновского исследования искажений кристаллической решетки аустенита Fe – Ni - сплавов перед началом мартенситного превращения.

Показано, что кристаллическая решетка высокотемпературной фазы перед превращением теряет свою устойчивость.

The results of x-ray photography research of distortions of crystalline grate of austenyt of Fe-Ni - alloys before the beginning of martensyt transformation are resulted.

It is shown that the crystalline grate of high temperature phase before transformation loses the stability.

Библиографический список.

1. Тяпкин Ю.Д., Лясоцкий И.В. Внутрифазовые превращения. Сб. Итоги науки и техники. Серия «Металловедение и термическая обработка», т, 15. – М.: Машиностроение. 1981, С. 47-110.

2. Юрчиков Е.Е., Меньшиков А.В. Исследование состояния аустенита перед мартенситным превращением методом эффекта Мессбауэра. Физика металлов и металловедение. 1971. т. 32. С. 168

3. Коробейников В.П., Богачов И.Н. Исследование предмартенситного состояния с использованием ориентационных эффектов при взаимодействии заряженных частиц с монокристаллами. Сб. Мартенситные превращения. - К.: Наукова думка. 1978. С. 54.

4. Пушин В.Г., Романова Р.Р., Буйнов Н.Н. Предмартенситная неустойчивость перед $\gamma - \alpha$ превращением в железоникелевых сплавах. Там же. С. 47.

5. Ершов В.М. Некоторые особенности состояния аустенита перед мартенситным превращением. Физика металлов и металловедение, 1976. т. 41. С. 1312.

6. Ершов В.М. Рентгенографическое исследование состояния решетки аустенита сталей и сплавов вблизи температуры начала мартенситного превращения. *Физика металлов и металловедение*. 1978. т. 46. С. 331.

7. Ершов В.М. Рентгенографическое исследование состояния кобальта перед фазовым переходом ГЦК – ГПУ. *Физика металлов и металловедение*. 1977. т. 43. С. 188.

8. Миркин Л.И. *Справочник по рентгеноструктурному анализу поликристаллов*. – М. Физматгиз, 1961. С. 768.

*к.т.н., доц. Пупков В.С.,
(ДонДТУ, г. Алчевск, Украина)*

РЕГЕНЕРАЦИЯ СЕТЧАТОГО ФИЛЬТРОЭЛЕМЕНТА ИМПУЛЬСАМИ ПОВЫШЕННОГО ДАВЛЕНИЯ

Запропоновані розрахункові залежності для моделювання імпульсної інтенсифікації протитечійної регенерації сітчастих фільтрів. Визначені параметри імпульсів тиску достатніх для повного видалення забруднень з осередків сітчастого фільтроелемента. Показано, що у вирішальній мірі, ефективність імпульсної інтенсифікації визначається крутизною фронту імпульсу тиску.

Проблема и ее связь с научными и практическими задачами. Сетчатые фильтры обладая, в целом такими преимуществами, как гарантированная тонкость очистки и малые массогабаритные показатели, имеют один существенный недостаток – незначительную грязеемкость. Поэтому в их конструкциях используют различные механизмы саморегенерации сетчатого фильтроэлемента [1]. В гидравлических линиях, имеющих значительные колебания расхода жидкости, широкое распространение получила противоточная регенерация, основанная на удалении задержанных перегородкой частиц обратным потоком жидкости. Но опыт эксплуатации фильтров такой конструкции показал, что полное восстановление фильтровальных свойств достигается только в редких случаях [2].

Анализ исследований и публикаций. Повышению эффективности противоточной регенерации способствует локализация участков промываемой поверхности [2]. Большие перспективы имеет способ интенсификации противоточной регенерации с использованием импульсов повышенного давления [3]. Известны решения, где создания импульсов основано на использовании энергии сжатого воздуха [4] и применении электрогидравлического эффекта [5]. Общим недостатком вышеприведенных работ следует отнести слабую теоретическую обоснованность данных методов. Для эффективного их применения требуется уметь определять параметры импульса повышенного давления достаточные для удаления частицы загрязнителя из ячейки сетки.

Постановка задачи. Целью данной работы является определение основных параметров, которыми определяется работоспособность им-

пульсного способа интенсификации. А именно – амплитуды и времени нарастания импульса повышенного давления.

Изложение материала и его результаты. Поскольку наибольшие трудности при регенерации создают частицы соизмеримые с размером ячейки сетки [6] а силы, которые удерживают частицу, обусловлены совместными упругими деформациями системы частица – проволоки сетки [7], можно составить следующую расчетную схему для моделирования выхода частицы из ячейки сетки (рис.1).

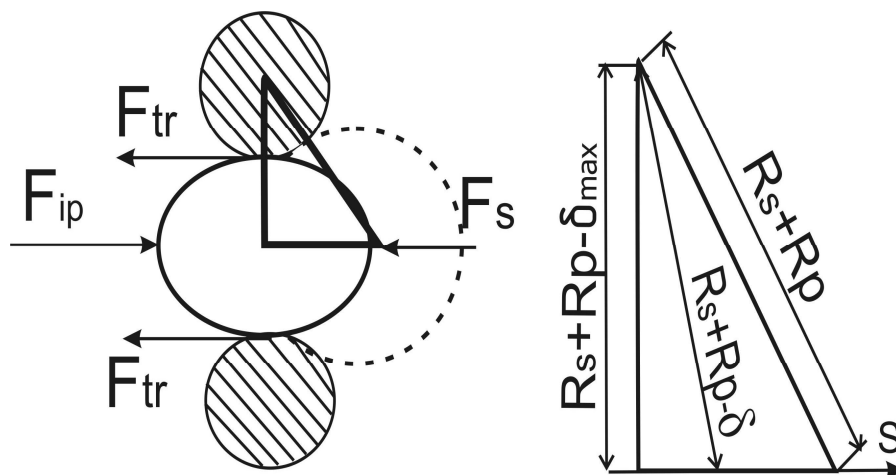


Рисунок 1 – Расчетная схема очистки сетки. R_s – радиус проволоки сетки; δ_{\max}, δ – величина совместной контактной упругой деформации системы «частица–проволока сетки» начальная и текущая, соответственно

При составлении расчетной модели приняты следующие допущения:

– на частицу действует результирующая сила импульса давления F_{ip} , сила трения F_{tr} и сила сопротивления движению F_s , состоящая из силы лобового сопротивления F_{ls} и силы, обусловленной эффектом присоединенной массы F_{pr} ;

– частица удерживается в ячейке сетки силами трения, обусловленными упругими контактными деформациями;

– частица в начальный момент времени зажата в ячейке по миделевому сечению.

При этих условиях уравнение движения твердой сферической частицы радиусом R_p и плотностью ρ_p описывается следующим дифференциальным уравнением:

$$\rho_p \frac{4\pi R_p^3}{3} \frac{d^2 s}{dt^2} = F_{ip} - F_{tr} - \rho \frac{2\pi R_p^3}{3} \left(\frac{d^2 s}{dt^2} \right) - \frac{33}{4} \pi R_p \rho \nu \frac{ds}{dt}, \quad (1)$$

где $\frac{ds}{dt}$ – скорость центра масс частицы; ν – кинематическая вяз-

кость жидкости; ρ – плотность жидкости.

Последние два слагаемых в правой части уравнения (1) представляют собой силу, связанную с эффектом присоединённой массы и силу лобового сопротивления. Сила тяжести, для условий рассматриваемой задачи, пренебрежимо мала и не учитывается.

Сила трения F_{tr} определяется следующим образом [7]:

$$F_{tr} = fK_g \delta^{1.5},$$

где f – коэффициент трения (взят с учетом того, что коэффициент трения покоя для рассмотренных материалов в 1,46 раза больше коэффициента трения движения [8]; δ – величина текущей деформации системы «частица–проволока сетки»; K_g – приведенная жесткость этой системы [7].

Для связи между путем, пройденным частицей, и величиной текущей деформации системы «частица–проволока сетки» используем следующую зависимость, полученную из геометрических соображений (рис. 1):

$$\delta = R_p + R_s - \sqrt{(R_p + R_s - \delta_{\max})^2 + s^2},$$

где δ_{\max} – начальная деформация системы «частица – проволока сетки», которая возникла в результате процесса засорения; s – путь, пройденный частицей в направлении выхода из ячейки сетки.

Результирующую силу импульса давления будем определять по следующей зависимости [9]:

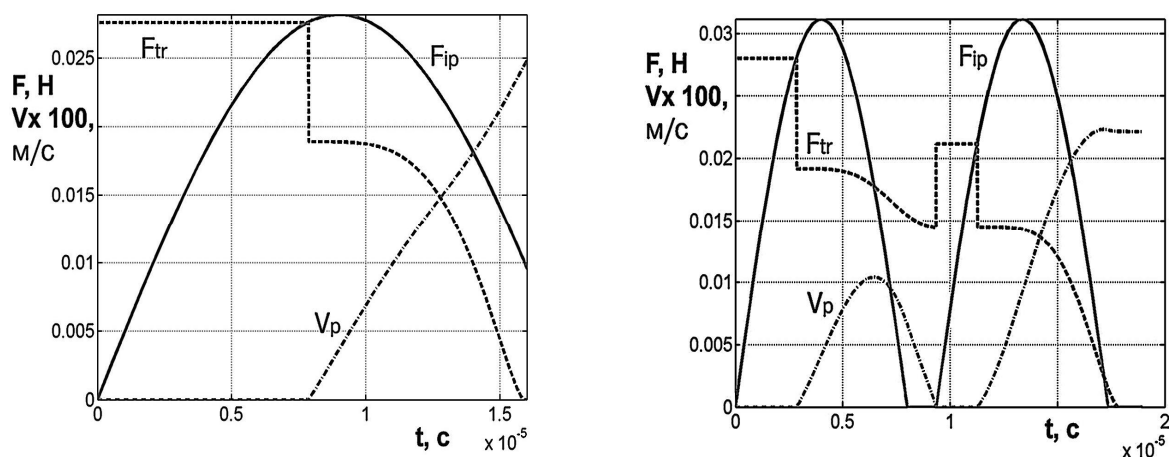
$$F_{ip} = (2R_p)^2 \cdot p_a \cdot \left[\alpha \left(\frac{\tau \cdot c}{2R_p} \right)^\beta + \gamma \right] \cdot \sin\left(\frac{\pi}{\tau} t \right), \quad (2)$$

где c – скорость звука в жидкости; p_a – амплитудное значение импульса давления; τ – время нарастания импульса давления; α, β, γ – коэффициенты зависящие от параметров сетки.

С учетом данных, полученных в работе [9], для сеток с соотношением $R_p/R_s = 1.5$ коэффициенты, входящие в уравнение (2), имеют следующие значения: $\alpha = 5,426$; $\beta = -0,974$; $\gamma = -0,000567$.

Подставляя, полученную зависимость для определения F_{ip} в уравнение (1), получаем возможность промоделировать процесс движения частицы загрязнителя при воздействии на нее импульса давления.

Результаты двух характерных расчетов, для различных импульсов давления, представлены на рис. 2. В обоих расчетах была принята латунная сетка №300 с размером ячейки $\Delta_s = 0.3$ мм, материал частиц уголь, размер частиц $d_p \approx 0.3$ мм, загрязнения сформированы при максимальном перепаде давления на сетке $\Delta p_{max} = 30$ кПа.



а) $p_a = 4,2$ МПа и $\tau = 18$ мкс

б) $p_a = 2$ МПа и $\tau = 8$ мкс

Рисунок 2 – Результаты моделирования процесса выхода частицы загрязнителя из ячейки сетки.

Анализ графиков показывает, что движение частицы начинается в момент, когда сила давления на частицу превысит величину силы трения. Ступенчатое изменение силы трения вызвано различием величин коэффициента трения покоя и скольжения. Следует отметить, что использование импульсов, с малым временем нарастания τ , позволяет обеспечить требуемое усилие при меньших амплитудах давления, одна-

ко при импульсах со временем нарастания $\tau < 15$ мкс одного импульса, для полного выхода частицы, может быть недостаточно (рис. 2 б).

Выводы и направления дальнейших исследований. Таким образом, исследовано влияние амплитуды и продолжительности импульса повышенного давления на динамику частицы загрязнителя в режиме интенсификации противоточной регенерации. Расчетом показано, что влиянием силы лобового сопротивления в данной задаче допустимо пренебрегать. Приведены примеры расчета, подтверждающие работоспособность метода импульсной интенсификации противоточной регенерации сетки. Показано, что эффективность импульсной интенсификации в решающей степени определяется крутизной фронта импульса повышенного давления.

Предложены расчетные зависимости для моделирования импульсной интенсификации противоточной регенерации сетчатых фильтров. Определены параметры импульсов давления достаточных для полного удаления загрязнений из ячеек сетчатого фильтроэлемента. Показано, что в решающей мере, эффективность импульсной интенсификации определяется крутизной фронта импульса давления.

Calculation dependences are offered for the design of impulsive intensification of regeneration of the reticulated filters. The parameters of impulses of pressure of sufficient for a complete delete contaminations are certain from the cells of net of filter. It is rotined that in a decision measure, efficiency of impulsive intensification is determined the steepness of wavefront pressure.

Библиографический список.

1. Горшков В.А. Очистка и использование сточных вод предприятий угольной промышленности. – М.: Недра, 1981. – 269с.
2. Мочалин Е.В., Петренко А.В., Кривошея П.Н. Моделирование режима обратной промывки самоочищающегося фильтра// Вестник НТУ «ХПИ», 2001. – Вып. 129. – С.161-168.
3. Берестюк Г.И. Регенерация фильтров для разделения суспензий. – М.: Химия, 1978. – 96с.
4. Способ регенерации напорных фильтров АС СССР № 1063439А
5. Юткин Л.А. Электродравлический эффект. –Л.: Машиностроение, 1986. –253 с.
6. Пупков В.С., Иванова Е.О. Анализ остаточных загрязнений сетчатых фильтров // Сб. научн. тр. ДГМИ (ДонГТУ) Вып. 19 – Алчевск: ДонГТУ, 2005. – С. 302–308.

7. Пупков В.С. Влияние кинетической энергии частиц на процесс загрязнения сетчатого фильтроэлемента // Сборник ИГТМ НАН Украины Геотехническая механика Вып. № 50, с.212-218.

8. Куприн А.И. Безнапорный гидротранспорт. – М.: Недра, 1980. – 244с.

9. Пупков В.С., Кулик В.А., Серода И.Н. Силовое воздействие импульса повышенного давления на частицу загрязнителя: Сб. науч. тр./ Алчевск: ДГМИ(ДонГТУ), 2005. – Вып. 20. – С. 305 –314.

*к.т.н., доц. Мосягин Н. А.,
к.т.н., доц. Чекалов А.Н.,
ст.преподаватель Стародубов С.Ю,
студент Ерошенко И.В.
(ДонГТУ, г. Алчевск, Украина)*

ВЛИЯНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ НА ТОЧНОСТЬ ЗУБОШЛИФОВАНИЯ

Наведено результати теоретичних досліджень, одержані залежності, які описують ступінь впливу характеристик жорсткості верстата на точність зубошліфування.

Проблема и её связь с научными и практическими задачами.

Высокоточные шлифованные зубчатые колеса нашли широкое применение в различных отраслях машиностроения благодаря меньшим габаритам и весу, низкому уровню шума и вибраций, высокой эксплуатационной надежности и долговечности.

Одним из самых распространенных видов оборудования для получения высокоточных колес являются зубошлифовальные станки с эталонным обкатным барабаном и регулируемым либо нерегулируемым механизмом обката, в которых деформации упругой системы являются одним из основных факторов, влияющих на точность обработанных зубчатых колёс.

Анализ исследований и публикаций. Анализ отечественных и зарубежных исследований показывает, что изучению влияния упругой системы станка уделяется большое внимание. В то же время работы по исследованию станков с регулируемыми механизмами обката практически отсутствуют.

Постановка задачи. Цель работы – исследование степени влияния крутильного и изгибного контуров упругой системы станка на точность зубошлифования.

Изложение материала и его результаты. Точность и производительность зубошлифования существенно зависит от свойств и поведения упругой системы (УС), расчетная схема которой показана на рис. 1. Ввиду их слабой связанности уравнения движения изгибной и крутильной систем будут иметь следующий вид:

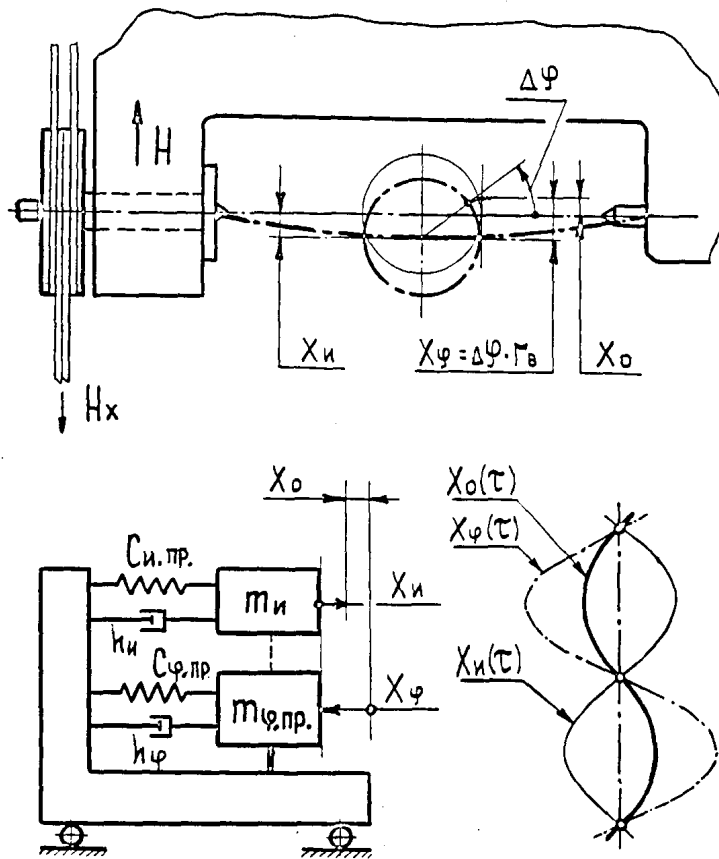


Рисунок 1 – Схема и модель механизма обката

$$\begin{aligned}
 m \cdot \ddot{X}_u + h \cdot \dot{X}_u + C_{u,пр} \cdot X_u &= P_{(\square)} + C_{u,пр} \cdot X_u(\tau), \\
 I \cdot \ddot{\phi} + h \cdot \dot{\phi} + C_{\phi,пр} \cdot \phi &= P(\tau) \cdot \frac{d_s}{2} + C_{\phi,пр} \cdot \phi(\tau),
 \end{aligned}
 \tag{1}$$

где m – приведенная масса оправки с изделием,
 h_u, h_ϕ – коэффициенты демпфирования изгибной и крутильной систем,
 $X_u, \dot{X}_u, \ddot{X}_u$ и $\phi, \dot{\phi}, \ddot{\phi}$ – соответственно линейные и угловые перемещения, скорости и ускорения изделия,
 $P(\tau)$ – усилие резания:

$$P(\tau) = k_p t_\phi,$$

где k_p – коэффициент жесткости резания,
 t_ϕ – фактическая глубина резания:

$$t_{\phi} = t_o - \left(\frac{d_g}{2} \cdot \Delta\varphi + \Delta X_u + \Delta X_{ш.к.} \right),$$

где $\Delta X_{ш.к.} = \frac{P(\tau)}{C_{ш.к.}}$ – смещение шлифовального круга;

t_o – заданная глубина резания,

$C_{и.пр.}$, $C_{ф.пр.}$, $C_{ш.к.}$ – соответственно жесткости изгибной и крутильной систем, шлифовального круга,

I – приведенный момент инерции обкатного барабана с присоединенными к нему массами,

d_g – диаметр изделия,

$X_{u(\tau)}$ – кинематическое возбуждение в изгибной системе.

Преобладающее влияние на точность оказывает крутильная система, имеющая более высокую податливость. Общая ошибка профиля зубьев f_{fr} , вызванная деформациями крутильной системы механизма обката при шлифовании нулевым и "К"-методами (без учета процесса резания) определяется зависимостью:

$$f_{fr} = \frac{d_g}{D} \left[\left(\frac{\omega}{\omega_c} \right)^2 \cdot H \cdot \sin \omega t + \frac{\sum \left(\frac{\omega}{\omega_c} \right)^2 \cdot X_{1k} \cdot \sin(\omega t + \Phi)}{\sqrt{\left[1 - \left(\frac{\omega}{\omega_c} \right)^2 \right]^2 + \left(2h \cdot \frac{\omega_k}{\omega_c} \right)^2}} \right], \quad (2)$$

где d_g , D – диаметры изделия и барабана,

ω , ω_k , ω_c – частоты воздействия и собственная частота крутильной системы,

H – длина хода каретки обката,

Φ – диссипативная функция системы.

Первая составляющая уравнения проявляется в равномерном отклонении профиля зуба от заданного и может быть исправлена за счет изменения диаметра обката d_g . Вторая часть представляет собой сумму динамических ошибок от источников внешних возмущений и проявляется в виде циклической ошибки профиля.

В результате деформаций УС станка от действия инерционных сил и сил резания при сравнительно низкой частоте воздействия (в до-резонансной зоне) возникают погрешности, которые можно считать не зависящими от частоты входного воздействия. При этом величина деформации УС будет определяться статическими коэффициентами.

В результате перенастроек станка изменяются параметры механизма обката (приведенная масса, демпфирование, приведенная жесткость...). Возникающая ошибка при одном и том же входном воздействии будет изменяться. В случае зубошлифования сравнительно больших

колес необходимо учитывать влияние момента инерции изделия. Так как крутильная жесткость присоединения изделия в большинстве случаев значительно выше жесткости лент, можно записать:

$$f_{fr} = \left(\frac{r_g}{R^3} \right) \cdot \frac{\omega^2}{C_l} \cdot (I + I_u) \cdot H \cdot \sin \omega t = \frac{d_g}{D} \cdot \frac{\omega^2}{C_l} \cdot H \cdot \sin \omega t \left[\frac{I}{R^2} + \left(\frac{d_g}{D} \right)^2 \cdot \frac{m_u}{2 \cos^2 \alpha} \right] \quad (3)$$

где α – угол зацепления,

$$I_u = \frac{m_u r^2}{2},$$

$$r = \frac{r_g}{\cos \alpha},$$

H – длина хода каретки обката.

Как видно, влияние изделия на точность зубчатых колес возрастает с увеличением его диаметра и массы и изменяется пропорционально квадрату отношения d_g/D , т.е. в значительной степени зависит от настройки механизма обката.

Анализ взаимодействия изгибной и крутильной систем показывает, что их движения находятся в противофазе и общая ошибка профиля равна разности смещения и под действием инерционных сил.

$$\begin{aligned} f_{fro} = f_{fj} - f_{fru} &= \frac{d_g}{D} \left(\frac{\omega}{\omega_{c,j}} \right)^2 \cdot H \cdot \sin \omega t - \left(\frac{\omega}{\omega_{c,u}} \right)^2 \cdot H \cdot \sin \omega t = \\ &= \frac{\omega^2 \cdot H \cdot \sin \omega t}{C_{л.лр}} \left(\frac{d_g}{D} \cdot m_{лр} - \frac{C_{л.лр}}{C_u} \cdot m_u \right), \end{aligned} \quad (4)$$

где C_u – суммарная изгибная жесткость оправки с изделием в центрах,

$C_{л.лр}$ – суммарная приведенная жесткость лент,

m_u – масса изделия.

В зависимости от степени влияния изгибного и крутильного контуров отклонения могут иметь положительные или отрицательные значения, либо взаимно компенсироваться, т.е. существует принципиальная возможность исключения погрешности от действия инерционных сил путем подбора соответствующих жесткостей оправки с изделием и лент.

При возвратно-поступательном движении каретки обката с изделием в центрах и дополнительной каретки возникают инерционные силы, что ведет к увеличению съема металла у головки зуба (уменьшению

фактического диаметра обката), а также встречное смещение изделия в горизонтальной плоскости, обусловленное податливостью изделия в центрах (центров и оправки). Основное влияние оказывает крутильная система и величина погрешности профиля будет определяться мгновенным изменением длины лент на линии действия

$$f_{fr} = \frac{d_g}{D} \cdot \Delta L = H \cdot \frac{m_{np}}{C_{л.нр}} \cdot \frac{2\pi^2 n^2}{3600} \cdot \sin \omega t \quad (5)$$

Откуда
$$n^2 = 182,5 \cdot \frac{C_{л.нр}}{I} \cdot \frac{R^2}{H} \cdot f_{fr \max}; \quad (6)$$

Зная предельную величину погрешности профиля $f_{fr \max}$ можно из зависимости (6) определить допустимое число ходов n каретки обката.

Выводы и направление дальнейших исследований.

1. Величина погрешности профиля зуба, связанная с действием инерционных сил и сил резания снижается с увеличением диаметра обкатного барабана и уменьшением настраиваемого соотношения диаметров обката и барабана (d_g/D) и растет с увеличением скорости обката. При шлифовании колес с диаметром d_g , большим диаметра D , возрастет чувствительность к точности изготовления и настройки, а также влиянию внешних возмущений. Для получения высокоточных колес целесообразно применение обкатных барабанов большего диаметра, чем диаметр обката (d_g) шлифуемого колеса.

2. Составляющие погрешностей профиля, вызванные действием изгибной и крутильной систем могут быть компенсированы за счет соответствующего подбора их приведенных жесткостей.

3. Погрешность профиля зуба, вызванная инерционными нагрузками, может быть компенсирована за счет корректировки диаметра обката.

Приведены результаты теоретических исследований, получены зависимости, которые описывают степень влияния характеристик жесткости станка на точность зубошлифования.

The results of theoretical researches are resulted, dependences which describe the degree of influencing of descriptions of inflexibility of machine-tool on exactness of zuboshlifovaniya are got.

Библиографический список.

1. Пановко Я.Г. Основы прикладной теории колебаний и удара / Я.Г.Пановко, - Л.: Машиностроение, 1986. – 320с.

*к.т.н., доц. Мосягин Н.А.,
к.т.н., доц. Чекалов А.Н.,
ст. преподаватель Стародубов С.Ю.
студент Корецкий Ю.В.,
студент Таровик А.Б.
(ДонГТУ, г. Алчевск, Укрaina)*

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ПРОФИЛЬНЫХ ВАЛОВ

Надана стисла характеристика засобів виготовлення профільних валів, пропозиції щодо підвищення продуктивності та точність їх виготовлення з використанням універсального обладнання.

Проблема и её связь с научными и практическими задачами. Профильные соединения получают всё более широкое применение в различных машинах и механизмах. К достоинствам профильных соединений относятся их значительные эксплуатационные и технологические преимущества по сравнению с наиболее распространёнными шлицевыми и шпоночными соединениями. В то же время специальное оборудование для изготовления профильных поверхностей отечественной промышленностью не выпускаются, а зарубежное является дорогим и сложным. В связи с этим проблема использования имеющихся станков для этих целей является актуальной.

Анализ исследований и публикаций. Анализ отечественных и зарубежных исследований показывают, что большое внимание уделяется вопросам совершенствования конструкций станков для обработки профильных соединений и технологии их обработки [1,2,3,4].

Постановка задачи. Целью работы является исследование возможности применения, способов наладки и настройки станков общего назначения и анализ путей повышения обработки на них профильных валов.

Изложение материала и полученных результатов. При изготовлении РК-профильных валов существенное упрощение кинематики и конструкции станков достигается при использовании метода однокоординатного формообразующего движения [1, 2]. В этом случае для получения равноосного профиля могут быть использованы универсальные станки. Номенклатура необходимого металлорежущего оборудования сокращается. В равноосном соединении осуществляется точное автоматическое центрирование, но при этом имеется возможность заклинива-

ния в сопрягаемой паре. Поэтому для передачи момента при одновременном осевом перемещении, например, зубчатого колеса или блока, рекомендуется применять профильные соединения типа РК с числом граней больше трех (РК-5; РК-7) или срезанный равноосный профиль типа РКс. Контур типа РК образован непрерывным профилем. Срезанный же профиль типа РКс относится к прерывистым.

При изготовлении РК-профилей применяются две схемы обработки: двух- и однокоординатная. При двухкоординатной схеме РК-профиль получается при равномерном вращении заготовки в случае задания режущему инструменту или заготовке относительного движения по траектории эллипса, у которого малая ось равна $2e$, а большая – $2Ne$, где e – эксцентриситет РК-профиля; N – число граней профиля.

Уравнение эллипса:

$$e = \frac{R-r}{2\cos(\alpha/2)}. \quad (1)$$

Для бескопирного получения равноосного контура за рубежом применяются станки с двухкоординатным принудительным перемещением. Сложность кинематики этих станков, в которых реализуется синусоидальное (косинусоидальное) согласованное возвратно-поступательное перемещение рабочих органов, не позволяет обеспечить высокие динамические характеристики станков, а, следовательно, высокую производительность и точность получения РК-профиля.

При двухкоординатной схеме движения режущего инструмента или заготовки относительно траектории окружности должно описываться следующими уравнениями:

$$\begin{cases} x = e \cos(N\varphi) \\ y = e \sin(N\varphi) \end{cases}, \quad (2)$$

где e – эксцентриситет РК-профиля;

N – число граней профиля.

Относительно оси РК-профиля (система координат XY) эти уравнения будут иметь вид:

$$\begin{cases} x = R + e \cos(N\varphi) \\ y = -N \cdot e \sin(N\varphi) \end{cases}. \quad (3)$$

При однокоординатной схеме (рисунок 1) достаточно одного гармонического движения – в радиальном направлении. Вторая составляющая реализуется инструментом, образующая режущих кромок которого является касательной к поверхности равноосного профиля.

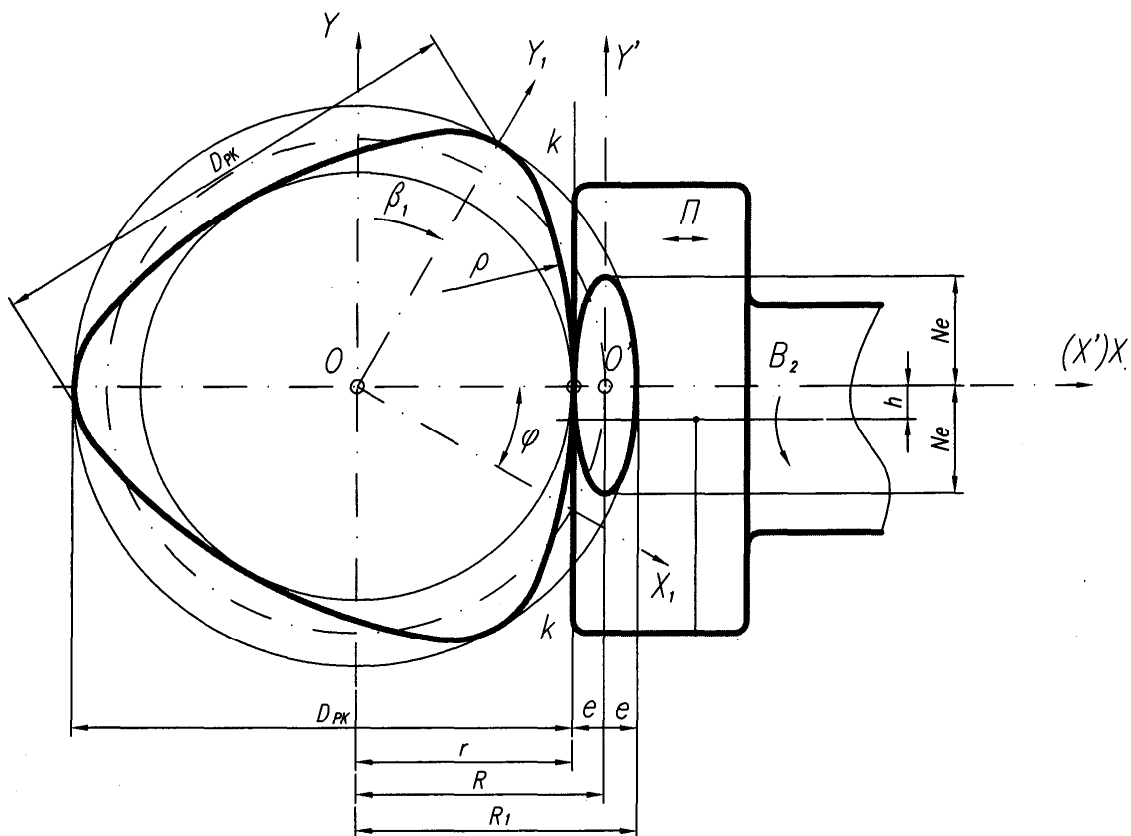


Рисунок 1 – Схема однокоординатной обработки РК-профиля

Требуемое радиальное гармоническое движение наиболее просто реализуется на токарно-затыловочных станках, в конструкции которых предусмотрен механизм, обеспечивающий циклическое радиальное движение инструмента при помощи кулачка. Для получения РК-профиля с соответствующим эксцентриситетом «e» достаточно установить цилиндрический кулачок с соответствующим эксцентриситетом и настроить кинематическую цепь деления на число возвратно-поступательных ходов поперечного суппорта, равное числу граней вала. Например, для станка мод. 1Б811 для числа граней вала $Z=3$ передаточное число гитары будет равно:

$$\frac{A}{C} \cdot \frac{B}{D} = \frac{72}{80} \cdot \frac{54}{60}$$

Здесь настройка величины эксцентриситета может осуществляться не только сменой кулачка, но и специальным рычажным механизмом, имеющимся на станке. На станке возможно не только предварительное точение синусоидального профиля с последующим получением РК-профиля при помощи безвершинного резца, но и производить обработку профиля фрезерованием и шлифованием с помощью предусмотренного к станку шлифовального приспособления с небольшой его доработкой. Применение токарного станка требует большей доработки [2,3].

Производительность и затраты на изготовление профильных соединений во многом определяются применяемым оборудованием и технологией их обработки. Основным недостатком станков токарной группы, реализующих однокоординатное возвратно-поступательное перемещение режущего инструмента, является наличие значительных динамических нагрузок, что приводит к снижению точности и производительности обработки.

Замена возвратно-поступательного движения непрерывным вращательным позволяет снизить динамические нагрузки, способствует повышению производительности. Показанная на рисунке 2 схема обработки, кроме того, позволяет повысить точность обработки за счет применения двух конических фрез, установленных на одной оси вращения. Образующие фрез располагаются по касательным к обрабатываемой поверхности, а зубья одной фрезы смещены относительно зубьев другой на угол, равный половине угла между зубьями фрез. Величина эксцентриситета « e » для фрез равна:

$$e = \frac{R - r}{2 \cos \frac{\varphi}{2}}, \quad (4)$$

где R , r – наибольший и наименьший радиусы профиля;

φ – угол при вершине рабочей конической поверхности.

Учитывая относительно невысокую производительность процесса обработки РК-профилей может оказаться целесообразной одновременная обработка двух валов. На рисунке 3 показана схема одновременной обработки дисковым коническим инструментом (фрезой, шлифовальным кругом) или набором этих инструментов двух одинаковых валов с РК-профилем.

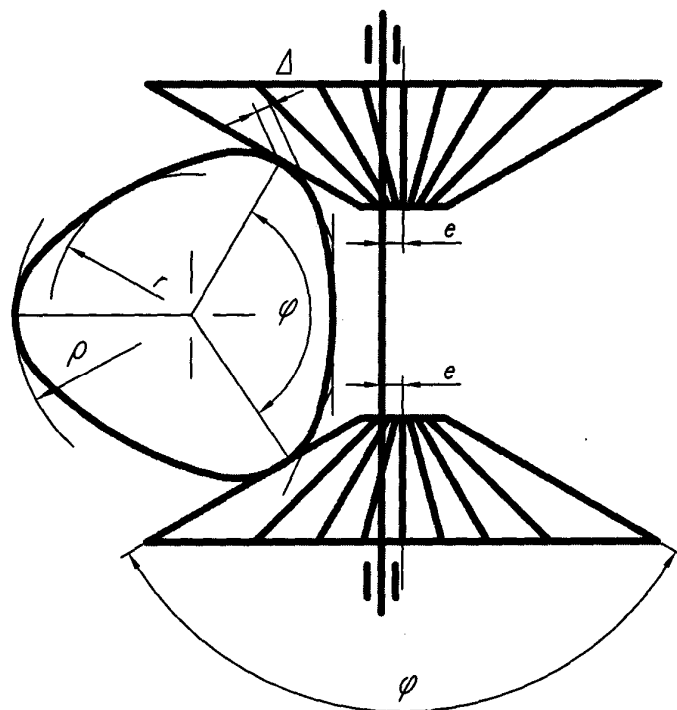


Рисунок 2 – Схема обработки некруглых поверхностей

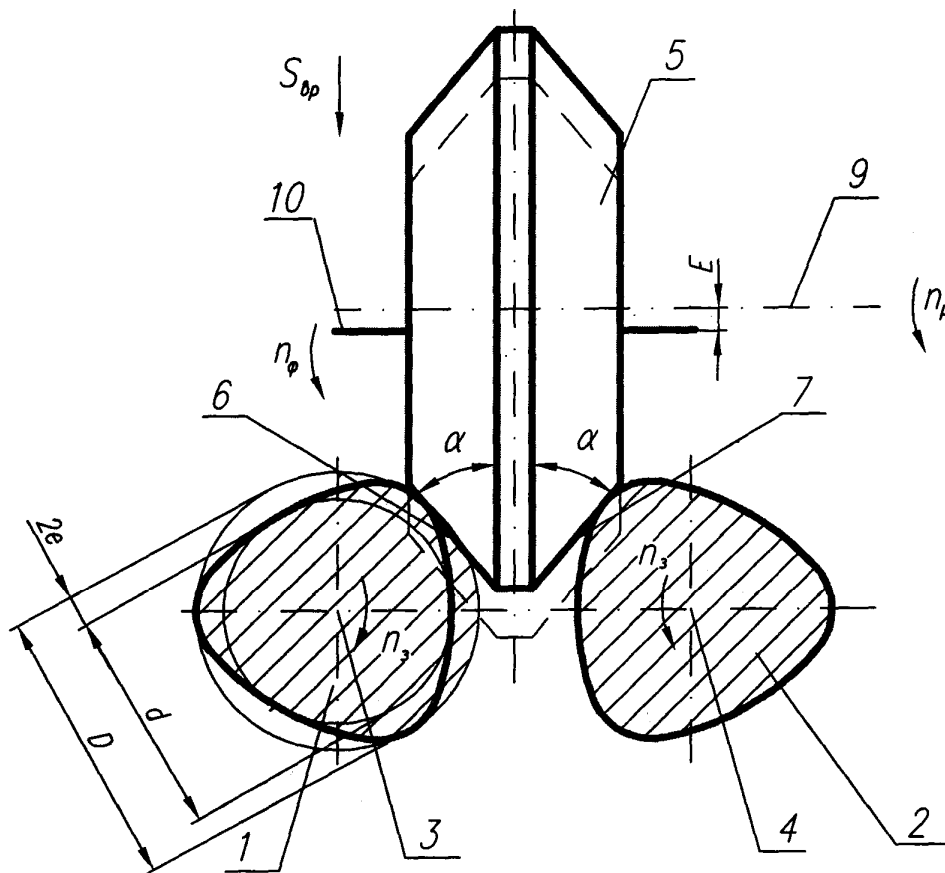


Рисунок 3 – Схема обработки двух некруглых валов

Обрабатываемые заготовки 1 и 2 установлены с возможностью вращения вокруг параллельных осей 3 и 4. Вращение может быть как в одном, так и в противоположных направлениях. Инструмент (набор инструментов) 5 имеет трапецеидальный производящий контур, образующие которого являются касательными к окружностям валов. Угол наклона образующих 6 и 7 к линии, перпендикулярной оси инструмента, обозначен α . Инструмент имеет возможность относительного перемещения вдоль осей заготовок.

Получение равноосного контура осуществляется при согласованном вращении заготовок вокруг осей 3 и 4 с частотой n_3 , и вращении оси 10 инструмента вокруг оси 9 с частотой n_p . Необходимо обеспечить соотношение:

$$\frac{n_p}{n_3} = N, \quad (5)$$

где N – число граней РК-профиля.

Вращение инструмента для обеспечения резания осуществляется вокруг оси 10 от отдельного привода. Его частота выбирается в зависимости от необходимой скорости резания.

Величина устанавливаемого эксцентриситета E оси 10 относительно оси 9 в зависимости от эксцентриситета e равноосного контура будет равна:

$$E = \frac{e}{\sin \alpha}, \quad (6)$$

тогда закон движения оси 10 будет:

$$\frac{e \sin(\omega t)}{\sin \alpha}. \quad (7)$$

Достоинствами предлагаемой схемы является:

- повышение производительности за счёт одновременной обработки двух валов;
- возможность обработки одним инструментом валов разных диаметров и с различными эксцентриситетами e РК-профилей, а также конических РК-профильных поверхностей;
- возможность обрабатывать при одной установке РК-профили с разными эксцентриситетами или распределять припуск на обработку за счёт изменения угла α расположения одной из образующих режущих кромок инструмента. С поверхности вала, обрабатываемого образу-

щей с меньшим углом α , будет снимается основной припуск. Таким образом, валы последовательно из позиции черновой обработки устанавливаются в следующую позицию, а на первую ставится цилиндрическая заготовка, и процесс повторяется;

- использование для осуществления гармонического движения вращательного движения, взамен возвратно-поступательного, позволяет снизить массу подвижных частей, обеспечить синусоидальный закон движения за счет равномерного вращательного, существенно улучшить динамическое качество механизма и, вследствие этого, позволит повысить производительность и точность обработки.

На рисунке 4 показана схема устройства с эталонным обкатным диском для обработки профильного вала. На одной оси закреплены: эталонный диск 1 и заготовка 2, которые могут перемещаются поступательно вместе с кареткой 3. Диск 1 связан лентами 4 и 5 с кареткой 6. Каретки 3 и 6 движутся при помощи кривошипного механизма 7 (либо рычажного механизма). Обработка ведется двумя шлифовальными кругами 8 и 9, расстояние между рабочими торцами которых в конечном положении равно диаметру РК-профиля (D). В схеме используется минимум элементов, что позволяет упростить конструкцию механизма формообразования и повысить точность обработки при обеспечении ее универсальности.

Обработка осуществляется при возвратно-поступательном движении каретки 3 с установленным на ней шпинделем, на котором закреплены диск 1 и шлифуемая заготовка 2. Удвоенные величины эксцентриситетов e и H кривошипного вала 7 обеспечивают ход соответственно кареток 3 и 6. Величина хода h каретки 3 равна удвоенному значению эксцентриситета РК-профиля ($h = 2e$) и настраивается смещением пальца 10. Ход H дополнительной каретки устанавливается смещением пальца 11 и определяется из условия поворота заготовки на угол:

$$\alpha = \frac{360^\circ}{2N}, \quad (8)$$

где $N = 3; 5; 7$ – число граней РК.

$$\alpha \quad \alpha_1 + \alpha_2 = \frac{360^\circ \cdot 2e}{\pi(D+\delta)} + \frac{(2e+H)360^\circ}{\pi(D+\delta)} = \frac{360^\circ}{2N}, \quad (9)$$

где α_1 и α_2 – углы поворота диска при соответствующих ходах h и H ,
 D – диаметр диска;
 δ – толщина лент.

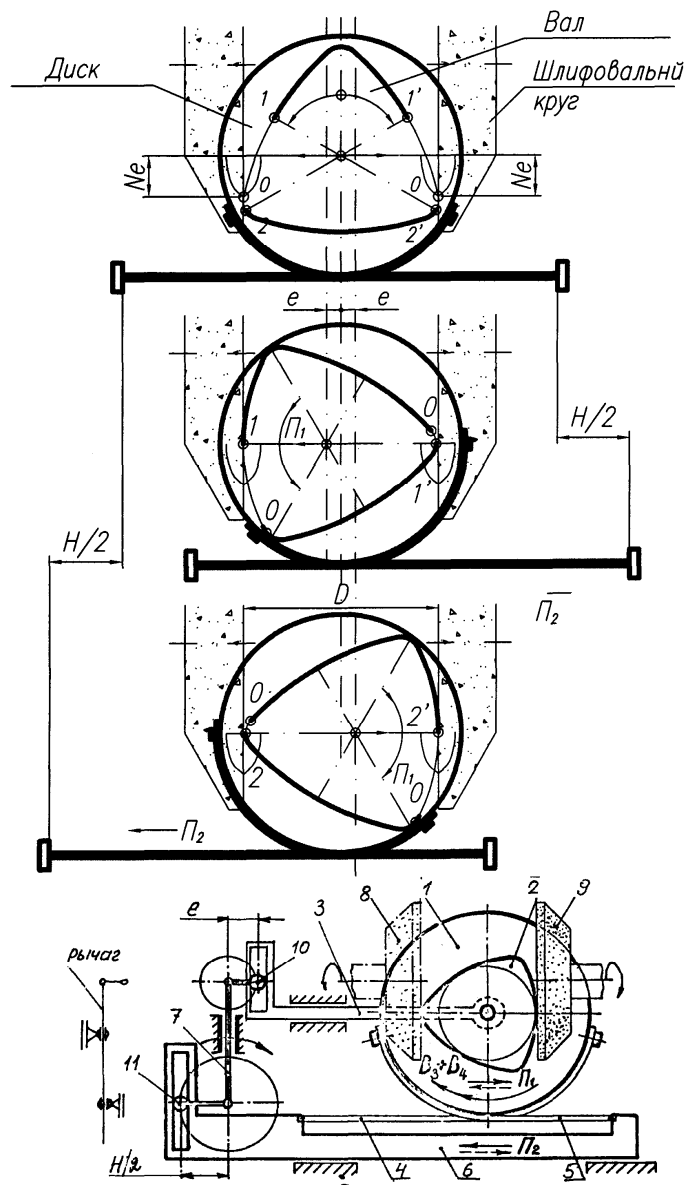


Рисунок 4 – Схема устройства с эталонным обкатным диском.

Требуемая величина хода H каретки 3 будет равна:

$$H = \frac{\pi(D_{\text{д}} + \delta)}{2N} - e, \quad (11)$$

Изменением ходов h и H возможна настройка на обработку РК-профильных валов с различными диаметрами (D) и эксцентриситетами (e) при постоянном диаметре (D_0) диска 1. Настройка может быть произведена при помощи регулируемых кривошипов или регулируемого

рычажного механизма. Обработка производится с периодическим делением – поворотом заготовки на $1/N$ оборота.

Достоинствами схемы являются универсальность и несложная наладка; высокая точность, достигаемая благодаря коротким кинематическим цепям и возможности изготовления точного диска; возможность непосредственно использовать имеющиеся зубошлифовальные станки с обкатным диском и регулируемым механизмом обката. Применение указанных станков позволяет получать профили валов с очень высокой точностью и повторяемостью размеров, а также с высоким качеством поверхности. Возможна обработка, как валов, так и протяжек и профильных рабочих поверхностей других инструментов.

Получаемый в результате сложения двух гармонических движений: качания заготовки и ее возвратно-поступательного движения с кареткой, профиль будет незначительно отличаться от равноосного, несколько приближаясь к выпуклому перициклоидному. При этом у вершин будет как бы плавный срез, т.е. профиль будет непрерывным, по характеристикам приближаться к равноосному срезанному профилю РКс, но без его недостатков. Это позволит шире использовать выпуклый профиль для подвижных соединений, повысить их эксплуатационные характеристики, свойство самоцентрирования при этом сохраняется.

Отверстия для сопряжения также могут быть окончательно обработаны протяжками, полученными предлагаемым методом, что обеспечит точное соединение с любым характером сопряжения.

Выводы и направления дальнейших исследований. В результате анализа основных достоинств и недостатков существующих схем обработки профильных валов выявлены сложности, связанные с изготовлением профильных соединений. Предложен способ обработки одновременно двух валов с равноосным контуром.

Показана возможность обработки профильных валов на станке с эталонным обкатным диском, что позволит обеспечить высокую точность обработки и качество поверхности, легкую переналадку на обработку валов различных диаметров.

Показатели точности и значения геометрических параметров профиля, его отклонения от РК, динамика процесса обработки и зона устойчивости при обработке с использованием упругих обкатных лент требует дополнительного изучения и исследования.

Приведена краткая характеристика средств изготовления профильных валов, предложения по повышению производительности и точности их изготовления с применением универсального оборудования.

It is brought short feature of the facilities of the fabrication RK-profile shafts, here also offers increasing of labor productivity and accuracy of their fabrication with the universal equipment.

Библиографический список.

1. Соломенцев Ю.М., Тимченко А.И. Профильные бесшпоночные соединения, их конструктивные виды, технология изготовления и перспективы внедрения в СССР, М.: Мосстанкин, 1986. - 37 с.;

2. Тимченко А.И. Исследование точности процессов формообразования валов равноосным контуром / А.И. Тимченко // Вестник машиностроения, 1986, №5, С.41-42;

3. Данилов В.А. Токарная обработка некруглых валов/Данилов В.А.// Машиностроитель, 1991, №3, С. 13-14.

4. А.с. 891255 СССР, МКИ³ В 23 С 3/08. Устройство для обработки валов с профилем "равноосный контур"/А.Н. Чекалов, А.И. Тимченко (СССР)-№2855810/25-08; опубл. 23.12.81. Бюл. №47. – 4с.: ил.

*ст. преподаватель Боровик П.В.,
к.т.н., проф. Луценко В.А.
(ДонГТУ, г. Алчевск, Украина)*

ВЛИЯНИЕ КОНСТРУКЦИИ НОЖА И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ПРОЦЕССА РЕЗАНИЯ МЕТАЛЛА НОЖНИЦАМИ НА ВЕЛИЧИНУ УДЕЛЬНОЙ РАБОТЫ

Наведені результати експериментальних досліджень щодо кількісної оцінки впливу відносної ширини кромки ножа, температури різання та відносної ширини кромки, що відрізається, на питому роботу різання, шляхом здійснення повного планованого факторного експерименту.

Проблема и ее связь с научными и практическими задачами. В современных условиях повышение конкурентоспособности производимой металлопродукции возможно только при условии экономии материальных и энергетических ресурсов. В связи с этим, при повышении эффективности существующих технологий, требуется комплексный подход, включающий как внедрение новых высокоэффективных технологических процессов, так и их от дельных операций и оборудования.

Анализ последних достижений и публикаций. В технологических линиях прокатного производства одной из самых распространенных операций является резание металла на ножницах различных конструкций [1, 2]. Так, в частности, при продольной резке листов и для обрезки их боковых кромок применяют дисковые ножницы с числом пар ножей не менее двух.

В условиях современных толстолистовых станов технологическая операция обрезки кромок листов может осуществляться на дисковых ножницах в горячем состоянии [3]. В рамках данной технологии к порезке на дисковых ножницах допускаются толстолистовые раскаты при температуре $t \geq 400$ °С и толщиной H до 40 мм в зависимости от температуры и марки стали. Как показывает опыт эксплуатации и проводившиеся ранее исследования, данный процесс содержит резервы по снижению энергозатрат, что позволяет расширить диапазон листов разрезаемых на существующей конструкции ножниц в горячем состоянии [4, 5, 6].

В работе [6] была дана количественная и качественная оценка влияния конструкции ножа на удельную работу резания, что является фундаментом для расширенного изучения данного процесса, с учетом

его технологических параметров. Априори, существует ряд факторов, оказывающих влияние на величину удельной работы резания.

Постановка задачи. Целью данной работы является: количественная оценка влияния ширины b режущей кромки ножа, температуры T разрезаемого материала и ширины a отрезаемой кромки на величину удельной работы w резания и получение регрессионной модели, путем проведения полного планированного факторного эксперимента.

Изложение материала и его результаты. Реализация эксперимента осуществлялась на лабораторных гильотинных ножницах кафедры «Машины металлургического комплекса и прикладная механика» Донбасского государственного технического университета.

При реализации эксперимента использовались листы толщиной $H = 10 \pm 0.2$ мм из стали марки А36 ГОСТ 5521–86, поскольку данная марка имеет наибольшие объемы из листов, допускаемых к резке на дисковых ножницах в горячем состоянии.

Всего было реализовано $N_0 = 9$ опытов, из которых $N = 8$ согласно плана и один на нулевом уровне. Каждый опыт имел равное число повторений $f = 3$.

В качестве варьируемых параметров использовались:

– температура резания $T = 650 \dots 800^\circ\text{C}$;

– относительная ширина режущей кромки ножа $b_H = \frac{b}{H} = 0,1 \dots 0,4$;

– относительная ширина отрезаемой кромки $a_H = \frac{a}{H} = 0,5 \dots 1,5$.

Методом, изложенным в работе [6], были получены кривые удельного сопротивления резанию, представленные на рисунке 1, а по ним вычислена удельная работа резания, расчетные значения которой приведены в таблице 1.

С целью выявления тесноты связи между парами величин проводился множественный корреляционный анализ [7]. Полученные результаты позволяют утверждать, что связи следует считать статистически значимыми.

По результатам работы [6], зависимость удельной работы резания от относительной ширины режущей кромки имеет нелинейный характер, но может быть линеаризована путем введения соответствующего преобразования.

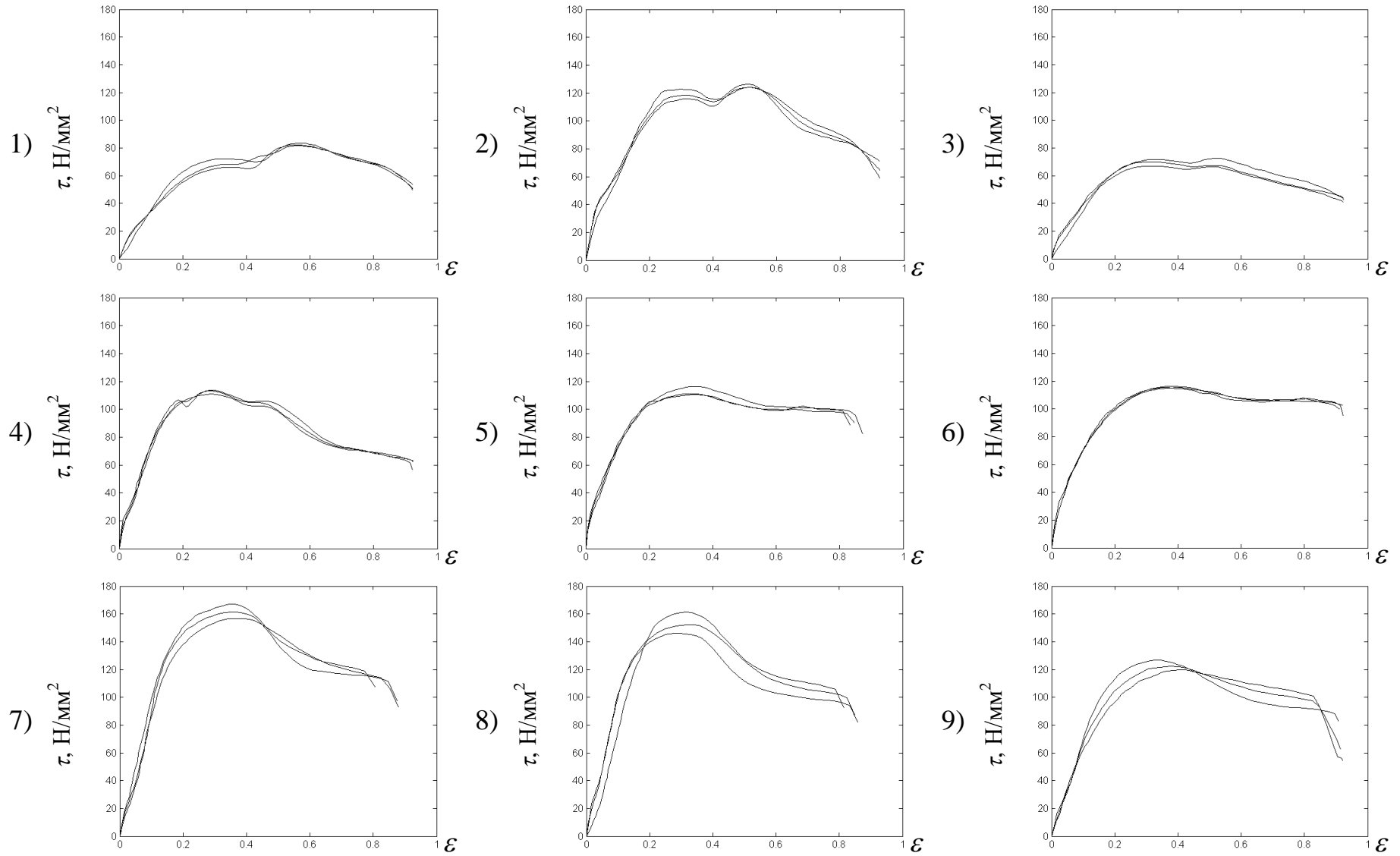


Рисунок 1 – Экспериментальные кривые удельного сопротивления резанию

Таблица 1 – План-матрица планированного эксперимента 2^3

№	План-матрица							Удельная работа резания, $H/мм^2$		
	x_1	x_2	x_3	x_1x_2	x_1x_3	x_2x_3	$x_1x_2x_3$	w_1	w_2	w_3
1	-1	+1	+1	-1	-1	+1	-1	5,8219	6,006	5,8839
2	-1	-1	+1	+1	-1	-1	+1	9,0553	9,034	9,0573
3	-1	+1	-1	-1	+1	-1	+1	5,5373	5,2071	5,1253
4	-1	-1	-1	+1	+1	+1	-1	8,0486	7,8295	7,8619
5	+1	+1	-1	+1	-1	-1	-1	8,2154	8,4755	8,1649
6	+1	+1	+1	+1	+1	+1	+1	9,321	9,226	9,3786
7	+1	-1	+1	-1	+1	-1	-1	10,999	10,649	10,999
8	+1	-1	-1	-1	-1	+1	+1	9,6345	9,7393	10,107
9	0	0	0	0	0	0	0	9,0043	9,0488	9,0854

В качестве такого преобразования была выполнена замена фактора относительной ширины контактной поверхности ножа $b_H = \frac{b}{H}$, на фактор являющийся величиной ей обратной $H_b = \frac{H}{b}$. Остальные факторы использовались без преобразований.

По результатам обработки планированного эксперимента [7] были получены коэффициенты уравнения регрессии, проверка значимости которых осуществлялась по t – критерию Стьюдента.

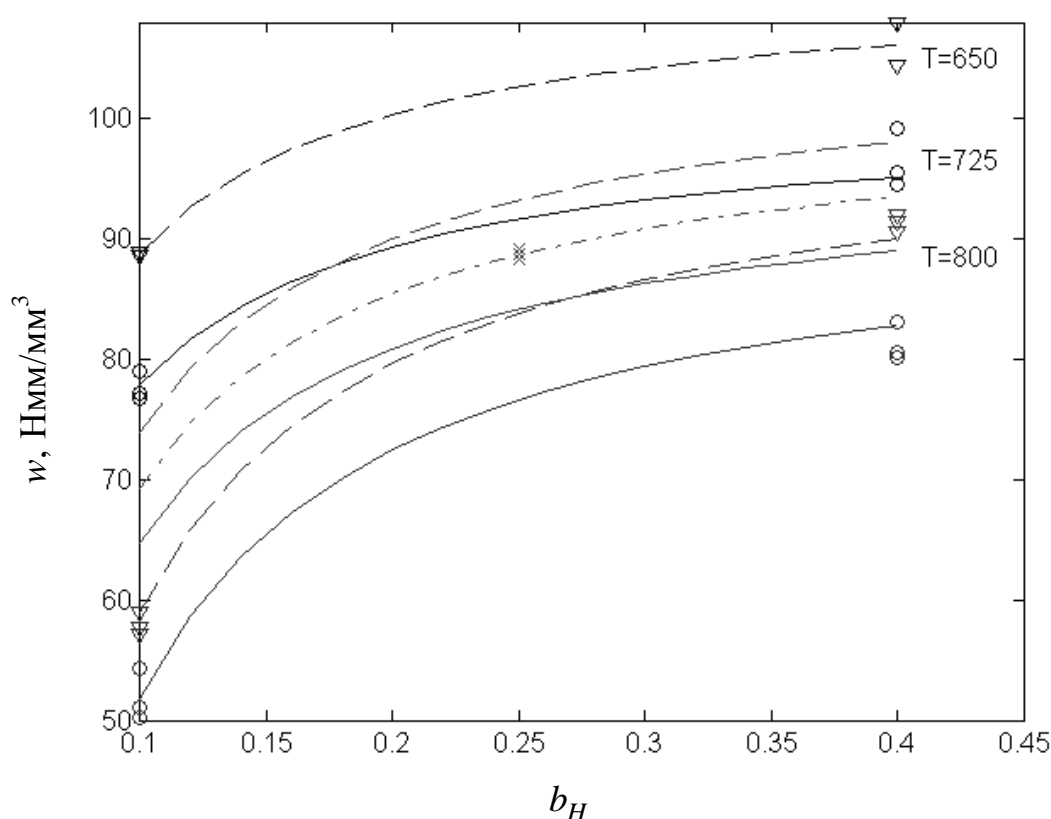
Результаты оценки значимости коэффициентов регрессии показали значимость всех трех исследуемых факторов на величину удельной работы резания, а также значимость двух эффектов взаимодействия первого порядка.

После отсева коэффициентов регрессии и пересчета факторов в абсолютные величины была получена регрессионная модель следующего вида:

$$w = 120,54 - 0,03872T + 5,6447 \frac{H}{b} + 27,42 \frac{a}{H} - 0,01223 \frac{TH}{b} - 0,02527 \frac{Ta}{H}.$$

Результаты экспериментальных значений удельной работы резания в узловых точках плана эксперимента и в его центре (на нулевом уровне), а также аппроксимирующие зависимости, полученные по уравнению регрессии, приведены на рисунке 2.

Анализ полученной зависимости показывает, что за счет совершенствования конструкции режущего инструмента можно снизить величину удельной работы резания порядка 16...35 %, причем большая величина соответствует температуре резки $T = 800^{\circ}\text{C}$, а меньшая $T = 650^{\circ}\text{C}$. Данный факт позволяет утверждать, что возможно увеличить толщину листов допускаемых к резке на дисковых ножницах, при внесении изменений в конструкцию ножа.



«--» и «∇» – относительная ширина отрезаемой кромки $a_H = 1,5$;

«-x-» и «x» – относительная ширина отрезаемой кромки $a_H = 1,0$

«—» и «o» – относительная ширина отрезаемой кромки $a_H = 0,5$

Рисунок 2 – Экспериментальные значения удельной работы резания по плану эксперимента и аппроксимирующие кривые при различных значениях относительной ширины режущей кромки ножа b_H и температуре T для различных значений относительной ширины отрезаемой кромки a_H

Выводы и направление дальнейших исследований:

- удельная работа резания является зависимой от ширины b режущей кромки ножа, температуры T разрезаемого материала и ширины a отрезаемой кромки;
- при уменьшении относительной ширины режущей кромки ножа до $b_H = 0,1$ возможно снизить величину удельной работы резания порядка 16...35 %;
- большая величина снижения удельной работы соответствует температуре резки $T = 800^\circ\text{C}$, а меньшая $T = 650^\circ\text{C}$;
- увеличение относительной ширины отрезаемой кромки в интервале $a_H = 0,5 \dots 1,5$, приводит к увеличению удельной работы резания;
- применение ножа с конструктивным элементом и соответствующее варьирование технологическими параметрами процесса резания позволят увеличить толщину листов допускаемых к резке на дисковых ножницах.

Результаты работы могут быть использованы при дальнейших исследованиях процесса горячей резки толстолистовых раскатов на дисковых ножницах, а также при автоматизированном расчете энергосиловых параметров процесса резания дисковыми ножами с конструктивным элементом.

Приведены результаты экспериментальных исследований по количественной оценке влияния относительной ширины режущей кромки ножа, температуры резания и относительной ширины отрезаемой кромки на удельную работу резания, путем проведения полного факторного эксперимента.

The results of experimental researches are resulted by quantitative estimation of influencing of relative width of cutting edge of knife, temperatures of cutting and relative width of the cut edge on specific work of cutting, by the implementation of complete factor experiment.

Библиографический список.

1. Королев А.А. Конструкция и расчет машин и механизмов прокатных станков. Изд-во "Металлургия", М. 1985. – 375 с.
2. Целиков А.И., Смирнов В.В. Прокатные станы. – М.: Металлургиздат, 1958. – 412 с.
3. Боровик П.В. Исследование качества порезки горячих толстолистовых раскатов дисковыми ножницами. // Удосконалення процесів і обладнання обробки тиском в металургії і машинобудуванні: Зб. наук. пр. – Краматорськ, 2006. – с. 180-182.

4. Патент України 4860, МПК 7 B23D19/04. Дискові ножиці / Боровик П.В.; заявник і патентовласник Донбаський гірничо-металургійний інститут – №20040503435 заявлено 06.05.2004; опубл. 15.02.2005, Бюл. №2.

5. Боровик П.В. Исследование влияния конструкции ножа на качество и энергосиловые параметры резания толстолистовых раскатов в горячем состоянии. // Удосконалення процесів і обладнання обробки тиском в металургії і машинобудуванні: Зб. наук. пр. – Краматорськ –, с. 588-590.

6. Боровик П.В., Луценко В.А. Влияние конструкции ножа на величину работы в процессе резания металла на ножницах. / Алчевск. Сб. науч. тр. ДонГТУ. – 2007, выпуск 24. – с. 264-270.

7. Львовский Е.Н. Статистические методы построения эмпирических формул: Учеб. пособие для втузов. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Высш. шк., 1988. – 239 с.

*ст. преподаватель Козачишен В.А.,
к.т.н., доц. Попов Г.Н.
(ДонГТУ, г. Алчевск, Украина)*

УСТРОЙСТВО ДЛЯ ОКОМКОВАНИЯ АГЛОМЕРАЦИОННОЙ ШИХТЫ

Запропонований пристрій для отримання окомкованої агломераційної шихти. Даний пристрій дозволяє полішити техніко-економічні показники агломераційного процесу.

Проблема и ее связь с научными и практическими задачами.

Наблюдается интенсивное вовлечение в подготовку доменного сырья тонко измельченных концентратов, большая часть которых направляется в агломерационное производство. К настоящему времени их доля в составе агломерационной шихты достигает 70% и более. Технология подготовки шихт со значительным содержанием тонко измельченных концентратов имеет ряд трудностей. Одна из которых – обеспечение требуемой газопроницаемости агломерируемого слоя, которая имеет определяющее значение для производительности аглоустановки. Зачастую факторы, влияющие на производительность взаимоисключающие. Проблемы экономии энергоресурсов и повышения качества агломерата требуют увеличения высоты слоя, что без дополнительных мероприятий уменьшает газопроницаемость слоя шихты. Предлагаемое устройство позволяет обеспечить качество окомкования шихты для получения требуемой газопроницаемости слоя и повысить технико-экономические показатели аглоустановки.

Анализ исследований и публикаций. От содержания мелких фракций в окомкованной шихте в значительной степени зависит ее газопроницаемость, производительность агломерационных машин и качество агломерата. Но само по себе уменьшение содержания мелких фракций в шихте улучшает газопроницаемость изотермического слоя. После зажигания картина резко изменяется, при просасывании через слой горячих газов, содержащих влагу, при теплообмене с нижними горизонтами слоя шихты, наблюдается конденсация влаги. Это приводит к локальному переувлажнению, разрушению гранул и понижению газопроницаемости.[1, 2, 3]

Постановка задачи. Целью настоящей работы является предложить устройство, позволяющее получить гранулированную шихту требуемых характеристик (крупность, влажность, содержание мелочи) и улучшить этим технико-экономические показатели аглопроцесса.

Изложение материала и его результаты. Процесс окомкования агломерационной шихты предопределяется двумя факторами: режимом движения крупных и мелких частиц в контакте друг с другом и развитием сил капиллярного и молекулярного сцепления между частицами. Первый фактор связан с развитием процесса гранулообразования, второй с процессом упрочнения гранул. В окомкователе эти два процесса условно разделены в пространстве и во времени: процесс образования гранул наибольшее свое развитие получает во время движения частиц в зоне увлажнения, процесс упрочнения – в результате движения частиц в зоне укатывания и стабилизации, где вода – основной связующий материал, в шихту не подается. Естественно предположить, что гранулы, образовавшиеся в зоне увлажнения, получают некоторое упрочнение в результате движения вдоль горизонтальной оси окомкователя. Однако здесь превалирует процесс образования и роста гранул, так как в достаточном количестве имеется "строительный материал" (частицы класса менее 1 мм), связующее (вода) и динамические нагрузки, способствующие сближению и сцеплению мелкодисперсных частиц. При выходе из зоны увлажнения исчезает один из основных факторов – вода, способствующий образованию и росту гранул. Перемешивание шихты и динамическое взаимодействие способствует сближению частиц в грануле, развитию капиллярных и молекулярных сил сцепления. Однако, следует иметь ввиду, что барабанные окомкователи повторяют механику движения сыпучих материалов в шаровой мельнице, где в результате динамического взаимодействия происходит разрушение гранул при отсутствии подачи воды. Исходя из вышеизложенного, была поставлена задача создания такого устройства, в котором:

- мелкодисперсный материал уходил бы из зоны увлажнения только после перехода в гранулы определенного размера;
- динамические нагрузки на гранулы в зоне гранулообразования были бы меньше, чем в зоне укатывания;
- мелкодисперсная часть разрушившихся гранул шихты возвращалась в зону увлажнения.

Решение поставленной задачи достигается тем, что окомкователь шихты содержит конусный барабан, выполненный установленным на раме с углом наклона оси вращения относительно горизонтали в сторону загрузки, который равняется 1–1,5 угла раскрытия конуса. При наличии в составе агломерационной шихты мелких фракций (менее 3 мм) в количестве до 50 % значения угла наклона принимают меньшее значе-

ние угла раскрытия. В случае, когда содержание мелких фракций более 50 % от общей массы принимают значение угла наклона оси барабана $1,5$ угла раскрытия конуса.

Окомкователь содержит раму 1, конусный барабан 2, загрузочную воронку 3, привод 4, зубчатую передачу 5, опорные 6 и упорные 7 ролики, разгрузочную воронку 8 и трубы для подачи воды 9. Конусный барабан 2 выполнен установленным на раме 1 с углом наклона оси вращения ρ относительно горизонтали (рис. 1).

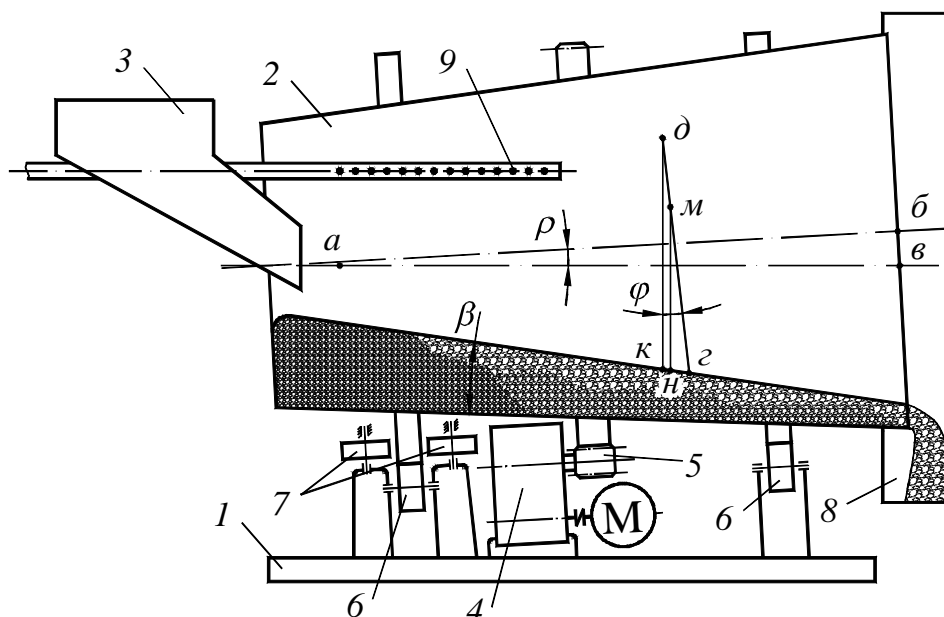


Рисунок 1 – Схема окомкователя

При движении агломерационной шихты в поперечном сечении конусного барабана мелкие и крупные гранулы поднимаются вверх под действием центробежных сил и сил трения по прямой $г - д$ перпендикулярно оси вращения $а - б$ конусного барабана. Ссыпание шихты вниз происходит под действием силы притяжения по линии $к - д$ перпендикулярно горизонтали $а - в$. Угол φ является углом скатывания. Причем, за счет сегрегации сыпучего материала, крупные гранулы двигаются вокруг центра пересыпания по внутренней криволинейной траектории (рис. 2), а мелкие – по внешней. Таким образом, в поперечном сечении мелкие частицы поднимаются на высоту по линии $г - д$, а крупные только на высоту $г - м$. За один цикл подъема – ссыпания мелкие частицы проходят путь $к - г$, больший чем $н - г$, который проходят крупные гранулы. Разгрузка шихты из барабана осуществляется за счет выклинивания потока шихты вдоль оси барабана под углом. При повторении циклов вращения шихты в поперечном сечении конусного барабана 2 мелкие недоокомкованные гранулы возвращаются в зону увлажнения

шихты водой, которая подается через трубу 9, а крупные гранулы движутся в противоположную сторону и поступают в разгрузочную воронку 8. Недоокомкованная шихта увлажняется, превращается в кондиционные гранулы и с общим потоком окомкованной шихты выходит из конусного барабана 2, через воронку 8. За счет этого качество окомкования агломерационной шихты значительно повышается.

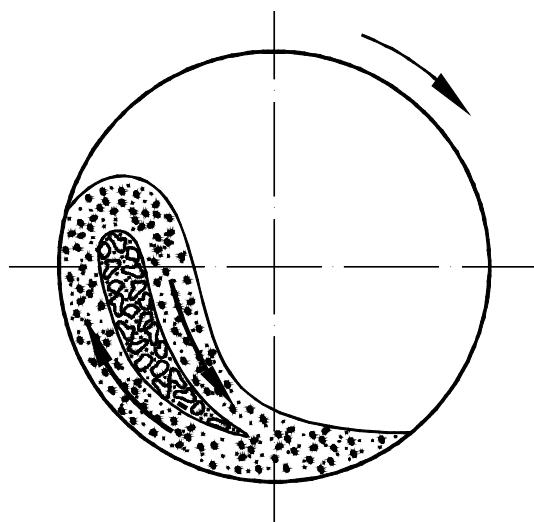


Рисунок 2 – Схема движения частиц

Выполнение барабана в форме конуса установленном на раме с углом наклона в сторону загрузки оси вращения относительно горизонтали позволяет создать поток мелкой шихты движущейся навстречу потоку, который состоит из более крупной шихты, представленному в основном центрами окомкования, и за счет этого повысить качество получаемой шихты.

Предложено устройство для получения окомкованной агломерационной шихты. Данное устройство позволяет улучшить технико-экономические показатели агломерационного процесса.

A device for the receipt of granulation agglomeration charge is offered. This device allows to improve the techniques and economics indexes of Sintering Process.

Библиографический список.

1. Коротич В.И. Основы теории и технологии подготовки сырья к доменной плавке. – М.: Металлургия, 1978. – 208 с.
2. Вегман Е.Ф. Теория и технология агломерации. – М.: Металлургия, 1974. – 286 с.
3. Современный агломерационный процесс: Монография / С.Н. Петрушов. – Алчевск: ДонГТУ, 2006. – 357 с.

*аспирант Данько А.В.,
к.т.н., доц. Кулик А.Н.
(ДГМА, г. Краматорск, Украина)*

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ НАПРЯЖЕННОГО СОСТОЯНИЯ ПО ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫМ ГРАНИЧНЫМ УСЛОВИЯМ

Представлені програмні засоби для математичного моделювання напруженого стану при плоскій деформації з використанням експериментально знайдених граничних умов.

Проблема и ее связь с научными и практическими задачами.

В настоящее время экспериментальные методы (муар, координатных сеток, слоистых моделей и т.д.) во многих случаях позволяют с достаточной точностью определять деформированное состояние при пластической деформации. Однако экспериментальных методов, обеспечивающих исследование напряженного состояния в самом металле, без замены его фотопрозрачной моделью, пока нет. Поэтому представляет интерес аналитическое определение поля напряжений при пластической деформации по экспериментально найденным граничным условиям.

Для практики особенно важными являются такие исследования при плоской деформации, в частности, при прокатке широких листов на гладкой бочке. Анализ напряженного состояния в этом случае предпочтительно вести методом линий скольжения (МЛС) как вследствие его простоты и широкой распространенности, так и благодаря отсутствию тех проблем (типа блокады объема), которые возникают при применении метода конечных элементов.

Анализ исследований и публикаций.

В литературе была обнаружена только одна работа [1], в которой применялся указанный выше подход. Методика построения сетки линий скольжения в ней не дана и дальнейшего развития это направление не получило.

Постановка задачи.

Ранее нами уже была предпринята попытка исследования поля напряжений по распределению нормального σ_n и контактного τ_k напряжений, найденных при моделировании плоской прокатки в низком очаге деформации методом фотоупругости [2]. Координаты узлов сетки

линий скольжения находились численно, с использованием MathCAD, а визуализация сетки осуществлялась посредством Excel. Такая методика вследствие своей большой трудоемкости не позволяет варьировать переменными процесса, осуществляя т.о. математическое моделирование. Поэтому возникла необходимость в создании программы, обеспечивающей как автоматический расчет, так и визуализацию не только сетки линий скольжения, но и всех параметров напряженного состояния в очаге деформации.

Изложение материала и результаты.

Программа, обладающая вышеуказанными возможностями под названием «Sleeplinesnet» создана в среде MathCAD для возможности ее применения самым широким кругом исследователей. По заданным координатам точек линии контакта металла с инструментом и величине контактных напряжений в этих точках, при заданной пластической постоянной металла k решается задача Коши в криволинейном треугольнике, ограниченном линиями контакта и двумя крайними линиями скольжения. Рассчитываются:

- а) величина среднего нормального напряжения σ_0 в каждом узле сетки и на контакте;
- б) величина угла φ наклона α -линий в каждом узле сетки и на контакте;
- в) координаты узлов сетки;
- г) компоненты тензора напряжений в каждом узле сетки и на контакте.

Визуализируется сетка и 3d-графики распределения компонент напряженного состояния по очагу деформации. Кроме того, программа позволяет «вырезать» ту часть сетки задачи Коши, которая соответствует высоте очага деформации данной задачи.

Ниже приводится пример применения программы «Sleeplinesnet» для анализа напряженного состояния при симметричной прокатке свинца на гладкой бочке с $\varepsilon = 40,2\%$, $l_d/h_{cp} = 1,76$. Использовано распределение контактных напряжений, полученное методом фотоупругости, из работы [2]. При моделировании варьировались число частей N , на которое разбивается линия контакта и пластическая постоянная k , поскольку ранее обнаружено сильное влияние этого параметра не только на поле напряжений, но и на саму возможность построения сетки при заданных условиях.

На рисунках 1 и 2 представлены сетки линий скольжения при $N = 16$ и $N = 32$ при $k = 58\text{МПа}$. Видно, что качественно сетки совпадают и отличаются только степенью подробности. Аппроксимация кривых линий отрезками прямых при $N = 32$ вполне удовлетворительна, несмотря на неравномерность распределения контактных напряжений.

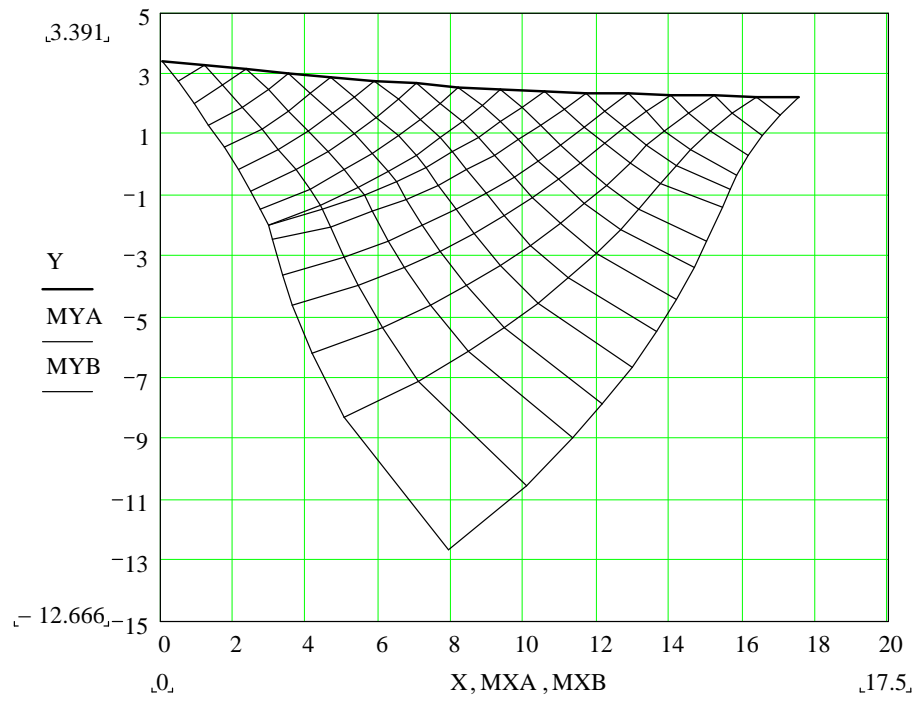


Рисунок 1 – Сетка линий скольжения при $k = 58\text{МПа}$, $N=16$

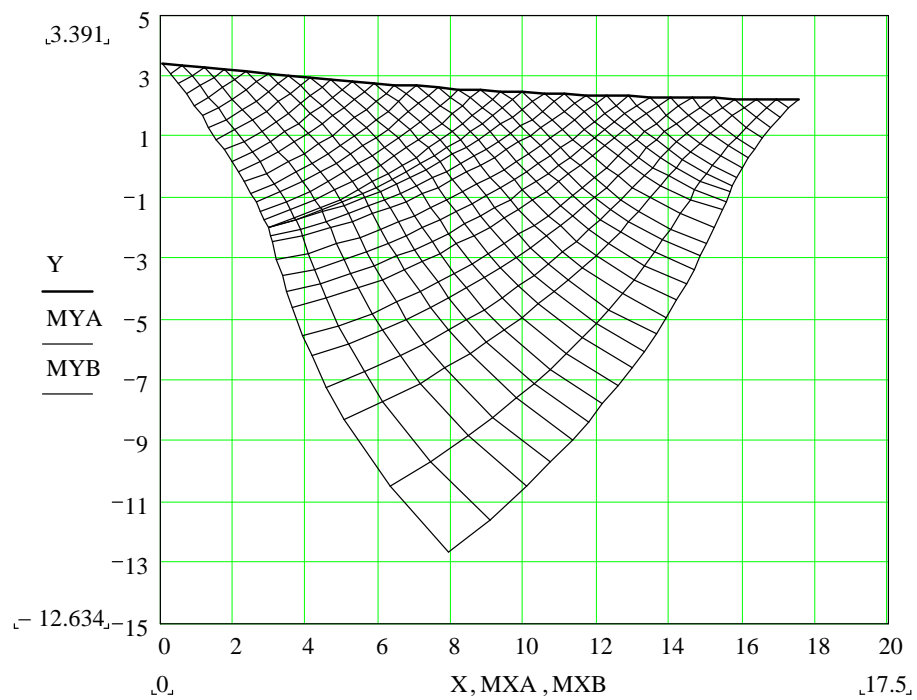


Рисунок 2 – Сетка линий скольжения при $k = 58\text{МПа}$, $N=32$

Поэтому нет необходимости увеличивать число точек разбиения N свыше 100.

Явно завышенное значение пластической постоянной $k = 58$ МПа взято для того, чтобы продемонстрировать возможность построения регулярной сетки. При тех параметрах прокатки, при которых были получены значения контактных напряжений в эксперименте, и по реологическим кривым для свинца марки С1, пластическая постоянная $k = 21$ МПа [3]. Однако ортогональная сетка в этом случае не получается (рис.3).

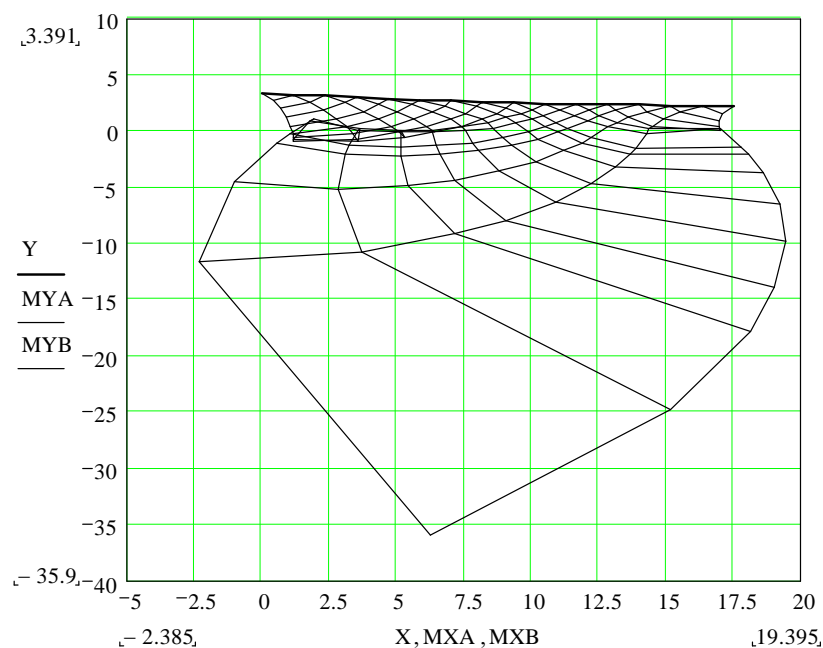


Рисунок 3 – Сетка линий скольжения при $k = 21$ МПа, $N=16$

Имеет место пересечение линий скольжения одного семейства, что недопустимо, т.к. в одной и той же точке не может быть двух разных напряженных состояний. Объяснить это, по нашему мнению, можно тем, что в данном случае неравномерность деформации достаточно велика для того, чтобы вследствие упрочнения значения k в разных частях очага деформации были существенно различными: в районе нейтрального сечения они значительно больше средних, что отражается в граничных условиях. Поэтому только при k больших, чем средние, возможно построение ортогональной сетки. Следовательно, адекватное граничным условиям поле напряжений может быть получено только при учете неравномерности распределения сопротивления деформации в ячейках сетки.

Однако и данная методика, которую можно считать первым приближением, позволяет получить некоторые качественные результаты.

Один из них - явная зависимость характера поля напряжений даже от среднего сопротивления деформации. Чем k меньше, тем неравномерность деформации выше, причем деформация локализуется вблизи контакта с инструментом. При увеличении k неравномерность снижается и в пределе поле становится равномерным. Это видно по рисунку 4, где $k = 6000 \text{ МПа}$.

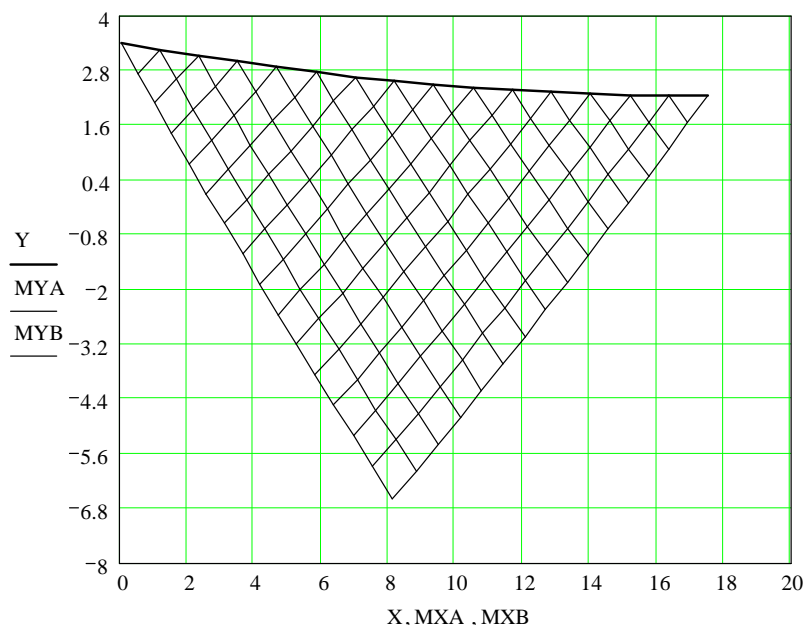


Рисунок 4 – Сетка линий скольжения при $k = 6000 \text{ МПа}$, $N=16$

При прокатке в низком очаге деформации реализуется не вся сетка, полученная решением задачи о начальных значениях, а только та ее часть, которая соответствует половине высоты очага деформации (при симметричном процессе). Программа дает возможность «вырезать» эту часть сетки (рис.5). и, т.о., получить сетку для данного процесса.

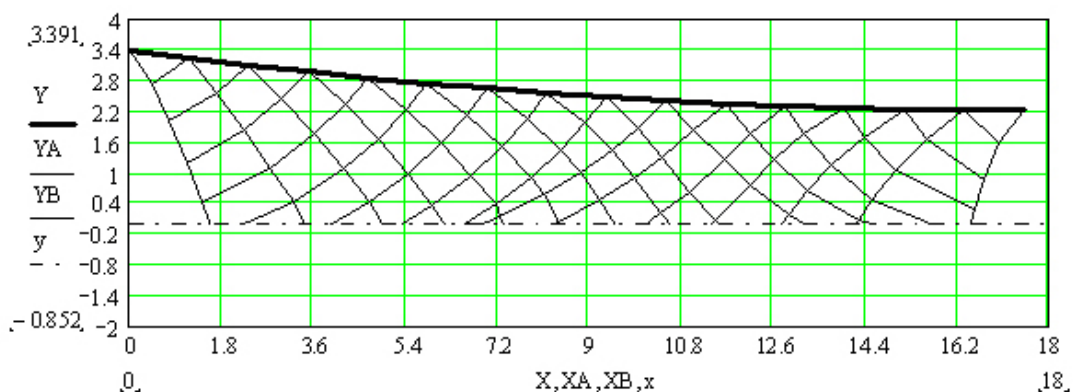


Рисунок 5 – Сетка линий скольжения при прокатке с $\varepsilon = 40,2\%$, $l_d/h_{cp} = 1,76$, $k = 32 \text{ МПа}$, $N=16$

Выводы.

Созданы программные средства для получения математическим моделированием всех параметров напряженного состояния при плоской деформации в случае постоянства сопротивления деформации. Для получения поля напряжений, адекватного граничным условиям, необходимо их совершенствование учетом изменения сопротивления деформации в каждой ячейке сетки в результате упрочнения.

Представлены программные средства для математического моделирования напряженного состояния при плоской деформации с использованием экспериментально найденных граничных условий.

Programmatic means for the mathematical modelling of the tense state during flat deformation with the use of the experimentally found boundary terms are represented.

Библиографический список.

1. Использование эпюр контактных напряжений для построения поля линий скольжения. / Клименко П.Л., Потапкин В.Ф., Журавлев А.С., Деркач Д.А. // *Обработка металлов давлением. Научн. тр. ДМети*, вып. 59, 1972. – с.23- 26.

2. Федоринов В.А., Кулик А.Н., Данько В.М. Исследование контактных напряжений при асимметричной прокатке методом фотоупругости. / *Удосконалення процесів і обладнання обробки тиском в металургії і машинобудуванні. Тем. збірн. наук. праць. Краматорськ, 2007.* - с.369-373.

3. Шломчак Г.Г *Основи наукових досліджень. Дніпропетровськ, „Пороги”, 2005.*- 161с.

*аспирант Кузнецов Д.Ю.,
аспирант Васильев Д.Б.,
к.т.н., доц. Лащев В.Я.,
к.т.н., доц. Кравченко В.М.
(ДонГТУ, г. Алчевск, Украина),
ст. мастер мартеновского цеха Скубарев С.Л.
(ОАО «АМК», г. Алчевск, Украина)*

ОСОБЕННОСТИ ВОССТАНОВЛЕНИЯ РАБОЧЕГО СЛОЯ ПОДИНЫ ДВУХВАННОГО СТАЛЕПЛАВИЛЬНОГО АГРЕГАТА

Наведено результати досліджень і практичні рекомендації з оптимізації технології ремонту й відновлення робочого шару подини двохванного сталеплавильного агрегату мартенівського цеху ВАТ «Алчевський металургійний комбінат».

В ходе масштабной реконструкции производства в мартеновском цехе ОАО «АМК» создан комплекс, направленный на обеспечение машин непрерывного литья заготовок (МНЛЗ) сталью высокого качества.

Выплавленный в двухванном сталеплавильном агрегате (ДСА) и слитый в ковш мартеновского цеха металл направляется на участок перелива, где через два шиберных затвора его переливают в ковш с основной футеровкой цеха непрерывной разливки стали с целью отделения печного шлака. Затем сталь поступает на установку «ковш-печь» (УКП), где производится ее нагрев и обработка, позволяющая получить продукт с нужными технологическими параметрами, обеспечивающими бесперебойную разливку стали на МНЛЗ методом «плавка на плавку» и получение заготовок высокого качества. При этом технология внепечной обработки должна обеспечивать также минимальные затраты материалов и времени на выполнение операций.

В описанной технологической цепи во время проведения перелива одновременно выполняются такие операции внепечной обработки, как наведение высокоосновного шлака, десульфурация, раскисление, продувка инертным газом, утепление зеркала металла в ковше после перелива.

В настоящее время двухванные сталеплавильные агрегаты (ДСА) ОАО "АМК" выплавляют главным образом низкоуглеродистую сталь, предназначенную для разливки на МНЛЗ. Одной из особенностей технологического процесса является перелив металла из сталеразливочного ковша мартеновского цеха в ковш установки "печь-ковш" с целью отсечки печного шлака и предварительной обработки металла. При этом

происходит значительная потеря температуры металла и возникает необходимость нагревать сталь в ДСА до 1630-1650 °С. Перегрев металла обеспечивается за счет увеличения длительности продувки ванны кислородом и снижения содержания углерода до 0,02-0,04 % при повышении содержания кислорода в стали и шлаке. Высокоокисленный конечный шлак способствует быстрому разрушению футеровки агрегата. Кроме того, профиль ванны ДСА отличается от ванны мартеновских печей тем, что отношение длины к ширине составляет 1,4-1,8 вместо 2,5-3,9 в мартеновских печах той же емкости. Это приводит к сравнительно небольшой площади пода в ДСА и к высокой удельной нагрузке на него, достигающей 4,5-5,5 вместо 3,0-3,3 т/м² в мартеновских печах. Эти особенности в комплексе являются причиной повышенного износа рабочего слоя подины, передней, задней стенки и откосов ДСА.

Целью данного исследования является разработка рекомендаций по оптимизации технологии ремонта и восстановления рабочего слоя подины ДСА.

Если при работе мартеновских печей очередной ремонт подины производится один раз в 10-12 суток, то при работе ДСА по указанной технологии выплавки стали ремонт подины производится раз в 6 суток с промежуточной профилактикой каждые 3 дня. В случае обнаружения аварийных признаков износа подины (низкий уровень металла в печи, большая глубина обнаруженных застоев в отдельных местах подины и т. п.) ремонт подины производится вне графика.

Так как потери времени на проведение ремонтов при указанной технологии производства стали увеличились в 2 раза, особое внимание уделяется организации процесса ремонта для сокращения его длительности. Этому способствуют следующие технологические меры.

Для проведения ремонта подины используется специальный состав из 4-х тележек с 15-тью мульдами, 4 из которых имеют крышки с отверстиями 100×120×50-60 мм, а также удлиненную мульду с периклазовым порошком для подачи ее к задней стенке агрегата.

Для быстрого удаления остатков шлака и металла, выдувки застоев используют одновременно 3 жаропрочные трубы диаметром 32 мм и длиной 6 м с резиновыми рукавами для подачи технического кислорода. Давление кислорода для очистки подины должно быть не менее 7-9 атм (0,7-0,9 МПа). Топливо при этом в ванну не подается, а заливка жидкого чугуна в соседнюю ванну не допускается.

Выдувку застоев начинают с крайних к сталевыпускному отверстию окон, а затем очищают подину перед сталевыпускным отверстием и само отверстие. Разбрызгивание шлако-металлических остатков на стены и откосы агрегата при очистке подины не допускается. Для этого

конец выдувной трубы, через которую подается кислород, следует располагать на 50-100 мм от застоя.

Для выдувки застоя и последовательного удаления его за счет энергии кислорода к сталевыпускному отверстию конец трубы необходимо перемещать сверху-вниз, вправо-влево на незначительное расстояние.

Продолжительность очистки подины на ДСА не должна превышать 30 мин. Температура главного свода печи не должна снижаться ниже 1400 °С.

Сразу после очистки подины устанавливается тепловая нагрузка не менее 10 млн. ккал/час.

Засыпка периклазового порошка начинается через крайние завалочные окна со стороны подачи топлива в рабочее пространство печи. Расход порошка зависит от общего износа футеровки и наварки подины агрегата и составляет 5–15 т на ремонт.

Разравнивание периклазового порошка производится выдувной трубой (струей технического кислорода) вручную, с учетом профиля ванны. Затем в сталевыпускное отверстие вставляется труба-шаблон, обеспечивающая проектную длину отверстия.

По окончании ремонта подины рабочее пространство ДСА разогревается до температуры не менее 1550 °С и начинается завалка шихты.

Благодаря указанной организации работ общая длительность ремонта подины сократилась до 1,0-1,25 часа при длительности аналогичного ремонта на мартеновских печах 2-2,5 часа.[1]

Также для сокращения длительности ремонта и восстановления рабочего слоя подины ДСА необходимо:

1. Тщательно и регулярно производить осмотр подины после выпуска плавков.
2. В случае обнаружения неудовлетворительного состояния подины производить внеплановый ремонт.
3. Не допускать глубину застоев на подине более 250 мм, что позволит обеспечить более продолжительную эксплуатацию подины.
4. Для восстановления подины необходимо заранее готовить оборудование и использовать высококачественные материалы.

Таким образом, внедрение ускоренной технологии ремонта подины позволяет обеспечить безаварийную работу ДСА и выпуск плавков в установленные графиком сроки.

Приведены результаты исследований и практические рекомендации по оптимизации технологии ремонта и восстановления рабочего слоя подины двухванногo сталеплавильного агрегата мартеновского цеха ОАО «Алчевский металлургический комбинат».

The results of researches and practical recommendations for optimization of technology of repair and restoration of a working layer of hearth of tandem furnace of open-hearth plant of OJSC "Alchevsk iron and steel works" are given.

Библиографический список.

1. *Изготовление и ремонт подин, уход за сталевыпускными отверстиями сталеплавильных агрегатов. Технологическая инструкция ТИ 229-СТМ-032-49-2005/ Алчевск. – 2005.*

*научный сотрудник Бревнов А.А.
(ДонГТУ, г. Алчевск, Украина)*

ОБОСНОВАНИЕ КОНСТРУКЦИИ ГИДРОДИНАМИЧЕСКОГО НЕПОЛНОПОТОЧНОГО ФИЛЬТРА С ЗАКРУТКОЙ ПОТОКА

Запропоновано спосіб визначення конструктивних параметрів гідродинамічного фільтра з закрученням потоку рідини на вході, що має певні переваги в зрівнянні з традиційним гідродинамічним фільтром.

Проблема и ее связь с научными и практическими задачами. В настоящее время одной из главных задач, стоящих перед человеком является проблема очистки воды от различного рода загрязнений, особенно в регионах с развитой металлургической промышленностью. Техническая вода определенной степени очистки в больших количествах необходима во многих производственных процессах, а природные источники не могут удовлетворить все возрастающие потребности металлургических и коксохимических предприятий.

Известные на сегодняшний день устройства очистки жидкостей от механических примесей обладают рядом преимуществ, обуславливающих область их применения, но присущие им недостатки заставляют нас искать новые пути улучшения тонкости очистки при разумной себестоимости.

В этом плане перспективным является использование закрутки потока очищаемой жидкости в гидродинамических фильтрах.

Анализ исследований и публикаций. Закрутка потока, известная как фактор, интенсифицирующий процессы тепломассообмена, реализована в ряде конструкций устройств очистки. Наиболее распространенными являются гидроциклоны и центрифуги [1], [2], но область рациональных параметров каждого из этих устройств очистки не перекрывает всего диапазона возможных условий работы.

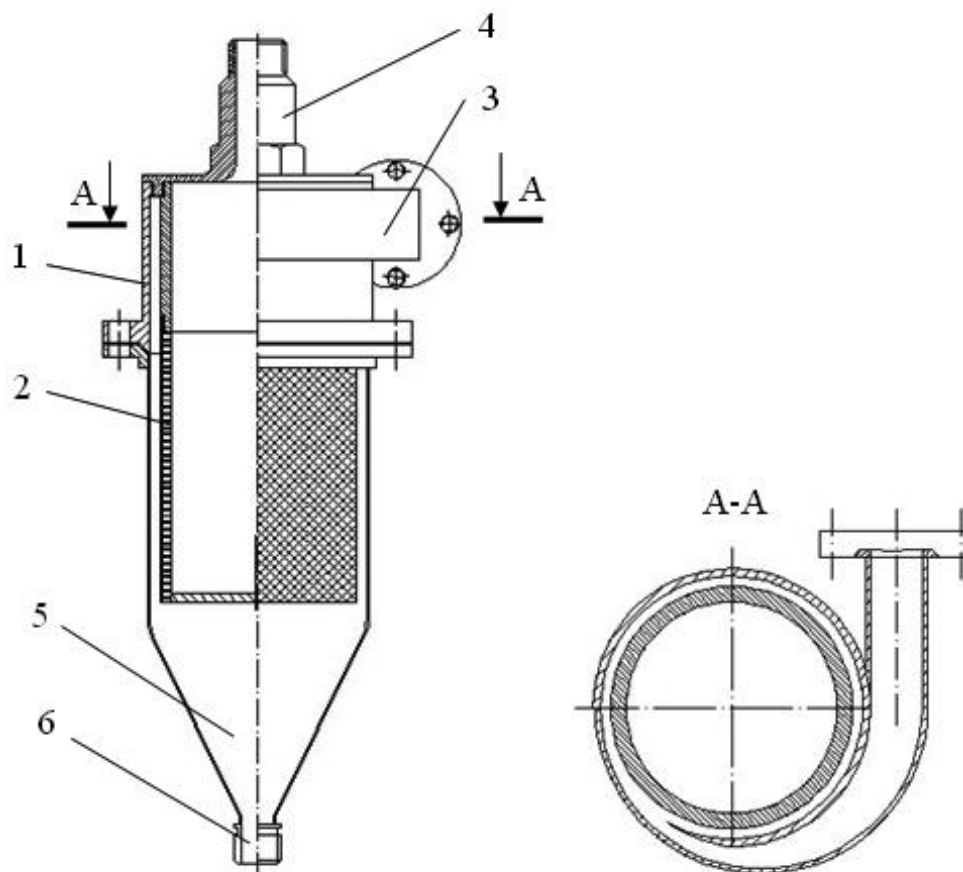
Сочетание сетчатого фильтра и закрутки потока на входе возможно реализовать в гидродинамическом неполнопоточном фильтре [3], где улучшение условий гидродинамического фильтрования, за счет конструктивных особенностей, может быть достигнуто наличием тангенциальной скорости потока, которая может принимать значения, большие, чем осевая скорость.

В работе [3] предложен способ определения рациональных параметров гидродинамического фильтра, использующего закрутку потока.

Кроме того, показана возможность реализации конструкции такого фильтра, обладающего такими преимуществами, как небольшой перепад давления, невысокая чувствительность к параметрам сети, ограждение фильтровальной сетки от твердых частиц, соизмеримых с размером ячейки сетки, а также уменьшение сброса жидкости до 5% от общего расхода.

Постановка задачи. Целью исследования является обоснование и расчет конструктивных параметров гидродинамического фильтра с закруткой потока.

Изложение материала и его результаты. Схематично гидродинамический фильтр с закруткой потока можно изобразить следующим образом.



1 – цилиндрический корпус; 2 – цилиндрический фильтроэлемент; 3 – патрубок тангенциального подвода очищаемой жидкости; 4 – патрубок отвода очищенной жидкости; 5 – бункер для сбора осажденных частиц; 6 – сливное отверстие для удаления загрязнений.

Рисунок 1 – Общий вид гидродинамического фильтра с закруткой потока.

Принцип работы такого устройства очистки заключается в том, что путем тангенциального подвода неочищенной жидкости через патрубков 3, достигается закрутка потока. После этого закрученный поток попадает в область фильтрования между цилиндрическим корпусом 1 и фильтроэлементом 2, где твердые частицы, соизмеримые с ячейками сетки отбрасываются к внешней непроницаемой поверхности за счет центробежных сил, а более мелкие частицы, определяющие тонкость очистки фильтра отбрасываются от фильтровальной сетки за счет гидродинамического эффекта. Очищенный поток подается на выход 4, а часть неочищенной жидкости (порядка 5 %) идет на сброс 6 через бункер 5.

Схема гидродинамического фильтрования показана на рис. 2. Основной идеей гидродинамического эффекта является непрохождение твердой частицы меньшего размера, чем ячейка фильтровальной сетки за счет большей касательной скорости частицы по отношению к радиальной скорости. Условием непрохождения твердой частицы сквозь ячейку фильтроэлемента является [4] расположение линии действия суммарного вектора скорости выше точки А по рис. 2.

$$\frac{d_p}{2a} > \frac{V_r}{V_\theta}, \quad (1)$$

где a – размер ячейки сетки,

V_r – скорость жидкости в ячейке фильтровальной сетки,

V_θ – касательная к поверхности фильтроэлемента скорость потока жидкости.

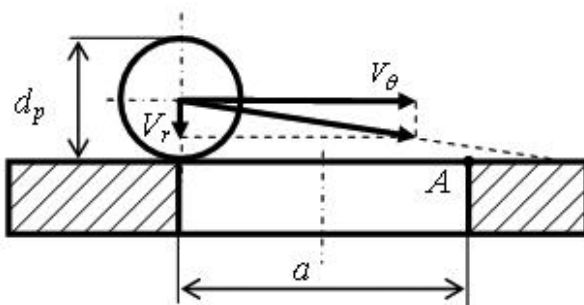


Рисунок 2 – Схема гидродинамического фильтрования

Используя упрощенную модель гидродинамического фильтрования можно определить, при каком соотношении радиальной и касательной скорости твердая сферическая частица диаметром d_p не проходит сквозь ячейку размером a .

В работе [5] сказано, что для тонкости очистки равной $1/3$ размера ячейки в неполнопоточном гидродинамическом фильтре нужно сбрасывать 15-20% поступающей жидкости. Для такой тонкости можно определить отношение касательной скорости к радиальной по формуле:

$$\frac{1}{2 \cdot 3} > \frac{V_r}{V_\theta} \quad (2)$$

То есть для тонкости очистки равной $1/3$ размера ячейки необходимо, чтобы касательная, по отношению к фильтровальной сетке, скорость твердой частицы была, по крайней мере, в 6 раз больше радиальной.

Для расчетов требуется теоретическое обоснование работоспособности создаваемого фильтра. Полученные при этом теоретические результаты могут быть положены в основу методов расчета фильтров такой конструкции.

Для решения этой задачи были рассмотрены следующие вопросы:

1.) Исследование закрученного течения в кольцевой области с проницаемой стенкой.

2.) Обоснование расчетной схемы и исследование движения взвешенных частиц в таких потоках.

3.) Выбор, обоснование и расчет гидродинамического фильтра с закруткой потока.

4.) Экспериментальные исследования, подтверждающие правомерность теоретического подхода.

В работе [3] обоснована область рациональных режимов работы гидродинамического фильтра с закруткой потока. На основании зависимостей, полученных из равновесия сил, действующих на твердую частицу со стороны потока можно определить основные конструктивные параметры фильтроэлемента при заданном расходе.

В работе [6] проведено исследование закрученного течения в кольцевом зазоре с внутренним проницаемым и внешним непроницаемым цилиндром. В результате решения в итерационном цикле системы дифференциальных уравнений, выведенных из упрощенных уравнений Навье-Стокса, получено распределение трех компонент скорости и распределение давления в исследуемой области.

Но профили осевой скорости имеют форму скачкообразно переходящую из начального профиля к последующему. После чего профили постепенно уменьшаются от сечения к сечению. Скачкообразное преобразование начального профиля говорит о нефизичности процесса. Это может быть обусловлено упрощенной заменой производной от осевой скорости по продольной координате с помощью уравнения неразрывно-

сти. Этот недостаток можно исправить, если заменить $\frac{\partial U}{\partial z}$ разностным

выражением $\frac{U - U_0}{\Delta z}$,

где U_0 - осевая скорость на предыдущем шаге,

Δz - шаг по продольной координате.

Тогда дифференциальное уравнение для определения осевой скорости можно записать в следующем виде

$$U'' = U' \left(\frac{V(r)}{\nu} - \frac{1}{\rho} \right) + U^2 \frac{1}{\nu \cdot \Delta z} - U \frac{U_0}{\nu \cdot \Delta z} + \frac{1}{\nu \cdot \rho} \cdot \frac{dp}{dz}, \quad (3)$$

где r - радиальная координата,

ν - кинематическая вязкость жидкости,

ρ - плотность жидкости.

По полученным значениям осевой скорости в разных сечениях и используя уравнение неразрывности, определяем радиальную скорость V с помощью выражения

$$\int_{r_i}^{r_{i+1}} r \frac{\partial U}{\partial z} dr = -r_{i+1} \cdot V_{i+1} + r_i \cdot V_i. \quad (4)$$

Для определения тангенциальной скорости используем выражение [3]:

$$W'' = \left(\frac{V}{\nu} - \frac{1}{r} \right) W' + \left(\frac{V}{r \cdot \nu} + \frac{1}{r^2} + \frac{U}{\nu \cdot \partial z} \right) W - \frac{U}{\nu} \cdot \frac{W_0}{\Delta z}. \quad (5)$$

В основу решения положен приближенный подход, основанный на сведении уравнений в частных производных к многократному решению ОДУ в итерационном цикле. Особенностью предложенного метода приближенного решения является пошаговое решение в итерационном цикле краевой задачи для обыкновенных дифференциальных уравнений.

Реализованный метод расчета позволяет обнаружить предвестники возникновения обратных течений, такие как предотрывный характер профиля скорости при расчете дифференциальных уравнений закрученного течения жидкости в кольцевом зазоре. Это видно по характеру профиля осевой скорости, особенно вблизи наружной стенки.

Полученное решение отличается тем, что не требует больших вычислительных ресурсов и может быть задействовано в общей методике расчета устройства очистки. В то же время оно дает возможность определить три компоненты скорости жидкости и распределение давления в исследуемых областях.

Решение протестировано на примере известных течений и показывает хорошую сходимость. В качестве иллюстрации результатов расчета на рисунке 3 показаны наиболее характерные профили осевой U и тангенциальной W скорости в относительных безразмерных координатах.

$$\bar{z} = \frac{z}{L}, \quad \bar{r} = \frac{r - R_1}{R_2 - R_1}, \quad \bar{U} = \frac{U}{U_{cp}}, \quad \bar{W} = \frac{W}{U_{cp}}, \quad (7)$$

где U_{cp} - среднее значение осевой скорости в начальном сечении,

L - длина проницаемой поверхности.

Из этих графиков видно, что тангенциальная скорость в области фильтровальной сетки существенно превышает осевую скорость, что является положительным фактором для гидродинамической очистки.

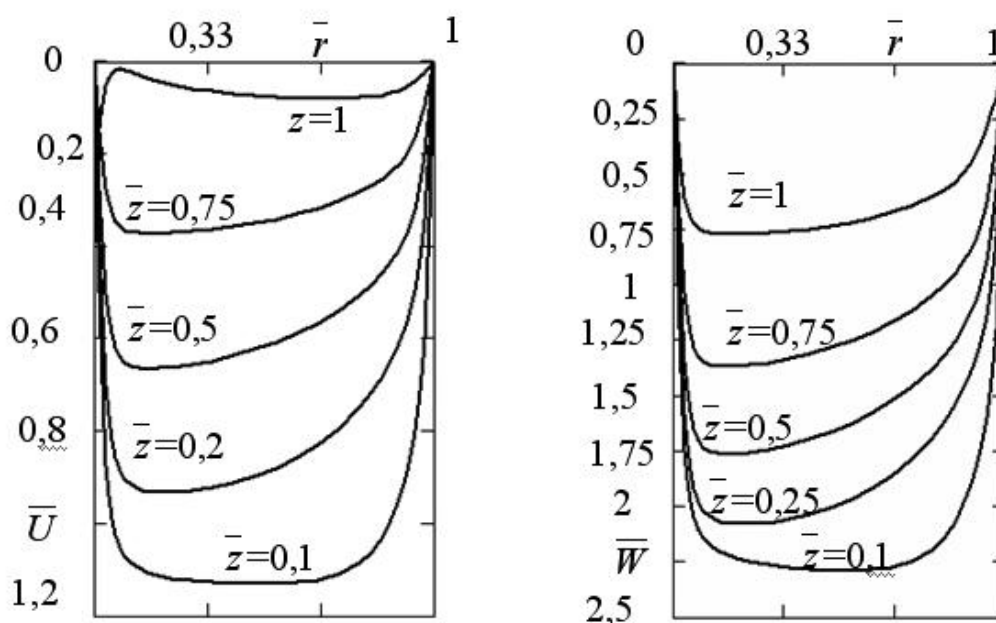
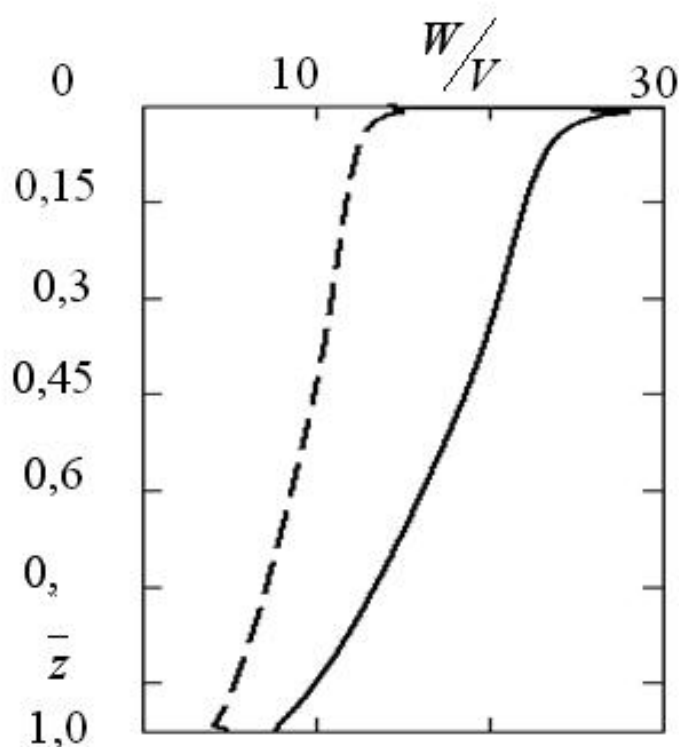


Рисунок 3 – Профили осевой и тангенциальной скорости.

Но для реализации гидродинамического эффекта во всей области фильтрования необходимо иметь отношение касательной скорости к радиальной не менее 6, как было сказано выше, на расстоянии половины размера твердых частиц, определяющих тонкость очистки.

На рис. 4 показаны кривые изменения гидродинамического эффекта по длине области фильтрования на расстоянии 10 и 20 мкм от проницаемой поверхности. По графику видно, что отношение касательной составляющей скорости к радиальной (гидродинамический эффект) уменьшается по мере приближения к выходному сечению, но остается достаточным, чтобы не пропустить сквозь ячейку фильтровальной сетки частицы меньшие размера ячейки даже при небольшом сбросе (порядка 5%).



- — — — — на расстоянии 10 мкм от проницаемой поверхности;
- - - - - на расстоянии 20 мкм от проницаемой поверхности.

Рисунок 4 – Отношение касательной скорости к радиальной

Следующей задачей, которую необходимо было рассмотреть для решения поставленных целей – это задача о движении взвешенной твердой частицы в потоке жидкости в условиях кольцевой области фильтрования, характерной для рассматриваемой задачи.

В работе [7] была представлена постановка задачи о движении твердой частицы под действием сил со стороны потока. В результате численного решения задачи о движении сферической твердой частицы на основе рассчитанного заранее поля скоростей в расчетной области по виду траекторий движения частиц можно более точно судить возможности незасорения проницаемой поверхности частицами определенного размера.

Следующей задачей работы был комплексный расчет всего устройства очистки по схеме, представленной вначале.

Общая методика расчета гидродинамического фильтра с закруткой потока:

1. С помощью оценочного анализа сил, действующих со стороны потока на твердую сферическую частицу определяем размеры фильтроэлемента при соблюдении условия непопадания частицы соизмеримой с размером ячейки на фильтровальную сетку.

2. Путем решения задачи, основанной на решении упрощенных уравнений Навье-Стокса в итерационном цикле определяем величину кольцевого зазора из условия отсутствия признаков появления обратных течений. При этом получаем картину распределения трех компонент скорости потока и распределение давления в области фильтрования. По результатам расчета течения строим функцию отношения касательной составляющей скорости потока к радиальной составляющей в окрестности проницаемой стенки, которая показывает возможность реализации гидродинамического эффекта по всей длине области фильтрования.

3. Решаем задачу движения твердой сферической частицы в рассчитанном поле скоростей из условия непопадания твердой частицы диаметром, соизмеримым с размером ячейки сетки, на внутреннюю поверхность фильтра.

4. При полученных в расчете геометрических параметрах подсчитываем перепад давления на фильтре. При необходимости можно откорректировать геометрические размеры фильтра и повторить процедуру расчета сначала.

При расчете поля скоростей нужно учитывать, что кольцевой зазор с одной стороны должен быть достаточно большим, чтобы уменьшить трение о стенки канала и обеспечить беспрепятственное прохождение твердых частиц примесей в потоке при сравнительно небольшой концентрации, а с другой стороны достаточно маленьким, чтобы уменьшить вероятность появления турбулентных вихрей и исключить возникновение обратных течений в осевом направлении.

На основе проведенного исследования была разработана конструкция гидродинамического полнопоточного фильтра, приведенная на рис. 5, в котором реализованы все те преимущества, о которых я упоминал ранее. Экспериментальный образец неполнопоточного фильтра с закруткой потока на входе, представленный на рис. 5, рассчитан на $Q=2$ м³/час с тонкостью очистки 25 мкм.

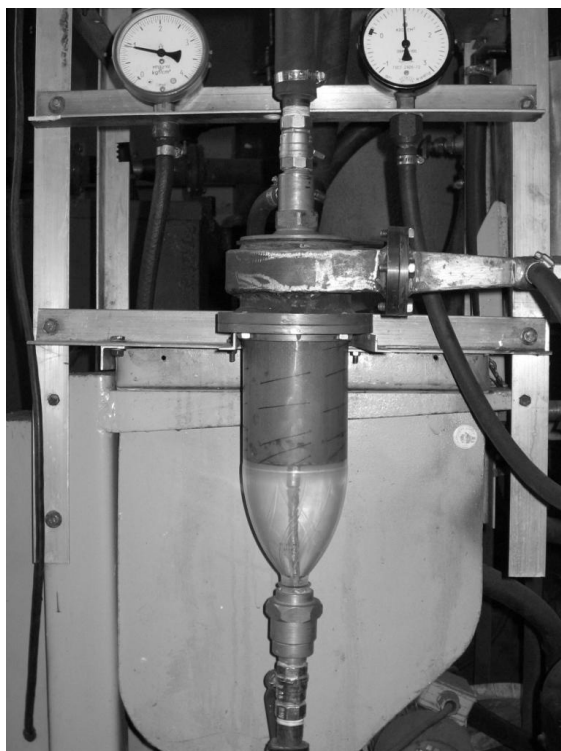


Рисунок 5 – Общий вид фильтра

Представленный макет гидродинамического фильтра с закруткой потока был подвержен экспериментальным исследованиям для воды с концентрацией взвешенных твердых частиц $c = 0,02$ плотностью $\rho_p = 2100$ кг/м³. После 30 часов работы фильтровальная сетка осталась практически чистой (рис. 6). Перепад давления на фильтре составил 0,01-0,015 МПа. Эффективность очистки жидкости на фильтровальной сетке с размером ячейки 71 мкм от частиц размером 25 мкм при расходе в линии сброса 5% от общего расхода составила 94,67%. Анализ под микроскопом показал, что в пробах очищенной жидкости практически отсутствуют частицы, размер которых превышает 25 мкм.

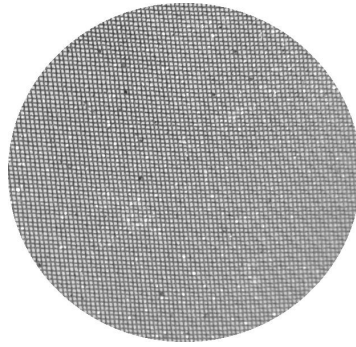


Рисунок 6 – Элемент фильтровальной сетки №0071 после работы в течение 30 часов

Выводы и направление дальнейших исследований. В результате проведенного исследования можно сказать, что предложенная методика дает возможность рассчитать основные конструктивные параметры гидродинамического фильтра, использующего закрутку потока.

Направлением дальнейших исследований является проведение численных и экспериментальных исследований по определению ширины кольцевого зазора, с целью уменьшения потока на сброс до минимально возможных значений без ухудшения качественных показателей работы фильтра.

Предложен способ расчета конструктивных параметров гидродинамического фильтра с закруткой потока жидкости на входе, который имеет определенные преимущества в сравнении с традиционным гидродинамическим фильтром.

The way of definition of the hydrodynamic filter parameters with twist of fluid flow in the entrance section, having the certain advantages in comparison with the traditional hydrodynamic filter is offered.

Библиографический список.

1. Поваров А.И. Гидроциклоны на обогатительных фабриках. М.: «Недра», 1978, - 232 с.
2. Соколов В.И. Современные промышленные центрифуги. М.: «Машиностроение», 1967 – 523с.
3. Бревнов А.А. Исследование влияния закрутки потока на работу гидродинамического фильтра с неподвижным фильтроэлементом. Збірник наукових праць «Технологія і техніка друкарства». – К.: ВПІ НТУУ «КПІ», – 2006. – № 4(14), – с.64-72.
4. Финкельштейн З.Л. Применение и очистка рабочих жидкостей для горных машин. – М.:Недра, 1986.-232 с., с ил.

5. Коваленко В.П., Финкельштейн З.Л. Смазочные и гидравлические масла для угольной промышленности: Справочник. – М.: Недра, 1991. – 294 с.: ил.

6. Бревнов А.А., Мочалин Е.В. Расчет поля скоростей закрученного потока в кольцевой области с проницаемой стенкой. Вісник Сумського державного університету, 2003.- №12(58).- с.65-69.

7. Мочалин Е.В., Бревнов А.А. К постановке задачи о движении взвешенной частицы в закрученном потоке несущей жидкости между двумя соосными цилиндрами с учетом отсоса жидкости через внутренний цилиндр. – Сборник научных трудов. Алчевск: ДГМИ, 2001. - №13. - с.210-218.

СТРОИТЕЛЬСТВО

*к.т.н., доц. Гайко Ю.И.,
к.т.н., доц. Сергиенко С.Н.
(ДонГТУ, г. Алчевск, Украина)*

СТАТИСТИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА ТЕХНИКО- ЭКОНОМИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ТИПОВЫХ ПРОЕКТОВ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ ДЛЯ ОЦЕНКИ НЕДВИЖИМОСТИ ЗАТРАТНЫМ ПОДХОДОМ

В статті приведені результати досліджень методів оцінки нерухомості в рамках витратного підходу, отримана залежність, що описує взаємозв'язок вартості будівельно-монтажних робіт і будівельного об'єму будівель різного функціонального призначення.

Постановка проблемы и ее связь с научными и практически-ми задачами. Затратный подход в оценке недвижимости предусматривает определение текущей стоимости расходов на воспроизводство или замещение объекта оценки с дальнейшим корректированием их на сумму износа (обесценения). В настоящее время в практике оценки существует четыре основных метода определения стоимости замещения (воспроизводства): метод сравнительной единицы измерения (или удельной стоимости); поэлементный; сметный; индексный. Однако повышение достоверности и эффективности оценки объектов недвижимости требует совершенствования методов оценки на основе научных подходов.

Анализ публикаций. В последние годы все чаще внимание практикующих оценщиков привлекают методы математической статистики. В работе [1] приведены общие теоретические положения о возможности использования статистических методов в оценке недвижимости и бизнеса, а в работе [2] рассматривается вопрос применения статистических подходов для оценки квартир сравнительным подходом. К сожалению эти и другие публикации не рассматривают возможность использования статистических методов для расчета стоимости недвижимости затратным подходом, а делают упор в основном на сравнительный подход.

Постановка задачи. Исследование взаимосвязи между строительными параметрами зданий и сооружений и их стоимостными показателями для последующего применения полученных зависимостей в оценке недвижимости затратным подходом.

Изложение материала и его результаты. Основными методами затратного подхода являются метод прямого воспроизводства и метод

замещения. При помощи методов замещения и прямого воспроизводства определяется остаточная стоимость замещения (воспроизводства).

Остаточная стоимость замещения (воспроизводства) объекта оценки рассчитывается как разница между стоимостью замещения (воспроизводства) и величиной износа земельных улучшений, увеличенная на величину рыночной стоимости земельного участка (прав пользования земельным участком) при существующем использовании. Совокупный износ земельных улучшений учитывает физический, функциональный и экономический износ.

Метод прямого воспроизводства, как правило, применяется для проведения оценки объекта, замещение которого невозможно, а также при соответствии существующего использования объекта оценки его наиболее эффективному использованию.

Метод замещения, как правило, применяется для определения стоимости замещения объекта, построенного (строящегося) по типовому проекту, или при условии экономической нецелесообразности восстановления объекта оценки в его первоначальном виде.

При использовании метода замещения для проведения оценки земельных улучшений стоимость замещения определяется на основе расчета текущей стоимости расходов на создание земельных улучшений, подобных оцениваемым, согласно проектно-сметной документации, или по стоимости единичного показателя земельных улучшений (площадь, объем), подобных оцениваемым.

Оценка земельных участков, содержащих земельные улучшения, или земельных улучшений с применением методов затратного подхода предусматривает следующую последовательность оценочных процедур:

- определение рыночной стоимости земельного участка (прав, связанных с земельным участком) при его существующем использовании;
- определение стоимости воспроизводства или стоимости замещения земельных улучшений;
- расчет величины износа (обесценения) земельных улучшений;
- определение остаточной стоимости замещения (воспроизводства) объекта оценки как разности между стоимостью замещения (воспроизводства) и величиной износа земельных улучшений, увеличенной на величину рыночной стоимости земельного участка (прав, связанных с земельным участком) при его существующем использовании.

Существует четыре основных метода определения стоимости замещения (воспроизводства):

- сравнительной единицы измерения (или удельной стоимости);

- поэлементный;
- сметный;
- индексный.

Метод сравнительной единицы измерения заключается в умножении скорректированной удельной стоимости на количество единиц оцениваемого объекта. Это наиболее простой метод расчета стоимости замещения объекта. Основная задача этого метода сводится к поиску достоверной информации о стоимости единицы измерения функционального объекта-аналога. Следует отметить, что этот метод наиболее часто используется в оценочной практике для оценки стоимости недвижимости.

Поэлементный метод заключается в определении стоимости зданий и сооружений исходя из поэлементных затрат (на фундаменты, стены, перекрытие, кровлю, отделочные работы и т. д.). В чистом виде используется редко в практике оценки, или более часто, но в сочетании с методом сравнительной единицы измерения и удельным весом элементов зданий в общей стоимости строительства.

Сметный метод расчета стоимости объектов недвижимости заключается в определении прямых и косвенных издержек на строительство оцениваемого объекта, как если бы он строился в настоящее время (на дату оценки). При этом, расчет издержек может быть осуществлен путем составления сметы на объект оценки. Это наиболее трудоемкий и дорогой метод определения стоимости замещения (воспроизводства), хотя с применением современного программного обеспечения для составления смет его трудоемкость можно существенно снизить. Оценщики не часто используют этот метод в повседневной оценочной практике (в основном для оценки объектов незавершенного строительства или для определения стоимости ликвидации объектов недвижимости).

Индексный метод заключается в определении стоимости замещения (воспроизводства) оцениваемого объекта путем умножения его базисной стоимости на соответствующий индекс цен на дату оценки. В качестве базисной стоимости может использоваться: стоимость, полученная на основе метода сравнительной единицы, известная величина сметной стоимости объекта или балансовая стоимость объекта. Таким образом, индексный метод используется в сочетании с уже рассмотренными выше методами оценки для перерасчета стоимости объекта-аналога (или непосредственно оцениваемого объекта), введенного в действие в более ранние годы к стоимости строительства на дату оценки.

Оценка объектов недвижимости методом сравнительной единицы измерения осуществляется в настоящее время по трем основным направлениям:

1) использование удельной стоимости (1 м^3 строительного объема или 1 м^2 общей площади) функциональных объектов-аналогов по «Сборникам укрупненных показателей восстановительной стоимости для переоценки основных фондов» с последующим индексированием;

2) использование опосредованной стоимости строительства 1 м^2 общей площади функциональных объектов-аналогов согласно сборника «Ценообразование в строительстве»;

3) использование фактической рыночной стоимости реализации 1 м^2 общей площади функциональных объектов-аналогов (данные изучения рынка первичного жилья или коммерческих объектов в населенном пункте).

В строительной проектной практике накоплено значительное количество типовых проектов, использование которых позволило бы оценщикам получить более достоверные результаты оценочной стоимости конкретных объектов в рамках затратного подхода. Это объясняется тем, что значительная часть оцениваемых сегодня объектов построена в свое время именно по этим типовым проектам. Одним из источников таких типовых проектов является «Строительный каталог» Центрального института типового проектирования бывшего Госстроя СССР [3]. В части 2 этого каталога собраны каталожные листы типовых проектов и типовых проектных решений предприятий, зданий и сооружений различного функционального назначения, объемно-планировочного и конструктивного решения, зонального размещения и пр. Вот основные разделы части 2 «Строительного каталога»:

Раздел 1. Жилые здания.

Раздел 2. Общественные здания (спортивные сооружения, детские дошкольные учреждения, школы и внешкольные учреждения, зрелищные и культурно-просветительные учреждения, административные учреждения, предприятия торговли и общественного питания).

Раздел 4. Предприятия, здания и сооружения промышленности и энергетики.

Раздел 5. Здания и сооружения транспорта (железнодорожный транспорт, автомобильный транспорт и пр.).

Раздел 6. Здания и сооружения связи (телефонная связь, телевидение и пр.).

Раздел 9. Санитарно-технические системы и сооружения (водоснабжение, теплоснабжение и пр.).

В каталожных листах приведены: фасады, планы и разрезы зданий, экспликация помещений с указанием площадей, строительные конструкции и изделия, степень огнестойкости, нормативное значение ветрового давления, расчетная температура наружного воздуха, климатические районы строительства объекта, отделка наружная и внутренняя,

инженерное оборудование, оснащение здания, нормативное значение веса снегового покрова, инженерно-геологические условия, технологический процесс (для промышленных зданий), стоимостные и эксплуатационные показатели, технические характеристики.

Однако значительное количество типовых проектов не позволяет оценщику иметь все сборники у себя «под рукой», а их поиск в технических библиотеках вузов и проектных институтов отнимает львиную долю времени, отведенную для оценки объекта. В этих условиях совершенствование методов оценки недвижимости в рамках затратного подхода может осуществляться с применением теории математической статистики, все чаще привлекающей внимание оценщиков в последние годы. Как показал анализ публикаций, наиболее широко используются статистические методы для получения и обработки результатов расчета рыночной стоимости недвижимости сравнительным подходом (метод аналогов продаж), но и в рамках затратного подхода также имеется значительный статистический материал, который позволит оценщикам использовать новый метод (назовем его «метод статистической обработки каталожных листов») и получать вполне достоверные результаты оценки недвижимости в кратчайшие сроки.

В основу определения стоимости объектов недвижимости по каталожным листам авторами статьи положена гипотеза о взаимосвязи стоимостных показателей объекта и их технических характеристик, в частности о взаимосвязи сметной стоимости строительно-монтажных работ и строительного объема здания [4]. Исследование этой взаимосвязи осуществляется с помощью методов регрессионно-корреляционного анализа.

Под регрессионным анализом понимают исследование закономерностей между явлениями (процессами), которые зависят от многих, иногда неизвестных факторов. Если две переменные зависят друг от друга так, что каждому значению x соответствует определенное значение y , то между ними существует функциональная или детерминированная связь.

Часто между переменными x и y существует связь, но не вполне определенная. Одному значению x соответствует несколько значений (совокупность) y . В этом случае связь называют регрессионной. Функция $y = f(x)$ является регрессионной (корреляционной), если каждому значению аргумента соответствует статистический ряд распределения отклика y . Следовательно, регрессионные зависимости характеризуются вероятностными или стохастическими связями. Поэтому, установление регрессионных зависимостей между величинами x и y возможно лишь тогда, когда выполнимы статистические измерения. Статистические зависимости описывают математическими моделями процесса, т. е. рег-

рессионными выражениями, связывающими независимые значения x (факторы) с зависимой переменной y (результативный признак, функция цели, отклик). Модель по возможности должна быть простой и адекватной.

Суть регрессионно-корреляционного анализа сводится к установлению уравнения регрессии, т. е. вида кривой между случайными величинами, аргументами x и функцией y , оценке тесноты связей между ними и достоверности и адекватности результатов измерений [5].

Чтобы предварительно определить наличие корреляционной связи между x и y наносят точки на график и строят так называемое корреляционное поле (см. далее примеры диаграмм). По тесноте группирования точек вокруг прямой или кривой линии, по наклону линии можно визуально судить о наличии корреляционной связи. Корреляционное поле характеризует вид связи между x и y . По форме поля можно ориентировочно судить о форме графика, характеризующего прямолинейную или криволинейную зависимости. Даже для вполне выраженной формы корреляционного поля вследствие статистического характера связи исследуемого явления одно значение x может иметь несколько значений y . Если на корреляционном поле осреднить точки, т. е. для каждого значения x_i определить \bar{x}_i и соединить точки \bar{y}_i , то будет получена ломаная линия. Эту линию называют экспериментальной регрессионной зависимостью (линией). Наличие ломаной линии объясняется рядом причин: погрешностями измерений, недостаточным количеством измерений, физической сущностью исследуемого явления и др.

Различают однофакторные (парные) и многофакторные регрессионные зависимости. Парная зависимость может быть аппроксимирована прямой линией, параболой, гиперболой, логарифмической, степенной или показательной функцией, полиномом и др. Парная корреляция занимается изучением характеристик взаимосвязи двух случайных величин.

Критерием близости корреляционной зависимости между x и y к линейной функциональной зависимости является коэффициент парной или просто коэффициент корреляции r . Он показывает степень линейности связи x и y . Значение коэффициента корреляции всегда меньше единицы. При $r = 1,0$ x и y связаны функциональной связью, т. е. каждому значению x соответствует одно значение y . Если $r < 1$, то линейной связи не существует. При $r = 0$ между x и y линейной корреляционной связи не существует, однако может существовать нелинейная регрессия. Обычно считают тесноту связи удовлетворительной при $r > 0,5$; хорошей при $r = 0,8-0,85$ [5]. Для определения процента разброса искомой функции y относительно ее среднего значения, определяемого изменчивостью фактора x , вычисляют коэффициент детерминации $K_d = r^2$.

Для получения регрессионных зависимостей были приняты выборки от 80 до 130 объектов в каждой функциональной группе типовых зданий и сооружений. Всего исследованием охвачено около 700 типовых проектов «Строительного каталога» за 1985–1990 годы. Конечно, данные исследования не носят всеобъемлющий характер, ибо проанализировать все возможные варианты в рамках подготовки научной статьи невозможно.

Ниже на рисунках представлены примеры полученных регрессионных зависимостей для жилых зданий, административно-бытовых комбинатов промышленных предприятий, а также предприятий торговли и общественного питания.

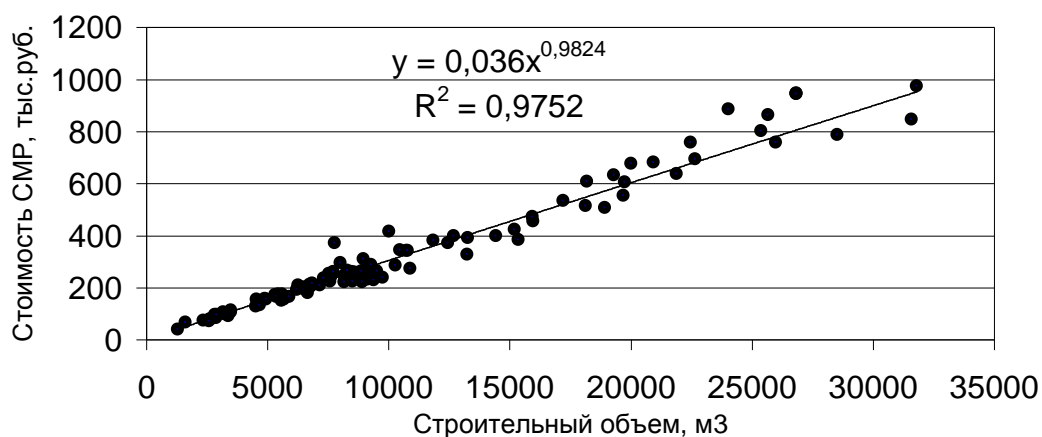


Рисунок 1 – Диаграмма зависимости сметной стоимости строительномонтажных работ от строительного объема для жилых зданий

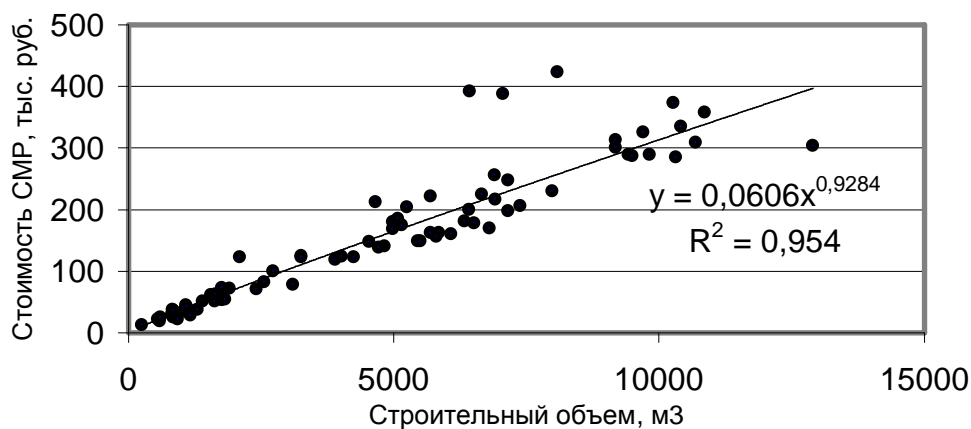


Рисунок 2 – Диаграмма зависимости сметной стоимости строительномонтажных работ от строительного объема для АБК промышленных зданий

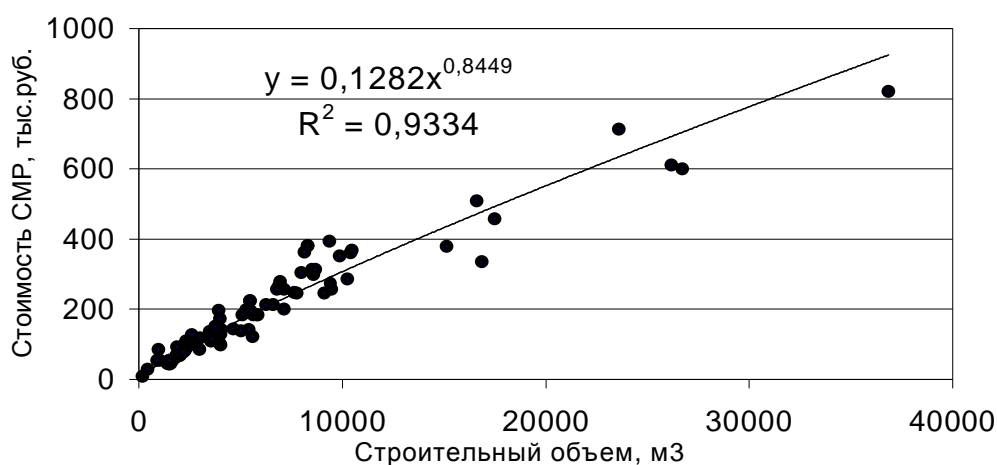


Рисунок 3 – Диаграмма зависимости сметной стоимости строительно-монтажных работ от строительного объема для зданий торговли и общественного питания

Далее в таблице 1 приведены уравнения регрессии для исследованных в рамках данной статьи типов зданий и сооружений.

Таблица 1 – Уравнения регрессии, отражающие зависимость между сметной стоимостью строительно-монтажных работ и строительным объемом зданий

<i>Типы зданий и сооружений</i>	<i>Уравнение регрессии</i>	<i>Коэффициент детерминации</i>
Жилые здания	$y = 0,036x^{0,924}$	0,9752
Предприятия торговли и общественного питания	$y = 0,1282x^{0,8449}$	0,9334
Лечебно-профилактические учреждения	$y = 0,0407x^{1,0018}$	0,9751
Школы и внешкольные учреждения	$y = 0,1516x^{0,817}$	0,9119
Административные здания	$y = 0,1296x^{0,8462}$	0,8637
Производственные здания	$y = 0,0456x^{0,9473}$	0,9292
АБК производственных зданий	$y = 0,0606x^{0,9284}$	0,954

Примечание: У – сметная стоимость строительно-монтажных работ, тыс. рублей в ценах 1984 года;
 X – строительный объем зданий, м³.

Выводы и направления дальнейших исследований.

Таким образом, подставив в уравнение значение строительного объема оцениваемого здания, проиндексировав полученную стоимость с учетом соответствующего индекса изменения рыночной стоимости строительного-монтажных работ и индекса инфляции на дату оценки, добавив прибыль инвестора, а также умножив результат на коэффициент пригодности объекта оценки (коэффициент износа) можно получить рыночную стоимость объекта недвижимости затратным подходом. Полученные модели носят укрупненный характер и, возможно, обладают определенными погрешностями, однако они позволяют оперативно и с достаточной для практики точностью получить сметную стоимость строительного-монтажных работ и рыночную стоимость типовых зданий и сооружений различного функционального назначения как на стадии технико-экономического обоснования строительства в процессе разработки инвестиционных проектов или бизнес-планов, так и в случае проведения независимой оценки недвижимости.

Новый метод оценки недвижимости наряду с известными методами при согласовании результатов в рамках затратного подхода (а только методами сравнительной единицы измерения с учетом предложенного метода их может быть четыре) позволит получить более достоверный результат стоимости объекта оценки затратным подходом.

В рассматриваемой работе авторы хотели показать возможный путь решения данной проблемы и надеются на то, что практикующие оценщики смогут без труда восполнить недостающие регрессионные зависимости по другим типам зданий и сооружений (здания и сооружения транспорта, средств связи, зрелищные и культурно-просветительные учреждения и т. д.).

В статье приведены результаты исследований методов оценки недвижимости в рамках затратного подхода, получены зависимости, описывающие взаимосвязь стоимости строительного-монтажных работ и строительного объема зданий различного функционального назначения.

An the article the investigation results of estimative methods of estate within the cost-is-no-object approach are presented, the dependencies are obtained, which describe the interrelation of the cost of construction-and-assembling operations and the building volume in various functionality.

Библиографический список.

1. Сивец С.А. *Статистические методы в оценке недвижимости и бизнеса.* – Запорожье, Просвіта, 2001.–320 с.
2. Коваль Е.В., Лисняк В.Г. *Применение статистических подходов в оценке стоимости имущества // Государственный информационный бюллетень о приватизации.* –2002.–№10.–С.40-44.
3. *Строительный каталог СК–2. Предприятия, здания и сооружения.* – М.:ЦИТП Госстроя СССР, 1985–1990.
4. Гайко Ю.И., Беяева С.Ю., Гайко Е.Ю. *Использование статистических методов в оценке недвижимости с помощью затратного подхода // Государственный информационный бюллетень о приватизации.* – 2003.– №6.– С. 44-46.
5. Грушко И.М., Сиденко В.М. *Основы научных исследований.*– Харьков: Вища школа. Изд-во при Харьк. ун-те, 1983–224с.

*к.т.н., доц. Симонова И.Н.,
к.т.н., доц. Долголаптев В.М.,
к.т.н., доц. Николаева Е.К.
аспирант Симонов С.И.
(ДонГТУ, г. Алчевск, Украина)*

ПРОБЛЕМЫ ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ ЖИЛЫХ ЗДАНИЙ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ СОВРЕМЕННЫХ СИСТЕМ ОТОПЛЕНИЯ

Проведено аналіз переваг і недоліків існуючих систем опалення будинків. Намічено шляхи енергозбереження при експлуатації житлових будинків в умовах жорсткості нормативних вимог до мікроклімату приміщень.

Проблема и ее связь с научными и практическими задачами. В настоящее время жилищно-коммунальный сектор Украины переживает острый кризис, связанный с целым комплексом причин: изношенностью инженерного оборудования зданий, переходом экономики на рыночные условия, что привело к резкому удорожанию эксплуатации зданий и, как следствие, к значительному росту стоимости коммунальных услуг.

Одним из самых расходным по затратам тепловой энергии является жилищно-коммунальный сектор. Ранее абсолютно не учитывались эксплуатационные затраты, в первую очередь на топливо, которое в то время было дешевым. Однако, положение дел резко изменилось из-за стремительного роста цен на топливо и электроэнергию. Было осознано, что значительная часть энергетических ресурсов просто расточительно расходуется на поддержание необходимого микроклимата в помещениях из-за несовершенства объемно-планировочных решений здания и ограждающих конструкций, а доля эксплуатационных расходов на отопление зданий весьма велика. Поэтому в настоящее время вышел целый комплекс нормативных документов по проектированию современных зданий и сооружений, направленных на экономию тепловой энергии, согласно которым должны проектироваться современные здания и сооружения

Анализ исследований и публикаций. Оценка энергосберегающих мероприятий невозможна без документа, фиксирующего энергоэффективность как проектируемого, так и эксплуатируемого здания, а также наличия измерительной аппаратуры у потребителей, поэтому каждое здание должно содержать энергетический паспорт.

Энергетический паспорт здания дает не только общую информацию о строящемся или существующем здании, указывает расчетные параметры воздуха, геометрические и теплофизические показатели здания, но и их энергетические показатели: удельную тепловую характеристику здания, максимальные допустимые значения удельных затрат на отопление, класс энергетической эффективности здания [1]. Кроме того, энергетический паспорт здания классифицирует здания по классам энергетической эффективности, что заставит жилищно-коммунальные комплексы принимать меры по экономии тепловой энергии в здании.

Во многих источниках современной литературы, в частности на интернет-сайте журнала «Строительство и реконструкция, приведен обзор рынка отопительных котлов в Украине и анализ положительных качеств автономных систем отопления зданий [2]. Конечно же, в системах централизованного отопления сложилась кризисная ситуация – тепловые сети требуют огромных вложений в их капитальный ремонт, потери тепловой энергии за год в них составляет 13 млн. Гкал, что составляет 11% от объемов отпущенной тепловой энергии. Техническое состояние оборудования современных котельных является критическим, многие котлы около 20 лет, их коэффициент полезного действия составляет менее 82%, что говорит о том, что эти модели значительно устарели. Поэтому, такая сложившаяся ситуация во многих городах страны заставляет жильцов переходить на установку автономных систем отопления, тем более, что в настоящее время на рынке Украины существует огромное количество настенных двухконтурных и напольных газовых котлов, появились также электрические котлы, как отечественного, так и зарубежного производства

Постановка задачи. Основная задача, решаемая при проектировании современной системы отопления жилого дома в настоящее время – это повышение комфортности проживания, а также уменьшение удельных затрат тепловой энергии на отопление, что достигается различными способами утепления наружных ограждений. Эти способы требуют отдельных дальнейших исследований.

Изложение материала и его результаты. Безусловно, хорошо, когда имеются альтернативные источники теплоснабжения и есть выбор, тем более огромное количество современных украинских котлов, которые приспособлены к реалиям наших климатических условиях, намного эффективнее и безопаснее, чем зарубежные, которые в большинстве случаев не приспособлены к нашим условиям, но так ли хорошо индивидуальное отопление? Основное достоинство котлов большой мощности в том, что в них можно сжигать любое низкосортное топливо, а не только дорогой газ. Кроме того, индивидуальные системы отопления требуют наличия соответствующих дымоventилиационных каналов,

рассчитанных на выбросы вредных веществ от продуктов сгорания топлива, а если таких каналов нет, то необходимо нарушать целостность несущей конструкции, пробивая ее для вывода трубы котла. Кроме того, необходимо увеличивать сечение газовых стояков, так как они не рассчитаны на такое потребление бытового газа. Также остается проблема выбросов в атмосферу углекислого газа в основном из-за отопления и конденционирования зданий, т.е. возникает проблемы загрязнения окружающего воздуха и создания парникового эффекта, с чем борется вся Европа. Конечно же, нет сомнений в эффективности индивидуальной системы отопления для обогрева коттеджей, индивидуальных жилых домов и т.п., но для обогрева многоэтажных жилых домов необходимы либо эффективные котельные на дом с перестройкой системы отопления, либо модульные котельные, либо все-таки вложить средства в существующие системы централизованного отопления, с дальнейшей их децентрализации и переходом на альтернативные источники тепла, тем более, что рынок имеет огромное количество современных материалов как труб, так и теплоизоляции, и современные технологии их укладки.

Проблема больших теплопотерь зданий остро стоит при всех видах систем отопления, особенно при индивидуальных системах отопления в многоэтажных зданиях, когда отсутствует отопление подъездов, т.е. каждый житель обогревает свою квартиру. Современные нормативные документы повысили минимально допустимые температуры внутреннего воздуха помещений: в жилых комнатах до 20°C , а в кухнях до 18°C и требуют учета потерь теплоты через внутренние стены, если разность температур между ними превышает более 3°C [2]. Кроме того, увеличились минимально допустимые сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций жилых и гражданских зданий в зависимости от температурной зоны Украины. Следовательно, суммарные теплопотери существующих зданий, которые в настоящее время не соответствуют нормам Украины, а это почти 80% жилья нашего региона, резко возрастают и, как следствие, мощность системы отопления увеличивается.

Отсутствие системы отопления в подъездах многоэтажных зданий приводит к тому, что стены лестничных клеток начинают работать на теплопередачу с такой разностью температур, на которые они не рассчитаны. В них резко происходит падение температуры и как следствие происходят процессы движение водяных паров, так как внутри этих конструкций может образовываться точка росы. Такие конструкции в зимний период года, в отсутствии систем отопления подъездов, мокрые, в них скапливается конденсат, но проблема возникает еще в том, что в панельных зданиях стены лестничных клеток несущие, либо в них имеются вентиляционные каналы. Возникают проблемы вентиляции зданий, а также мокрые конструкции не только приводят к образованию грибков и

плесени на их поверхности, но и снижается их прочность, и как следствие долговечность здания. Следовательно, проблему обогрева подъездов многоэтажных зданий необходимо решать в срочном порядке.

Выводы и направление дальнейших исследований.

Увеличение теплопотерь существующих зданий и, как следствие мощности системы отопления, требует немедленного решения проблем утепления не только наружных стен, но и внутренних, а также немедленного решения обогрева подъездов жилых домов. Сегодня ни для кого не является секретом, что эффективная теплоизоляция не только улучшает микроклимат жилых и общественных зданий, но и увеличивает срок службы строительных и инженерных конструкций.

Эффективность теплоизоляции зданий может быть оценена только повсеместной паспортизацией зданий с назначением класса энергетической эффективности. Кроме того, энергетический паспорт дает потенциальным покупателям и жильцам конкретную информацию о том, что они могут ожидать от здания с точки зрения теплоснабжения и энергетической эффективности. Следовательно, энергетический паспорт является обоснованным документом для экономического стимулирования энергосбережения (льготное налогообложение, кредитование, дотации и т.д.) и объективной оценки стоимости жилья.

Дальнейшие исследования будут направлены на разработку различных вариантов утепления зданий, выбор наиболее оптимальных по стоимости и конструктивному решению, а также составлению энергетических паспортов жилых домов.

Проведен анализ преимуществ и недостатков существующих систем отопления зданий. Намечены пути энергосбережения при эксплуатации жилых зданий в условиях ужесточения нормативных требований к микроклимату помещений.

The analysis of advantages and deficiencies of existing heater systems of buildings is held. The paths energy saving are marked at exploitation of inhabited buildings in conditions of a hardening of normative requests to a microclimate of puttings.

Библиографический список.

1. ДБН В.2.6-31:2006. Теплова ізоляція будівель. – На заміну СНиП II-3-79. – Київ.: Міністерство будівництва, архітектури та житлово-комунального господарства України, 2006. – 70 с.
2. Строительство и реконструкция [Обзоры рынков] – 2004. - №4. – С. 21-23. – Режим доступа до журн.: www.stroyrec.com.ua

*к.т.н. Долголатев В.М.,
к.т.н. Симонова И.Н.,
к.т.н. Николаева Е.К.,
аспирант Симонов С.И.
(ДонГТУ, г.Алчевск, Украина)*

ПОВЫШЕНИЕ КОМФОРТНОСТИ ЖИЛЫХ ЗДАНИЙ ЗА СЧЕТ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ АРХИТЕКТУРНО-ПЛАНИРОВОЧНЫХ РЕШЕНИЙ

Проведено аналіз використання залізобетонних каркасів серії 1.020 у сучасному будівництві. Розроблені архітектурно-планувальні рішення житлових будинків підвищеної комфортності.

Проблема и ее связь с научными и практическими задачами.

Планировка домов и квартир в них должна отвечать требованиям повышения комфортности жилища за счет совершенствования планировочных решений квартир, эксплуатационных качеств ограждающих конструкций и систем инженерного оборудования.

Ранее существовавшая база заводского домостроения накладывала определенные ограничения на архитектурно-планировочные решения зданий, лишая их особой индивидуальности. Возможность заводского производства базируется на ограничении и типизации величин геометрических параметров зданий: высот этажей, пролетов и шагов вертикальных несущих конструкций, создавая дома-близнецы, не украшающих городскую застройку. В связи с проведением радикальных реформ на рынках Украины, появилась возможность вкладывать капитал в строительство жилья, так как приобретение недвижимости – это один из путей борьбы с инфляцией. Конечно же, заказчик не захочет вкладывать деньги в стандартную типовую застройку, он потребует особого комфорта и предъявит повышенные требования к качеству жилья.

Анализ исследований и публикаций. Применение кирпичных зданий с продольно-стеновой системой несколько улучшило качество жилья, позволяя расширить внутреннее пространство помещений за счет внедрения в жилищное строительство гибкой планировки квартир. В таких квартирах с помощью передвижных перегородок или установки шкафов - перегородок может меняться число комнат в зависимости от состава семьи.

Безусловно, качество жилья должно улучшаться, что, несомненно, приводит к применению конструктивных схем здания значительно расширяющих внутреннее пространство помещения и увеличивающих их

высоту. Используемые для оценки объемно-планировочного решения здания коэффициенты K_1 и K_2 явно устарели для современного строительства и недостаточны для технико-экономической оценки проекта. Одним из вариантов улучшения комфортности жилья и расширения внутреннего пространства помещений является применение для возведения зданий массового строительства каркасной строительной системы на основе существующих серий, что позволит таким домам вписаться в любой ландшафт города, даже в его старую застройку.

По своей структуре система подразделяется на несущие конструкции (колонны, ригели, связевые элементы вертикальные и горизонтальные) и ограждающие (навесные наружные стены здания). Тем более что в качестве ограждающих конструкций можно использовать легкие эффективные современные конструкции, а можно использовать и самонесущие стены облегченной кладки с внутренним термовкладышем.

Перспективность такого подхода подтверждается опытом стран СНГ, где подобные проекты уже реализованы на основе конструкций серий 1.020, Б1.020.1-7 (сборно-монолитный каркас АРКОС-1). В них применен сборно-монолитный каркас с плоскими дисками перекрытий, который состоит из сборных колонн и многопустотных плит, объединенных несущими и связевыми ригелями. Внутренние объемы разделены произвольно размещаемыми перегородками, [2].

Например, девятиэтажное здание общей площадью 3000 м^2 по адресу г. Пермь улица Газеты Звезда 38 построено в 2003 - 2004 годах в кирпично-каркасном исполнении. Стоимость железобетонных изделий (серии 1.020) для возведения "этажерки здания" в ценах ОАО ЖБК-1 г. Пермь на 1.05.2004. составляет 3922000 рублей." Колонны 400×400 с высотой этажа 3,3 метра - 35шт." Ригеля (РДП 4.56, РДП 4.26, РОП 4.56) -- 148 штук. Пустотные плиты перекрытия общей площадью 2820 м^2 . Исключая стоимость фундамента, стен, коммуникаций и отделки стоимость квадратного метра здания составила 1300 рублей на 01.05.2004г. Срок монтажа коробки здания составил пять месяцев, [2].

Применение каркасных домов позволяет не только более эффективно использовать индустриальную базу нашего государства, но и расширить номенклатуру жилищно-гражданских объектов и как следствие обогатить опыт проектирования. Тем более, что научно-проектное архитектурное бюро «ЛИЦЕНЗИАРХ», которое является коллективным членом Украинской Академии Архитектуры, на основе разработанных патентно-лицензионных предложений и изобретений, связанных с совершенствованием и дополнением существующих сборных железобетонных каркасных систем, выполнило ряд конкретных проектов по строительству объектов культурно-бытового назначения, малоэтажных жилых комплексов повышенной комфортности, [1].

На целесообразность использования в малоэтажном жилищном строительстве выпускаемых сборных систем (ИИ-04, 1-020, ОСКС «Каскад») в значительной степени влияют следующие факторы: в условиях повышения требований к энергосбережению целесообразно заменить утолщенные несущие наружные стены легкими эффективными навесными панелями, передающими нагрузки на каркас; широкий ассортимент сборных железобетонных элементов каркаса позволяет увеличить высоту и площади зданий, а значит комфортность квартир; возможность значительно повысить рентабельность существующих производств.

Исследуя опыт проектирования и практического внедрения каркасных зданий в странах СНГ, где лидером являются Научно-исследовательское и экспериментально-проектное государственное предприятие «Институт БелНИИС» (Минск), можно сделать вывод, что интерес к каркасному строительству в настоящее время вполне оправдан, так как себестоимость квадратного метра жилья снижается по мере перехода от кирпичного дома к монолитному, от монолитного к крупнопанельному, от крупнопанельного к каркасному. Преимущества сборно-каркасных и каркасно-монолитных конструктивных решений доказаны мировой практикой, а технико-экономические показатели возведения зданий различных конструктивных систем приведены в таблице 1 и сравнительных диаграммах рисунка 1.

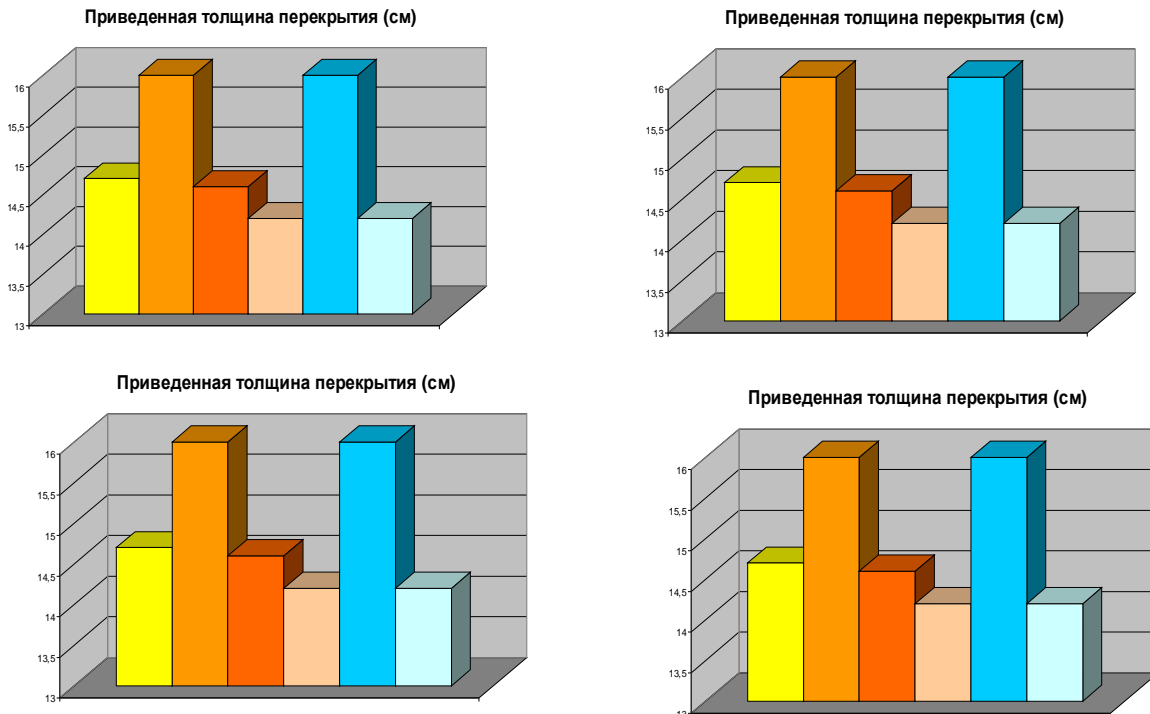


Рисунок 1 – Диаграммы сравнительных характеристик различных видов каркасных зданий

Постановка задачи. Основная задача, решаемая при проектировании жилого дома в настоящее время – это повышение комфортности проживания.

Таблица 1 – Сравнительные характеристики различных видов каркасных зданий

Вид каркаса	Приведенная толщина перекрытия (см)	Расход стали на 1 м ² общей площади (кг)	Доля монолитного железобетона на 1 м ² общей площади (м ³)	Расход сборного железобетона на 1 м ² общей площади (м ³)
Связевый каркас межвидового применения серии 1.020 -1/87	14,7	14,2	0,01	0,27
Каркас с безбалочными безкапительными перекрытиями «КУБ 2,5»	16	20,2	0,02	0,25
Сборно-монолитный каркас межвидового применения с применением плиты несъемной опалубки (d=6)	14,6	9,8	0,08	12
Сборно-монолитный каркас межвидового применения с применением пустотной плиты	14,2	8,8	0,02	0,17
Монолитный безригельный каркас с шагом колонн 6 метров	16	13,5	0,21	0
Универсальная архитектурно-строительная система серии Б-1.020.7 (белорусская)	14,2	14,6	0,06	0,18

Изложение материала и его результаты. Кафедрой архитектурного проектирования и архитектурных конструкций разработан альбом рабочих чертежей таких зданий с полным и неполным каркасом, т. е. с

несущими и самонесущими наружными стенами. На первом этаже таких домов предусмотрены либо гаражи жильцов дома, либо целый набор предприятий общественного обслуживания населения. Пример плана одного из вариантов таких чертежей приведен на рисунке 2. Причем такие дома могут быть как массового, так и индивидуального строительства с различным архитектурно – художественным оформлением.

Применение таких домов для массового строительства в г. Алчевске не только улучшит комфортность проживания жителей города, повысит само качество жилья, но и разнообразит архитектурно- композиционную застройку нашего города, как так такие дома могут легко вписаться в существующий ландшафт, что значительно разнообразит застройку города и украсит его архитектуру.

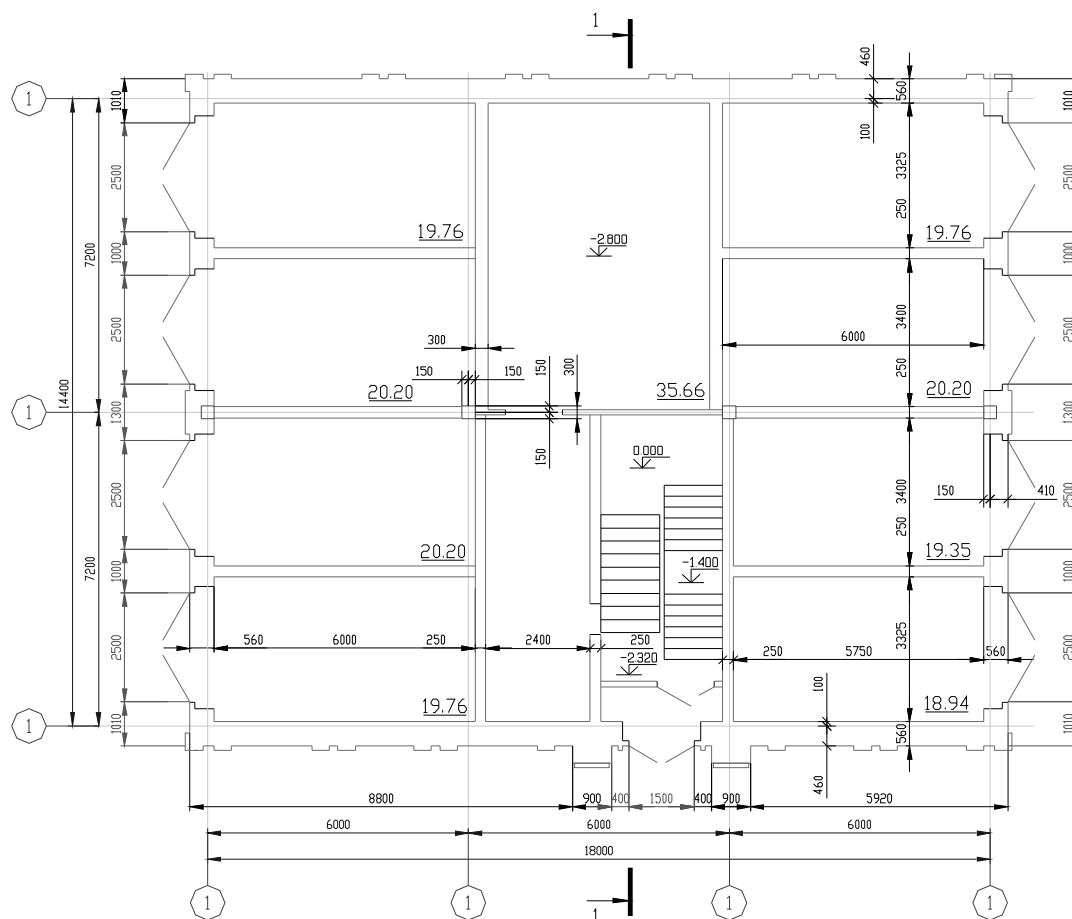


Рисунок 2 – Пример плана этажа одного из вариантов жилых домов

Выводы и направление дальнейших исследований. Железобетонные каркасы серии 1.020 и ее модификации ранее предназначенные для строительства общественных и промышленных зданий, могут быть успешно использованы в жилищной строительстве. Дальнейшие иссле-

дования будут направлены на разработку различных вариантов архитектурно-планировочных решений и выбор наиболее оптимальных.

Проведен анализ использования железобетонных каркасов серии 1.020 в современном строительстве. Разработаны архитектурно-планировочные решения жилых зданий повышенной комфортности.

The analysis of usage of reinforced-concrete hulls of a serial 1.020 in modern building is held. The solutions of inhabited buildings of heightened comfort are designed architectural-lay-out.

Библиографический список.

1. Слепцов О., Подгорный И. Каркасное жилье, его преимущества // Будмайстер. 1997. №27 – 28 С.
2. Уткин В.Л. Каркасно-монолитное строительство // Строительная газета. – 2005. - №20.

ЭЛЕКТРОТЕХНИКА.
РАДИОТЕХНИКА

*к.т.н., доц. Захожай О.И.
(ДонГТУ, г. Алчевск, Украина)*

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРОЕКТИВНОЙ СТРУКТУРЫ И ДВИЖЕНИЯ ПО БИНОКУЛЯРНЫМ СООТВЕТСТВИЯМ В СИСТЕМАХ ТЕХНИЧЕСКОГО ЗРЕНИЯ

Розглянуто методику визначення проективної структури і руху по бінокулярним відповідностям в системах технічного зору.

Системы технического зрения находят все большее применение в различных областях техники. Это связано с тем, что современный уровень развития информационных технологий, аппаратного и программного обеспечения компьютерных систем позволяет создавать высокоэффективные системы обработки визуальных данных. Кроме этого, технический уровень современных средств регистрации визуальной информации позволяет достигать большой точности при анализе различных изображений. При этом стоимость таких систем имеет постоянную тенденцию к снижению, что также обеспечивает экономическую целесообразность их внедрения.

При анализе изображений средствами технического зрения важным является извлечение информации не только о геометрической форме и положении объекта, но и его глубине. Это позволит определять дополнительные параметры изображения, такие как размеры отслеживаемых объектов и расстояние до них. С этой целью реализуются алгоритмы имитации способности человека, называемой стереозрением [1].

Среди областей применения стереоскопического зрения можно выделить: управление роботами и создание «зрячих роботов» [2], картографию, разведку с воздуха и фотограмметрию близкого радиуса действия, автоматизированные и автоматические системы управления техническими комплексами и системами, сегментация изображений с целью распознавания объектов, конструирование трехмерных моделей объектов для приложений компьютерной графики и т.д.

Стереозрение включает два процесса [3]: совмещение деталей, наблюдаемых двумя или большим числом камер и восстановление их трехмерного прообраза. Последний процесс относительно прост, так как прообраз отслеживаемых точек можно найти как точку пересечения лучей, проходящих через эти точки и центры соответствующих диафрагм камер. Такой случай приведен на рисунке 1.

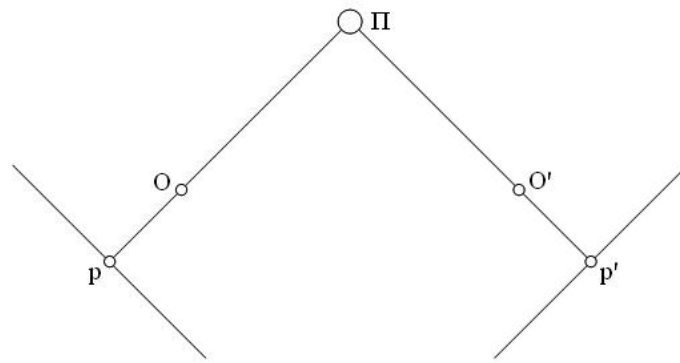


Рисунок 1 – Определение прообраза точки Π при бинокулярном совмещении изображений

Однако большинство реальных сцен состоит из сотен тысяч пикселей, а характерных элементов изображения насчитывается десятки тысяч. В этом случае для определения точных соответствий между точками различных изображений сцены требуются специальные алгоритмы, исключающие ошибочные измерения глубины. Данный случай проиллюстрирован на рисунке 2.

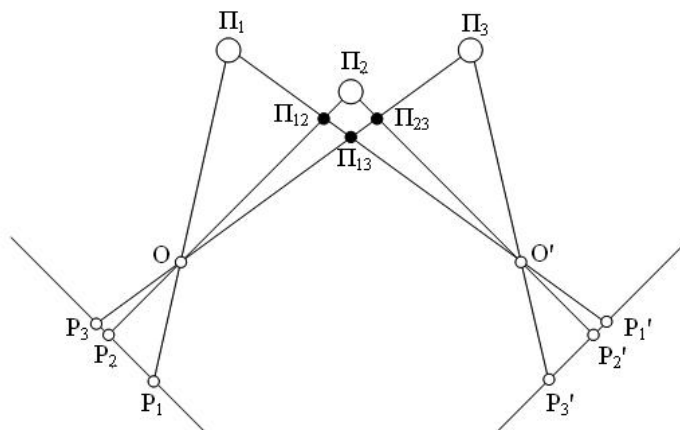


Рисунок 2 – Неоднозначность определения глубины объектов при восстановлении стереоизображения

Как показано на рисунке 2, сложность восстановления сцены и замера глубины объектов заключается в том, что любая из трех точек левого изображения p_1, p_2, p_3 может совпадать с любой из трех точек правого изображения p'_1, p'_2, p'_3 . Однако верны только три из этих соответствий, остальные дают неверно восстановленные точки прообраза, представленные на рисунке точками $\Pi_{12}, \Pi_{23}, \Pi_{13}$. В этом случае основную роль играет эпполярное условие, так как при этом поиск соответствий выполняется только на соответствующих эпполярных линиях.

Определение проективной структуры сцены при известных эпи-полюсах может упроститься с учетом движения, тогда в качестве проективной системы координат можно выбирать удобные точки.

Предположим, что наблюдается четыре некопланарные точки A, B, C, D при помощи слабооткалиброванной стереосистемы камер. Соответствующая схема приведена на рисунке 3.

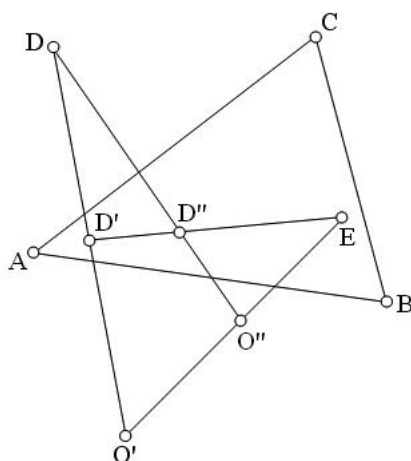


Рисунок 3 – Геометрическое построение проективных координат точки D в базисе, сформированном пятью точками A, B, C, O', O''

На рисунке O' и O'' соответственно положения оптических центров первой и второй камеры. Для любой точки P обозначим p' и p'' ее проекции соответственно на первое и второе изображение, а через P' и P'' пересечения луча $O'P$ и $O''P$ с плоскостью ABC . Эпиполюсами являются e' и e'' , а базовая линия пересекает плоскость в точке E .

Примем A, B, C, O', O'' за базис проективного трехмерного пространства, тогда цель будет состоять в восстановлении положения точки D . Выбирая a', b', c', e' в качестве базиса первой плоскости изображения, можно определить координаты точки d'' в этом базисе и восстановить точку D' в базисе A, B, C, E плоскости ABC . Подобным образом можно восстановить точку D'' по проективным координатам точки d'' в базисе a'', b'', c'', e'' второго изображения. Окончательно точка D восстанавливается как пересечение прямых $O'D'$ и $O''D''$.

Для аналитического выражения определения проективной структуры можно переупорядочить точки проективной системы координат и вычислить неоднородные проективные координаты точки D в базисе, сформированном тетраэдром $AO''O'B$ и единичной точкой C . Эти координаты определяются следующими ангармоническими отношениями:

$$\left\{ \begin{array}{l} \{O''O'A, O''O'B, O''O'C, O''O'D\}, \\ \{O'AO'', O'AB, O'AC, O'AD\}, ; \\ \{AO''O', AO''B, AO''C, AO''D\}. \end{array} \right. \quad (1)$$

При определении пересечения соответствующих пучков плоскостей с двумя плоскостями изображения получают значения k_0, k_1, k_2 как ангармонические отношения, измеренные непосредственно на двух изображениях:

$$\left\{ \begin{array}{l} k_0 = \{e'a', e'b'; e'c', e'd'\} = \{e''a'', e''b''; e''c'', e''d''\}, \\ k_1 = \{a'e', a'b'; a'c', a'd'\}, \\ k_2 = \{a''e'', a''b''; a''c'', a''d''\}. \end{array} \right. \quad (2)$$

Известно уравнение перспективной проекции [1] в виде

$$p = \frac{1}{z} MP. \quad (3)$$

Под M подразумевается

$$M = K(Rt), \quad (4)$$

где R – матрица вращения

$$R = {}^C_W R, \quad (5)$$

t – вектор трансляции

$$t = {}^C O_W, \quad (6)$$

P – однородный вектор координат точки P в системе координат W

$$P = \left({}^W x, {}^W y, {}^W z, 1 \right)^T. \quad (7)$$

Перспективная проекция уравнения (3) естественным образом расширяется на проективное замыкание пространства E^3 и имеет одинаковый вид в любой проективной системе координат этого пространства. Если переписать уравнение (3) как $zp = MP$ в некоторой евклидовой системе координат (F), то получится похожее уравнение $zp = M'P'$ в проективной системе координат (F'), где

$$P' = F' P = F' T P, \quad (8)$$

$$M' = M F' T^{-1}. \quad (9)$$

Если принять за базис пространства E^3 точки A_0, A_1, A_2, A_3, A_4 и считать что камера, наблюдающая эти точки, описывается проекционной матрицей M , то точка A_4 будет единичной, а a_0, a_1, a_2, a_3, a_4 будут проекциями точек. Выбрав в качестве проективного базиса плоскости изображения точки a_0, a_1, a_2 и a_3 единичной точкой будет a_4 . Обозначим через α, β и γ координаты точки a_4 в принятом базисе. Записав $z_i a_i = M A_i$ для $i=0, 1, 2, 3, 4$, получается следующее:

$$M = \begin{pmatrix} z_0 & 0 & 0 & z_3 \\ 0 & z_1 & 0 & z_3 \\ 0 & 0 & z_2 & z_3 \end{pmatrix}. \quad (10)$$

Тогда

$$\begin{cases} z_4 \alpha = z_0 + z_3, \\ z_4 \beta = z_1 + z_3, \\ z_4 \gamma = z_2 + z_3. \end{cases} \quad (11)$$

Поскольку перспективная проекционная матрица определена только с точностью до масштаба, можно разделить ее коэффициенты на z_3 и определить $\lambda = z_4/z_3$:

$$M = \begin{pmatrix} \lambda \alpha - 1 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & \lambda \beta - 1 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & \lambda \gamma - 1 & 1 \end{pmatrix}. \quad (12)$$

Применяя указанные выше преобразования для второго изображения той же сцены с проекционной матрицей M' и точками изображения $a_0', a_1', a_2', a_3', a_4'$ получим:

$$M' = \begin{pmatrix} \lambda' \alpha' - 1 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & \lambda' \beta' - 1 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & \lambda' \gamma' - 1 & 1 \end{pmatrix}. \quad (13)$$

Таким образом, стереоконфигурация двух камер полностью определена двумя параметрами: λ и λ' . Для вычисления этих параметров можно использовать эпиполярную геометрию камер. Обозначим через

С оптический центр первой камеры, а через e' – соответствующий эпи- полюс на плоскости изображения второй камеры, который в соответст- вующих проективных базисах будет описываться координатными век- торами C и e' . Имеем $MC=0$, следовательно

$$C = \left(\frac{1}{1-\lambda\alpha}, \frac{1}{1-\lambda\beta}, \frac{1}{1-\lambda\gamma}, 1 \right)^T. \quad (14)$$

Подстановка в уравнение выражения $M'C=e'$ дает такой результат:

$$e' = \left(1 - \frac{\lambda'\alpha' - 1}{\lambda\alpha - 1}, 1 - \frac{\lambda'\beta' - 1}{\lambda\beta - 1}, 1 - \frac{\lambda'\gamma' - 1}{\lambda\gamma - 1} \right)^T. \quad (15)$$

Если теперь обозначить через μ' и ν' неоднородные координаты точки e' в проективном базисе, сформированном точками a_i' , оконча- тельно получится:

$$\begin{cases} \mu'(\lambda\gamma - \lambda'\gamma')(\lambda\alpha - 1) = (\lambda\alpha - \lambda'\alpha')(\lambda\gamma - 1), \\ \nu'(\lambda\gamma - \lambda'\gamma')(\lambda\beta - 1) = (\lambda\beta - \lambda'\beta')(\lambda\gamma - 1). \end{cases} \quad (16)$$

Система двух квадратных уравнений (16) для двух неизвестных λ и λ' , в общем случае имеет четыре решения, которые можно рассматри- вать как четыре точки пересечения в плоскости (λ, λ') канонических се- чений. Решение уравнения (16) показывает, что решениями всегда яв- ляются $(\lambda, \lambda')=(0,0)$ и $(\lambda, \lambda')=(1/\lambda, 1/\lambda')$. Из решения следует, что два ос- тавшихся решения идентичны, так как геометрически два конуса каса- тельные друг другу в точке их пересечения, а соответствующие значе- ния параметров λ и λ' определяются следующими соотношениями:

$$\lambda = \frac{\text{Det} \begin{pmatrix} \mu' & \alpha & \alpha' \\ \nu' & \beta & \beta' \\ 1 & \gamma & \gamma' \end{pmatrix}}{\text{Det} \begin{pmatrix} \mu'\alpha & \alpha & \alpha' \\ \nu'\beta & \beta & \beta' \\ \gamma & \gamma & \gamma' \end{pmatrix}}, \quad (17)$$

$$\lambda' = \frac{\text{Det} \begin{pmatrix} \mu & \alpha & \alpha' \\ \nu & \beta & \beta' \\ 1 & \gamma & \gamma' \end{pmatrix}}{\text{Det} \begin{pmatrix} \mu\alpha' & \alpha & \alpha' \\ \nu\beta' & \beta & \beta' \\ \gamma & \gamma & \gamma' \end{pmatrix}}. \quad (18)$$

По выражениям (17) и (18) однозначно определяются проекционные матрицы M и M' . При этом следует отметить, что учет уравнений, которые определяют второй эпполус, не вводит независимых условий, поскольку существует эпполярное ограничение, связывающее эпполярные линии.

Таким образом, приведенная методика позволяет создать алгоритм идентификации изображений с однозначным определением глубины объектов. Такое решение позволит повысить качественные показатели функционирования систем технического зрения для анализа как статических, так и динамических сцен.

Рассмотрена методика определения проективной структуры и движения по бинокулярным соответствиям в системах технического зрения.

In article introduced methodic of determine projective structure and movement on binocular accordance in technical vision systems.

Библиографический список.

1. Aho A., Hopcroft J., Ullman J. *The Design and Analysis of Computer Algorithms* / Addison-Wesley. – 1994.
2. Canny J. *The Complexity of Robot Motion Planning*. / MIT Press. – 1998
3. Ponce J., Brady J., Marimont D. *Relative Stereo and Motion Recognition*. / Technical Report UIUC-BI-AI-RCV-93-07. Beckman Institute, University Illinois. – 1993.

*к.т.н., доц. Сафронов П.С.
(ДонГТУ, г. Алчевск, Украина)*

ПОСТРОЕНИЕ PSPICE-МОДЕЛИ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ МНОГОПУЛЬСНОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ СРЕДСТВАМИ САПР

Запропонована імітаційна PSpice-модель багатопульсного напівпровідникового перетворювача. Одержані часові діаграми фазних струмів при асиметрії міжфазного трансформатора. Отримані залежності коефіцієнтів гармонік вхідних струмів багатопульсного перетворювача від коефіцієнта асиметрії міжфазного трансформатора.

Проблема и ее связь с научными и практическими задачами. В настоящее время компьютерное моделирование получило широкое распространение при исследовании характеристик полупроводниковых преобразователей. Объясняется это тем, что при математическом моделировании возможно избавление от влияния внешних факторов, а также точное задание и варьирование в неограниченном диапазоне параметров цепей схемы преобразования. Имитационное компьютерное моделирование позволяет решать задачи анализа сложных преобразовательных систем, так как имитирует элементарные явления с сохранением логической структуры и временной последовательности. Это позволяет получать сведения о протекающих процессах в определенные моменты времени и оценивать характеристики исследуемого объекта [1, 2].

Анализ исследований и публикаций. В настоящее время одним из способов улучшения спектрального состава входных токов полупроводниковых преобразователей является применение преобразователей с повышенной пульсностью [2, 3].

Полупроводниковые преобразователи с межфазными трансформаторами позволяют формировать квазисинусоидальные входные токи. Причем степень приближения входных токов этих преобразователей к синусоидальной форме увеличивается с увеличением пульсности силовой схемы. Энергетические характеристики многопульсных преобразователей без учета разброса внутренних параметров межфазного трансформатора исследованы достаточно подробно. В настоящее время особый интерес представляет исследование характеристик многопульсных

преобразователей с учетом внутренней асимметрии межфазного трансформатора [4].

Постановка задачи. Задачей данной работы является разработка эффективной математической модели многопульсного преобразователя для анализа влияния внутренней асимметрии межфазного трансформатора на электромагнитную совместимость многопульсного преобразователя с сетью.

Изложение материала и полученные результаты. PSpice-модель была построена для многопульсного преобразователя, принципиальная схема которого приведена на рис. 1.

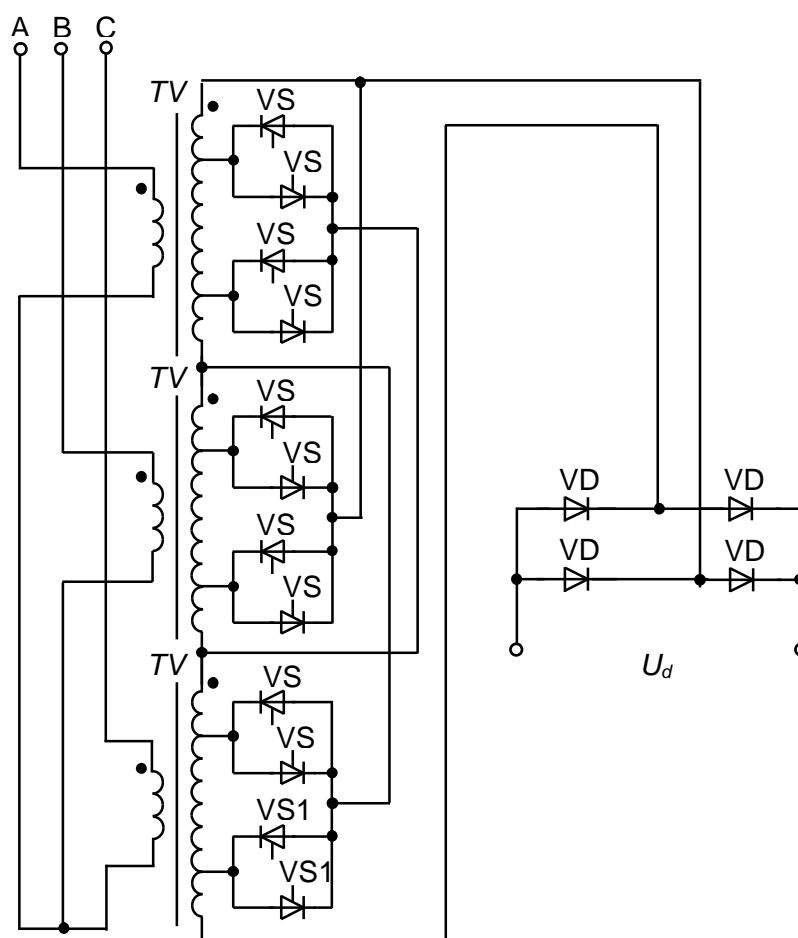


Рисунок 1 – Принципиальная схема многопульсного преобразователя

Первичные обмотки трансформаторов TV1–TV3 соединены в звезду и подключены к соответствующим фазам трехфазного источника питания. Вторичные обмотки соединены в разомкнутый треугольник. Питание нагрузки в приведенном преобразователе осуществляется через однофазный выпрямительный мост VD1–VD4, подключенный ко вторичным обмоткам трансформаторов TV1–TV3. Для управления вторич-

ные обмотки имеют дополнительные выводы. Каждый вывод через двунаправленный ключ (два встречно-параллельно соединенных тиристора) подключен к общей точке соединения двух других вторичных обмоток. Трансформаторы TV1 – TV3 можно рассматривать как преобразователь числа фаз трехфазной системы напряжений в m2-фазную. В ходе работы отпирание очередного тиристора соответствует закорачиванию соответствующего выходного фазного напряжения трансформаторного преобразователя числа фаз. Модель вентильного коммутатора представлена в виде моделей тиристоров с соответствующими сигналами управления:

```

X_S1  N15567 0 N08874 N09003 VS1_S1
X_S2  N21931 0 N09003 N08874 VS1_S2
X_S3  N17420 0 N09179 N09003 VS1_S3
X_S4  N22211 0 N09003 N09179 VS1_S4
X_S5  N19630 0 N09520 N09484 VS1_S5
X_S6  N24632 0 N09484 N09520 VS1_S6
X_S7  N21509 0 N09416 N09484 VS1_S7
X_S8  N25119 0 N09484 N09416 VS1_S8
X_S9  N23237 0 N10497 N10425 VS1_S9
X_S10 N17902 0 N10425 N10497 VS1_S10
X_S11 N24280 0 N10569 N10425 VS1_S11
X_S12 N18852 0 N10425 N10569 VS1_S12
V_Vp1      N17420 0 PULSE 0 1 0 100n 100n 1.667m 0.02
V_Vp2      N17902 0 PULSE 0 1 1.667m 100n 100n 1.667m 0.02
V_Vp3      N18852 0 PULSE 0 1 3.333m 100n 100n 1.667m 0.02
V_Vp4      N19630 0 PULSE 0 1 5m 100n 100n 1.667m 0.02
V_Vp5      N21509 0 PULSE 0 1 6.667m 100n 100n 1.667m 0.02
V_Vp6      N21931 0 PULSE 0 1 8.333m 100n 100n 1.667m 0.02
V_Vp7      N22211 0 PULSE 0 1 10m 100n 100n 1.667m 0.02
V_Vp8      N23237 0 PULSE 0 1 11.667m 100n 100n 1.667m 0.02
V_Vp9      N24280 0 PULSE 0 1 13.333m 100n 100n 1.667m 0.02
V_Vp10     N24632 0 PULSE 0 1 15m 100n 100n 1.667m 0.02
V_Vp11     N25119 0 PULSE 0 1 16.667m 100n 100n 1.667m 0.02
V_Vp12     N15567 0 PULSE 0 1 18.333m 100n 100n 1.667m 0.02

```

В случае, когда межфазный трансформатор является идеальным (индуктивность намагничивания стремится к бесконечности), коэффициент несинусоидальности входного тока зависит только от пульсности схемы, регулировочная характеристика зависит только от алгоритма управления вентилями и характера нагрузки. Фазовый сдвиг входного тока, являющийся одной из определяющих коэффициента мощности преобразователя, зависит только от углов управления вентилями. Однако на практике увеличение индуктивности намагничивания межфазного

трансформатора приводит к увеличению его массогабаритных и стоимостных показателей. Поэтому возникает необходимость в оценке влияния параметров межфазного трансформатора на энергетические показатели многопульсных преобразователей с управляемым межфазным энергообменом.

Коэффициент связи между обмотками определяется

$$K = \frac{M}{\sqrt{L1 \cdot L2}}, \quad (1)$$

где M – взаимная индуктивность обмоток.

Принимаем, что индуктивности первичных обмоток трансформатора и коэффициенты связи обмоток трансформаторов равны между собой, а индуктивности вторичных обмоток связаны постоянным коэффициентом c (отношением чисел витков вторичных обмоток)

$$L2 = \frac{L1}{\left(\frac{w2}{w3}\right)^2} = \frac{L1}{c^2}, \quad (2)$$

где $w2$, $w3$ – числа витков вторичных обмоток межфазного трансформатора.

Модель межфазного трансформатора построена на основе введения трех независимых электромагнитных связей между соответствующими обмотками:

L_L1	N41530 N07015	500mH
L_L2	N09484 N08874	3.591H
L_L3	N09179 N08874	26.791H
L_L4	N10425 N09179	3.591H
L_L5	N41561 N07015	500mH
L_L6	N10425 N09520	3.591H
L_L7	N09416 N09520	26.791H
L_L8	N09003 N09416	3.591H
L_L9	N41358 N07015	500mH
L_L10	N09003 N10497	3.591H
L_L11	N10569 N10497	26.791H
L_L12	0 N10569	3.591H
Kn_K2	L_L5 L_L6 L_L7 L_L8	0.99
Kn_K1	L_L1 L_L2 L_L3 L_L4	0.99
Kn_K3	L_L9 L_L10 L_L11 L_L12	0.99

Фазные э.д.с. симметрично сдвинуты друг относительно друга. Для моделирования напряжение питания преобразователя использованы три источника синусоидального напряжения:


```

V_V1      N07091 0 SIN 0 311 50 0 0 0
V_V2      N06955 0 SIN 0 311 50 0 0 120
V_V3      N10697 0 SIN 0 311 50 0 0 240

```

Выходной выпрямительный мост представлен с помощью моделей идеальных диодов:

```

D_D1      N11981 0 Dbreak
D_D2      0 N11954 Dbreak
D_D3      N11981 N09484 Dbreak
D_D4      N09484 N11954 Dbreak

```

Предложенная PSpice-модель была использована при исследовании преобразователя в системе OrCAD 9.2. В результате компьютерного моделирования были получены временные диаграммы входных токов при асимметрии межфазного трансформатора, одна из которых представлена на рис. 2.

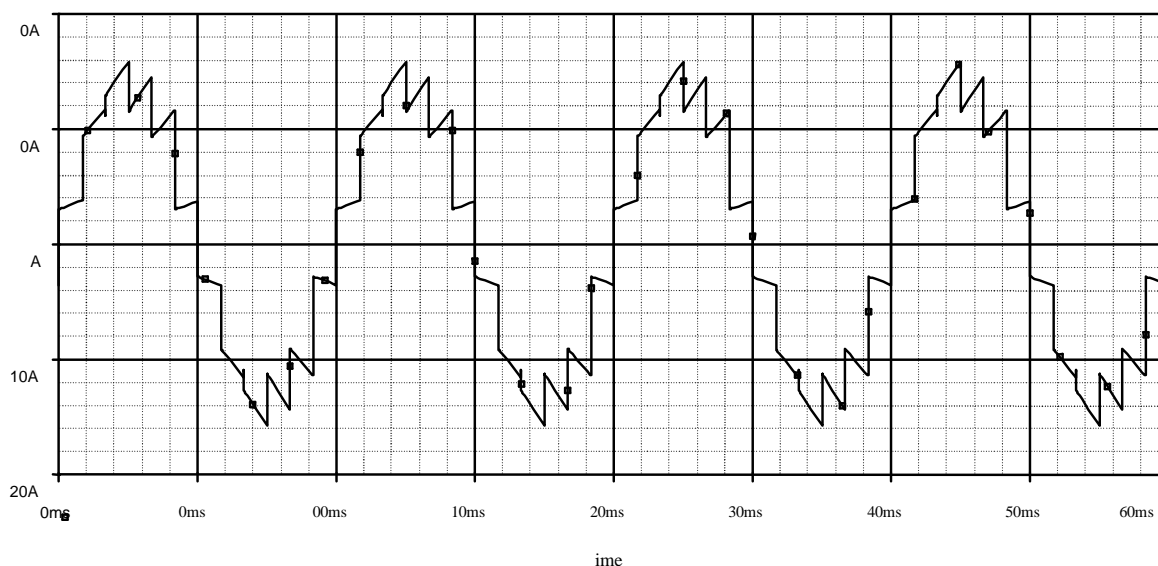


Рисунок 2 – Диаграмма входного тока многопульсного преобразователя

С помощью встроенной функции гармонического анализа были получены зависимости коэффициентов гармоник входных токов от коэффициента асимметрии межфазного трансформатора, представленные на рис. 3.

Выводы и направление дальнейших исследований. Компьютерное моделирование многопульсного преобразователя с использованием предложенной PSpice-модели позволило оценить влияние асимметрии межфазного трансформатора на электромагнитную совместимость преобразователя с сетью питания.

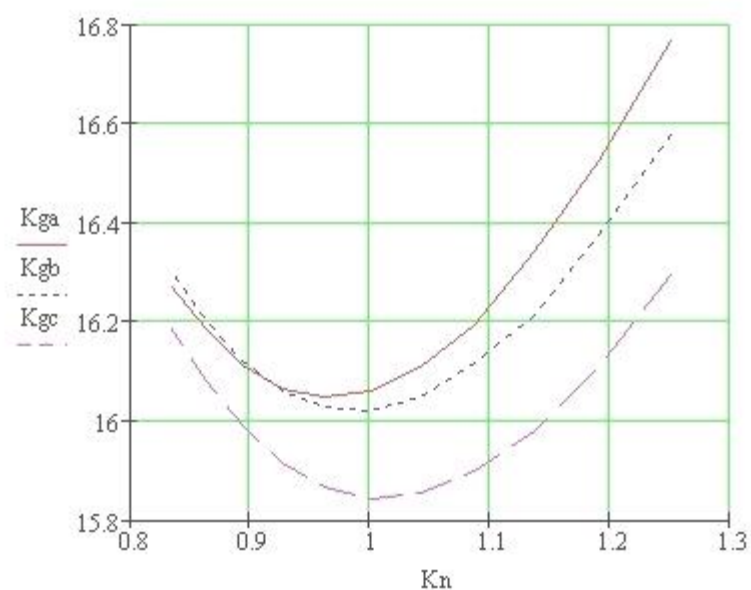


Рисунок 3 – Зависимости коэффициентов гармоник фазных токов от коэффициента асимметрии межфазного трансформатора

Дальнейшие исследования следует направить на моделирование коммутационных процессов в преобразователе и изучение их влияния на электромагнитную совместимость многопульсного преобразователя с сетью питания.

Предложена имитационная PSpice-модель многопульсного полупроводникового преобразователя. Получены временные диаграммы фазных токов при асимметрии межфазного трансформатора. Получены зависимости коэффициентов гармоник входных токов многопульсного преобразователя от коэффициента асимметрии межфазного трансформатора.

The simulation PSpice-model of pulse-step semiconductor converter is offered. The dynamic diagrams of phase currents at asymmetry of interphase transformer are got. Dependences of total harmonic distortion of input currents of pulse-step converter by the coefficient of asymmetry of interphase transformer are resulted.

Бібліографічний список.

1. Макаренко М.П. Особливості математичного забезпечення системного моделювання електромагнітних процесів у напівпровідникових перетворювачах електроенергії умовними рівняннями // Технічна електродинаміка. – К., 2004. – № 4. – С. 11-15.

2. Алтунин Б.Ю. Структурное моделирование многофазных регулируемых преобразовательных агрегатов // *Технічна електродинаміка*. – К., 2000. – Тем. вип. Проблеми сучасної електротехніки, ч.7 – С. 37-40.

3. Паэранд Ю.Э., Сафронов П.С. Моделирование асимметричного режима работы многопульсной преобразовательной системы с межфазной трансформаторной связью // *Вісник Черкаського державного технологічного університету* – Черкаси, 2007. – Спецвипуск. – С. 138-140.

4. Сафронов П.С., Паэранд Ю.Э. Влияние асимметрии напряжения сети на форму входных токов полупроводникового преобразователя с межфазным трансформатором // *Технічна електродинаміка*. – К., 2007. – Тем. вип. Силова електроніка та енергоефективність, ч. 5. – С. 19-22.

*к.т.н., п.н.с. Комісаренко О.І.,
с.н.с. Ламанов С.Л.,
к.т.н., директор НДПКІ „Параметр” Михайлова Л.Ф.
(ДонДТУ, м. Алчевськ, Україна)*

КЕРУВАННЯ ПРОЦЕСОМ ВІДКЛЮЧЕННЯ СИЛОВИХ ЛАНЦЮГІВ ПОСТІЙНОГО СТРУМУ З МІНІМІЗАЦІЄЮ ЕНЕРГОВИДІЛЕННЯ В НАВАНТАЖЕННІ

Проведено оптимізацію енерговиділення в навантаженні силового ланцюга постійного струму в залежності від форми кривої спадання струму $i(t)$. Показано залежність енерговиділення в навантаженні від максимально припустимого рівня комутаційних перенапруг. Доведено, що для суттєвого зниження енерговиділення в навантаженні, за інших рівних умов, необхідно покращувати форму кривої $i(t)$, а коефіцієнт комутаційних перенапруг доводити до максимально допустимого рівня.

Проблема та її зв'язок із науковими й практичними задачами. Відключення деяких видів навантажень потребує мінімізації енергетичних характеристик процесу відключення. Прикладом такої потреби є захисне відключення при зриві інвертування автономних інверторів із ланкою постійного струму. В них для збереження напівпровідникових приладів необхідно мінімізувати джоулів інтеграл (захисний показник). Наявність у ланцюзі значної індуктивності фільтрових і комутуючих дроселів потребує розсіяння запасу електромагнітної енергії без істотних перенапруг і приводить до великого побіжного виділення енергії джерела живлення (ДЖ).

Результати аналізу факторів, що впливають на енерговиділення та пошук шляхів зниження енергії на навантаженні дозволяють виробити рекомендації по конструюванню комутаційних апаратів із кращими характеристиками.

Аналіз досліджень і публікацій. У [1] наведено методику досліджень процесу відключення ланцюгів постійного струму контактними комутаційними апаратами, використовуючи яку у [2] наведено дослідження впливу форми кривої спаду струму $i(t)$ на енерговиділення від ДЖ. Згідно проведеному аналізу зроблено висновки про те, що енергія, яка надходить від ДЖ - $W_{ДЖ}$, може змінюватися в десятки разів (у розглянутому діапазоні зміни форми кривої $i(t)$). Таким чином, доведено, що змінюючи конструкцію й параметри дугогасильного пристрою (ДП), від

яких залежить форма кривої спаду струму $i(t)$, можна суттєво впливати на кількість енергії від ДЖ, що надходить у ланцюг, що відключається. Однак слід зауважити, що при коефіцієнті перенапруг більш ніж 2,3 залежність енергії дуги відключення від форми кривої $i(t)$ порівняно слабка на відміну від енерговиділення у навантаженні [3].

Постановка задачі. Енергія, що розсіюється на активному опорі навантаження, не має такого безпосереднього впливу на комутаційний апарат, як енергія дуги. Однак при аварійних відключеннях комутаційний апарат не можна розглядати поза його зв'язком із навантаженням.

Аналіз і оптимізація енергетичних характеристик навантаження дозволить визначити шляхи зниження енерговиділення на навантаженні в період аварійних відключень. Тому ставиться задача знайти форму кривої $i(t)$, яка мінімізує W_H , при заданих обмеженнях.

Виклад матеріалу і його результати. Розглянемо електричний ланцюг, що вимикається, як об'єкт керування (рис.1). Для оптимізації процесу застосуємо математичний апарат теорії оптимального управління [4].

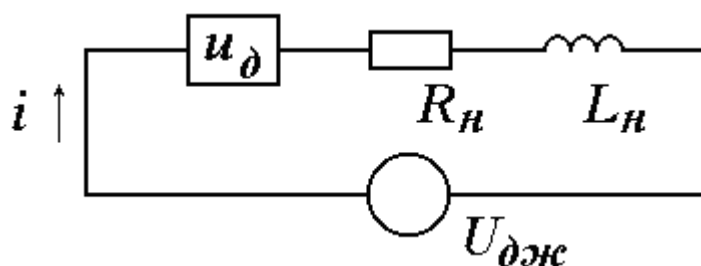


Рисунок 1 - Електричний ланцюг, що вимикається, як об'єкт керування.

Всі параметри розглядаються у відносних одиницях [1].

Необхідно визначити алгоритм керування процесом відключення, що переводить об'єкт із початкового стану при

$$i^*(0)=1, \quad (1)$$

у кінцевий стан з

$$i^*(t_0^*)=0, \quad (2)$$

при мінімумі значень функціоналу енерговиділення у навантаженні:

$$W_H^* = \int_0^{t_0^*} i^{*2} dt^* . \quad (3)$$

Запишемо систему рівнянь, що описує об'єкт з урахуванням рівняння, еквівалентного функціоналу (3):

$$\begin{cases} \frac{di^0}{dt^*} = i^{*2} = f^0 \\ \frac{di^*}{dt^*} = -i^* - u^* + 1 = f^1 \end{cases}, \quad (4)$$

де

$$i^0 = \int_0^{t_0^*} i^{*2} dt^*. \quad (5)$$

Складемо функцію Гамильтона і визначимо H' :

$$H = \Psi^0 \cdot i^{*2} + \Psi^1 - \Psi^1 \cdot u^* - \Psi^1 \cdot i^*, \quad (6)$$

$$H' = -\Psi^1 \cdot u^*. \quad (7)$$

Враховуючи, що на керування накладаються обмеження, які враховують фізичний сенс задачі:

$$0 \leq u^* \leq K_{\Pi}^{\max}, \quad (8)$$

де K_{Π}^{\max} – максимально припустимий рівень комутаційних перенапруг отримаємо:

$$\tilde{u}^* = 0.5K_{\Pi}^{\max}(1 - \text{sign}\Psi^1). \quad (9)$$

При $\Psi^1 = 0$ має місце особливе керування, якому відповідає система сполучених рівнянь:

$$\begin{cases} \frac{d\Psi^0}{dt^*} = 0 \\ \frac{d\Psi^1}{dt^*} = -2i^*\Psi^0 + \Psi^1 \end{cases}. \quad (10)$$

Запишемо систему рівнянь, що складається з рівняння об'єкта і сполученого рівняння

$$\begin{cases} \frac{di^*}{dt^*} = 1 - u^* - i^* \\ \frac{d\Psi^1}{dt^*} = \Psi^1 + 2i^* \end{cases}. \quad (11)$$

При цьому враховано, що

$$\Psi^0(t^*) = -1 \quad (12)$$

Вирішуючи систему (11) з урахуванням (2) і умов трансверсальності, отримуємо:

$$\Psi^1(t^*) = 2(K_{\Pi} - 1) - K_{\Pi} \exp(-t^*) - K_{\Pi} \exp(t^* - 2t_{\partial}^*). \quad (13)$$

Алгоритм оптимального керування збігається із знайденими раніше [3,4]. Згідно з ним маємо:

$$i_o^*(t^*) = 1 - K_{\Pi} [1 - \exp(-t^*)]. \quad (14)$$

Підставив (14) у функціонал (5), визначимо в загальному вигляді вираження для оптимального значення енергії, що виділяється в навантаженні при відключенні:

$$\begin{aligned} W_{Ho}^* &= \int_0^{t_{\partial}^*} \{1 - K_{\Pi} \cdot [1 - \exp(-t^*)]\}^2 \cdot dt^* = \\ &= 0.5K_{\Pi}^2 + 0.5(K_{\Pi} + 1)^2 + t_{\partial}^* - 2K_{\Pi}(K_{\Pi} - 1)t_{\partial}^* + 2 = \\ &= 0.5 - (K_{\Pi} - 1)[1 - (K_{\Pi} - 1)t_{\partial}^*] \end{aligned} \quad (15)$$

На рис. 2 наведено графік залежності W_{Ho}^* , побудований на підставі отриманого математичного виразу.

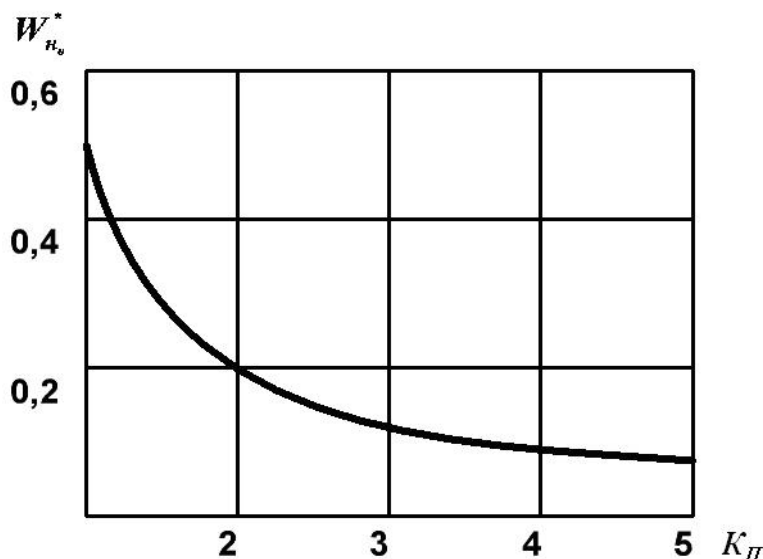


Рисунок 2 – Залежності інтегральних характеристик оптимального процесу відключення від величини комутаційних перенапруг K_{Π} .

Висновки й напрямок подальших досліджень. Таким чином, для того щоб зменшити енерговиділення на навантаженні до мінімуму при інших рівних умовах і заданому обмеженні по рівню K_{Π} , необхідно прагнути до того, щоб ДП реалізував процес відключення при підтримці напруги на ньому на рівні K_{Π} у весь період відключення. Причому, K_{Π} повинен утримуватись на максимально припустимому рівні K_{Π}^{\max}

В подальшому необхідно порівняти оптимальний процес (14) з емпіричним [3].

Проведена оптимізація виділення енергії в нарузке силовой цепи постоянного тока в зависимости от формы кривой спада тока $i(t)$. Показана зависимость энерговыделения в нарузке от максимально допустимого уровня коммутационных перенапряжений. Доказано, что для существенного снижения энерговыделения в нарузке, при прочих равных условиях, необходимо улучшать форму кривой $i(t)$, а коэффициент коммутационных перенапряжений доводит до максимально допустимого уровня.

Optimization of energy of selection is conducted in loading of power circuit of direct current depending on the form of curve of slump of current and(t). Dependence of energy of selection is rotined in loading from the maximally possible level of interconnect overstrains. It is well-proven that for the substantial decline of energy of selection in loading, other things being equal, it is necessary to improve the form of curve and(t), and to take the coefficient of interconnect overstrains to the maximally possible level.

Бібліографічний список

1. Комиссаренко А.И., Ламанов С.Л. Методика исследований процесса отключения цепей постоянного тока контактными коммутационными аппаратами. Вісн. СХУ ім В.Даля.-2002.-№1(47), С. 18-24.
2. Комиссаренко А.И., Ламанов С.Л., Ткаченко Ю.С. О роли источника питания в энергетическом балансе отключаемой цепи постоянного тока. / Вісн. СХУ ім В.Даля.-2003.-№4(62), С. 110-114.
3. Ламанов С.Л., Михайлова Л.Ф., Яковенко В.В., Комісаренко О.І. Вплив форми кривої спада струму на енерговиділення у комутуючому елементі. / Вісн. СХУ ім В.Даля - 2006.-№9(103), С. 277-230.
4. Комісаренко О.І., Ламанов С.Л. Оптимізація надходження у виключаємий контур енергії від джерела живлення. / Вісн. СХУ ім В.Даля. – 2007.- №11(117) Ч.1, С. 80-86.

*к.т.н., с.н.с. Глебин А.Г.
(УНПА, г. Стаханов, Украина)
к.т.н., с.н.с. Кобец Д.В.,
к.т.н., с.н.с. Ушаков В.И.,
(ДонГТУ, г. Алчевск, Украина)*

ИСТОЧНИК ПИТАНИЯ ИНДУКЦИОННЫХ УСТАНОВОК НА ОСНОВЕ ДВУХМОСТОВОГО РЕЗОНАНСНОГО ИНВЕРТОРА СО СВОЙСТВАМИ ИСТОЧНИКА ТОКА

Наведено результати теоретичних досліджень джерела стабілізованого струму для живлення електротехнологічних установок. Розроблено математичну імітаційну модель системи автоматичної стабілізації струму, побудованого на основі двомостового тиристорного резонансного інвертора.

Актуальной задачей в современной электротехнике является создание мощных источников тока, большая потребность в которых испытывается в электрометаллургии, электротехнологии и электротермии. Применение источников тока повышает эффективность технологических процессов, разрешает многие технические противоречия, обеспечивает новыми полезными свойствами и технические возможности, недостижимые при питании от источников напряжения.

К необходимым для практики источникам тока предъявляются требования как общего характера (высокие энергетические и удельно-экономические показатели, простота, надежность и т.п.), так и связанные с режимами работы потребителей электроэнергии: неизменность тока при возмущениях со стороны нагрузки, возможность регулирования тока в диапазоне не менее 1:10, его стабилизации на заданных уровнях и др.

В качестве основы, на базе которой создаются различные типы источников питания электротехнологических установок индукционного нагрева (индукционной закалки, плавки металлов и т. п.) получили широкое распространение тиристорные преобразователи частоты (ТПЧ) [1]. Повышение эффективности работы этих установок, как правило, связано с улучшением характеристик и показателей применяемого ТПЧ.

В различных работах предлагается использовать в качестве источников тока устройства, построенные на основе параметрического принципа стабилизации тока. Наглядным примером параметрического стабилизатора тока является Г-образная схема Бушера [2], образующая индуктивно-

емкостной преобразователь (ИЕП). Однако также хорошо известен тот факт, что качество стабилизации тока в нагрузке подобной схемы существенно зависит от параметров силовой схемы ИЕП. Как и любая схема параметрической стабилизации, Г-образная схема Бушера чувствительна к неидеальностям реактивных элементов, образующих ее.

Авторами данной статьи предложен принцип построения регулируемого источника стабилизированного тока, основанный на объединении параметрической стабилизации и стабилизации, реализованной за счет замкнутой системы автоматического регулирования. На рисунке 1 показана схема стабилизатора тока, объединяющая в своем составе входной дроссель 1, конденсатора 2, нагрузку 3, которые собраны в Г-образную схему ИЕП, и питаются от регулируемого источника напряжения 4 с входным сумматором 5, регулятором 6 и датчиком тока нагрузки 7.

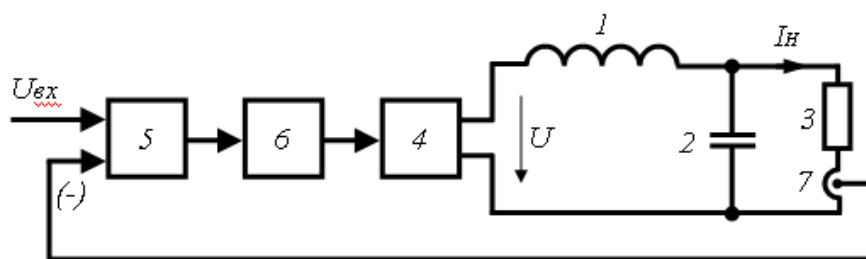


Рисунок 1 – Регулируемый стабилизатор тока

Применение регулируемого источника напряжения питания ИЕП позволяет ликвидировать недостатки ИЕП, а также изменять величину стабилизируемого тока в нагрузке. В качестве источника регулируемого напряжения в таком стабилизаторе используется двухмостовой тиристорный резонансный инвертор, силовая часть которого показана на рисунке 2.

Известно несколько способов регулирования выходного напряжения тиристорных преобразователей [3]. В силу своих известных положительных качеств, широкое распространение получили способ регулирования, основанный на изменении частоты управляющих импульсов, и способ, основанный на изменении фазового сдвига между основными гармониками выходного напряжения двух преобразователей частоты, работающих на общую нагрузку.

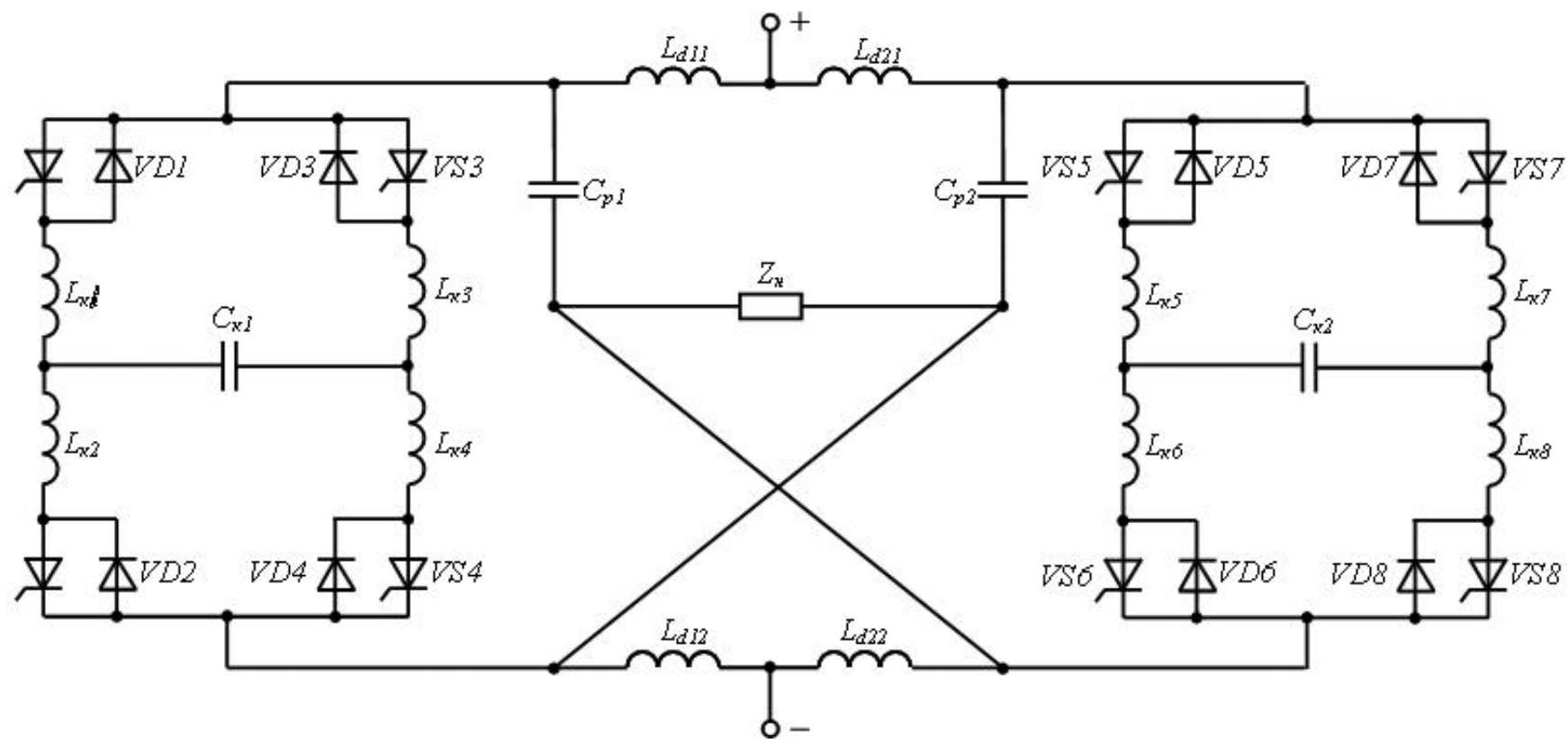


Рисунок 2 – Принципиальная схема силовой части двухмостового тиристорного преобразователя

Достоинствами первого способа являются простота реализации и широкий диапазон регулирования при высокодобротной нагрузке. Достоинствами второго способа является широкий диапазон регулирования и возможность использования тиристорного преобразователя для питания изменяющейся нагрузки, когда частота при этом должна оставаться неизменной.

Кроме этого существенным требованием, предъявляемым к такому ТПЧ, должно быть сохранение регулировочных свойств преобразователя при изменении параметров его нагрузки в широких пределах и синусоидальность выходного напряжения [4].

С другой стороны система управления таким преобразователем должна реализовать несколько функций. Во-первых, необходимо реализовать функцию преобразования уровня входного сигнала в выходную частоту для обеспечения плавного регулирования выходной частоты. Во-вторых, необходимо реализовать функцию, позволяющую плавно изменять фазовый сдвиг между управляющими импульсами тиристорных мостов. В то же время основной функцией системы управления источника тока должно быть регулирование выходного напряжения ТПЧ при помощи регулятора с обратной связью.

При проектировании и исследовании тиристорных преобразователей для электротермических установок важное место занимает анализ электромагнитных переходных и установившихся процессов. В электротермических установках тиристорные преобразователи работают в условиях постоянного воздействия различных возмущений: пуск и выключение установки, наличие перепадов питающего напряжения, резкие изменения нагрузки, связанные со сменой нагреваемых металлических изделий. В настоящее время анализ динамических режимов, вызванных подобного рода возмущениями производится с помощью численных методов, обладающих рядом достоинств (легкая алгоритмизация, малое время счета). В связи со сложностью анализируемых процессов целесообразным является имитационное моделирование в специальных прикладных программных средах, таких как MATLAB и др. Целью моделирования анализируемого источника тока является исследование качества регулирования и стабилизации выходного тока тиристорного преобразователя, нагруженного на нагрузку с изменяющимися параметрами.

Моделирование источника тока производилось в среде MATLAB, с использованием блоков раздела SimPowerSystems [5]. При моделировании рассматриваемого источника тока была создана модель силовой части (рис. 3), при этом модели активных, реактивных и ключевых элементов схем принимались идеальными.

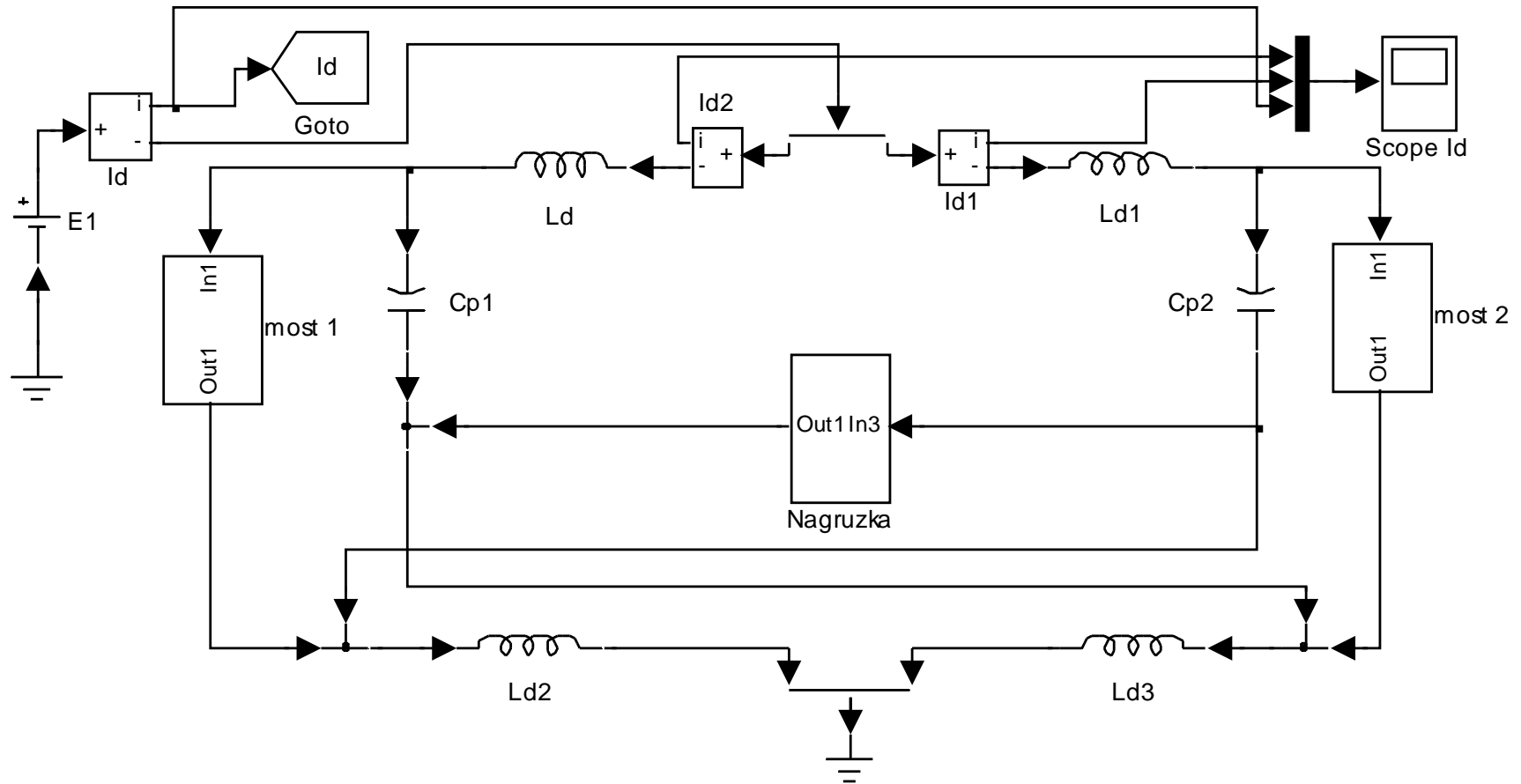


Рисунок 3 – Модель силовой части ТПЧ

Тиристорные мосты двухмостового ТПЧ собраны в отдельные подсистемы (рис. 4), которые структурно подобны. На рисунке 5 представлена модель нагрузки, также созданная в виде подсистемы.

Система управления (рис. 6) объединяет в себе функции регулирования частоты и фазового сдвига. Частота импульсов управления пропорциональна сигналу на входе 1. Импульсы управления на выходах 1 и 2 подаются на тиристоры первого моста. Импульсы управления на выходах 3 и 4, сдвинуты на величину задержки во времени, пропорциональной сигналу на входе 2, и подаются на тиристоры второго моста.

Структура регулирования представляет собой классический вариант ПИ-регулятора с единичной отрицательной обратной связью по действующему значению выходного напряжения (рис. 7). Сигнал регулятора подается на вход формирователя временной задержки (рис. 8). Таким образом, возможна стабилизация выходного напряжения преобразователя на заданном уровне с достаточно высокой точностью за счет статической ошибки, равной нулю.

В ходе проведенных исследований на математической модели источника тока были получены основные характеристики – регулировочные и нагрузочные. На рисунке 9 представлено семейство регулировочных характеристик, полученных при различных сопротивлениях нагрузки. Как видно из графиков, при работе на изменяющуюся нагрузку в системе питания наблюдается эффект насыщения, связанный с недостаточным количеством подводимой энергии на входе ТПЧ. Область насыщения составляет от 10 до 30% от всего диапазона использования данного источника по току. Однако, наличие такой зоны не будет вызывать существенных искажений в работе источника, так как системы питания индукционных установок как правило загружены на 60-70% в силу технологических особенностей (обеспечение температурной стабильности, повторяемости процесса и проч.). В рабочей зоне наблюдается линейность характеристики, что свидетельствует о хороших регулировочных свойствах и широком диапазоне регулирования тока.

На рисунке 10 представлены нагрузочные характеристики, которые показывают качество работы источника на различных уровнях стабилизации тока. В зоне номинальных параметров нагрузки и параметров, близких к холостому ходу характеристики имеют абсолютную жесткость. Это обеспечивается работой ПИ-регулятора. При параметрах нагрузки близких к короткому замыканию, благодаря свойствам ТПЧ, построенного на базе мостовых резонансных инверторов, наблюдается ограничения тока короткого замыкания.

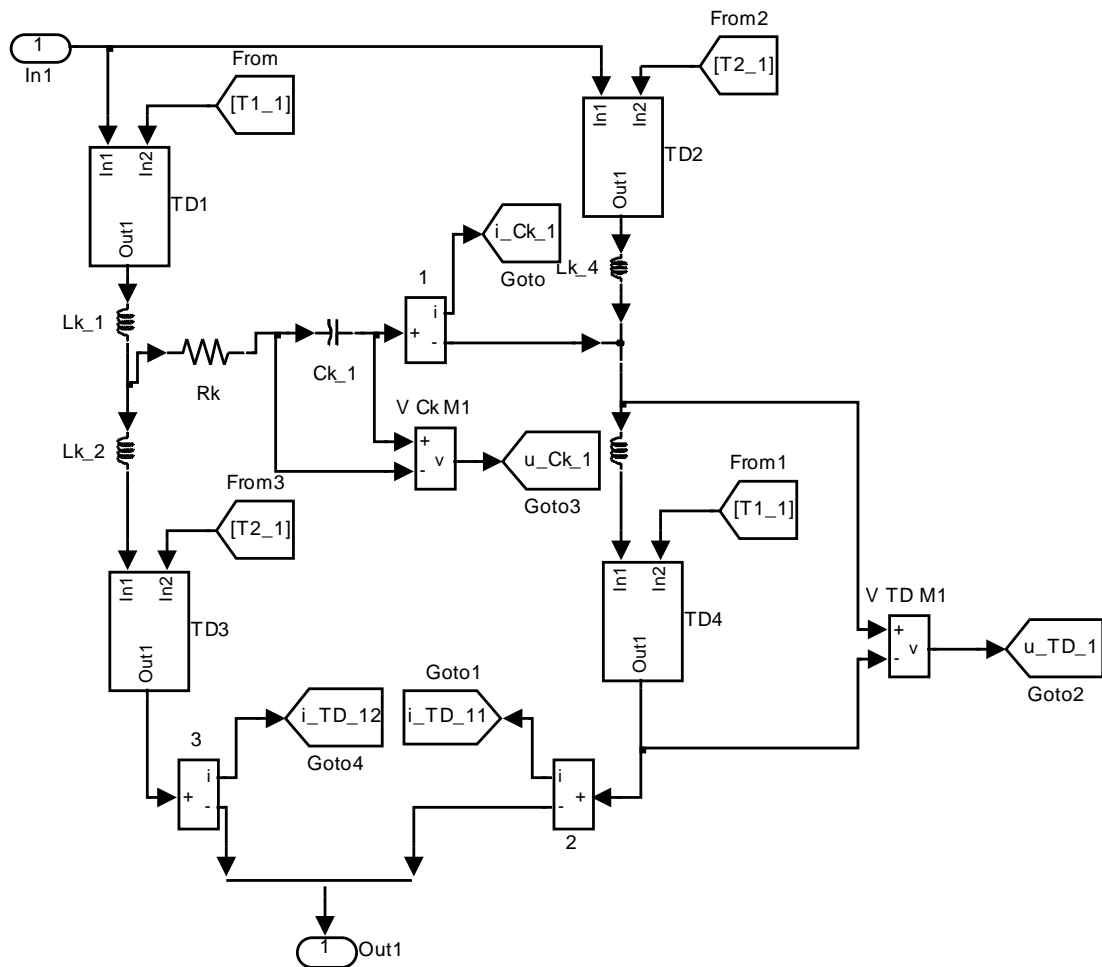


Рисунок 4 – Подсистема most1.

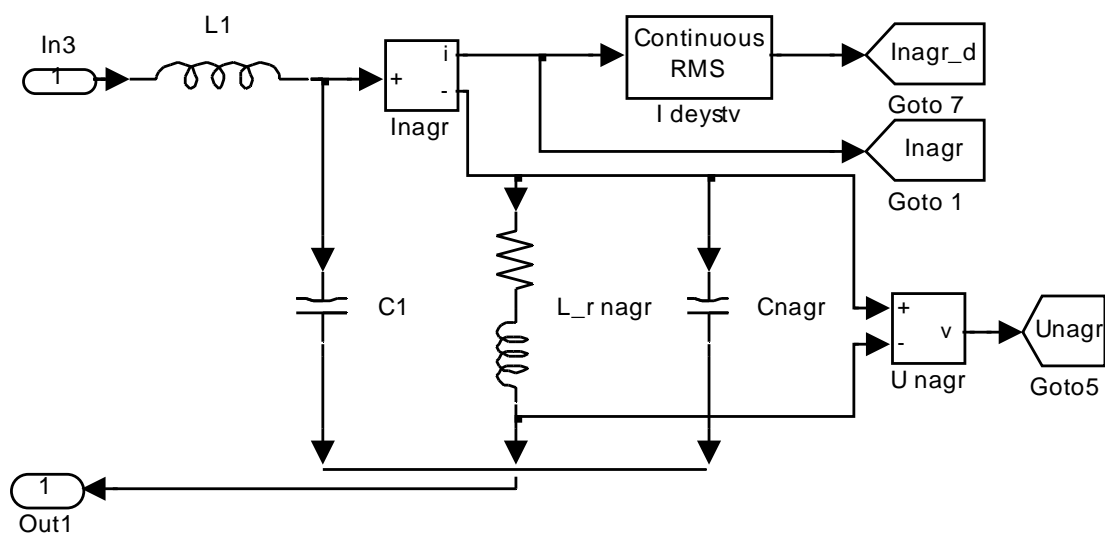


Рисунок 5 – Подсистема Nagruzka.

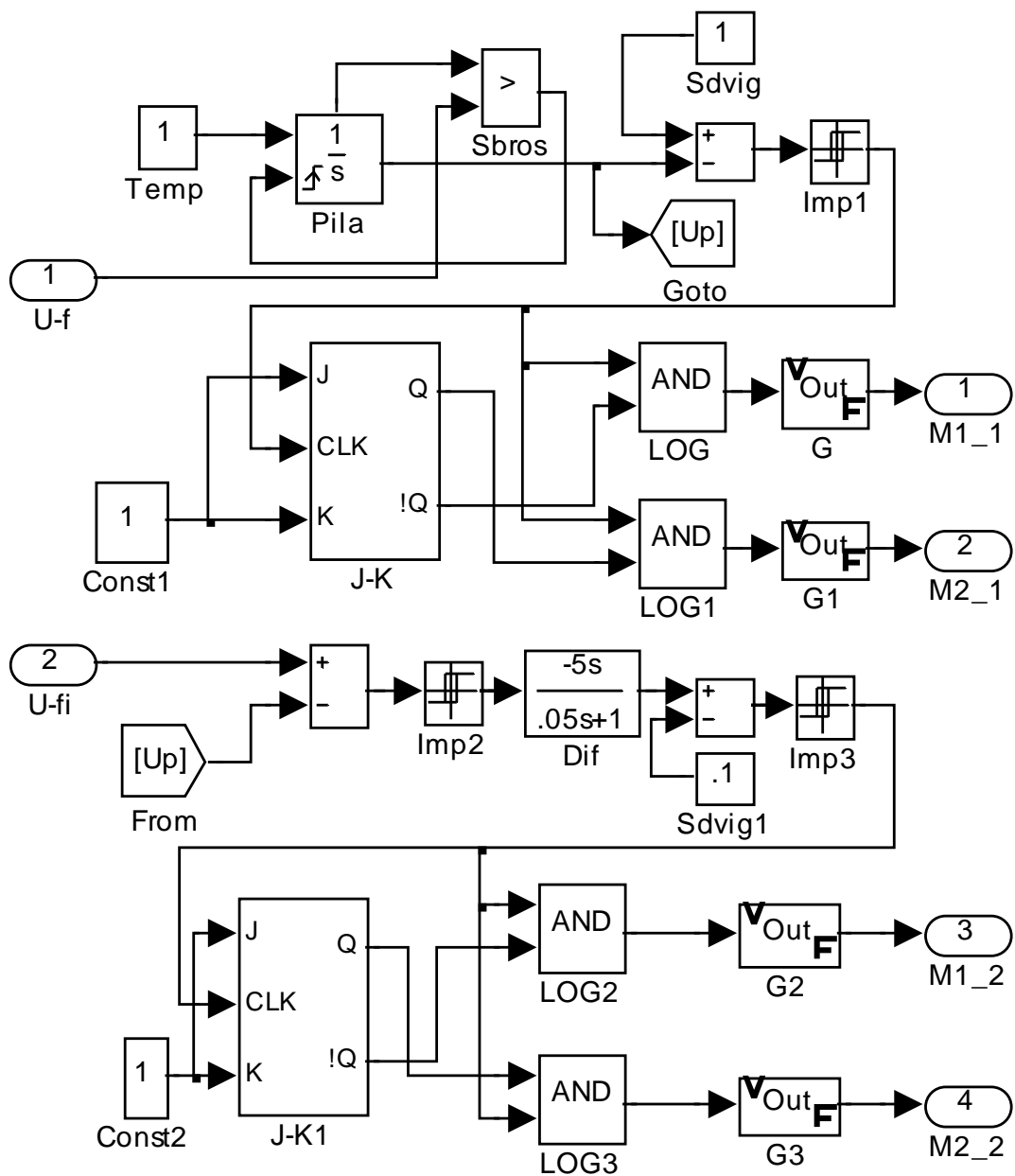


Рисунок 6 – Система управления частотой и фазовым сдвигом

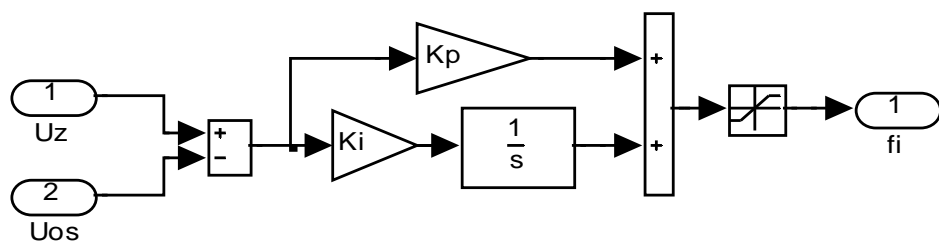


Рисунок 7 – Подсистема стабилизации выходного напряжения

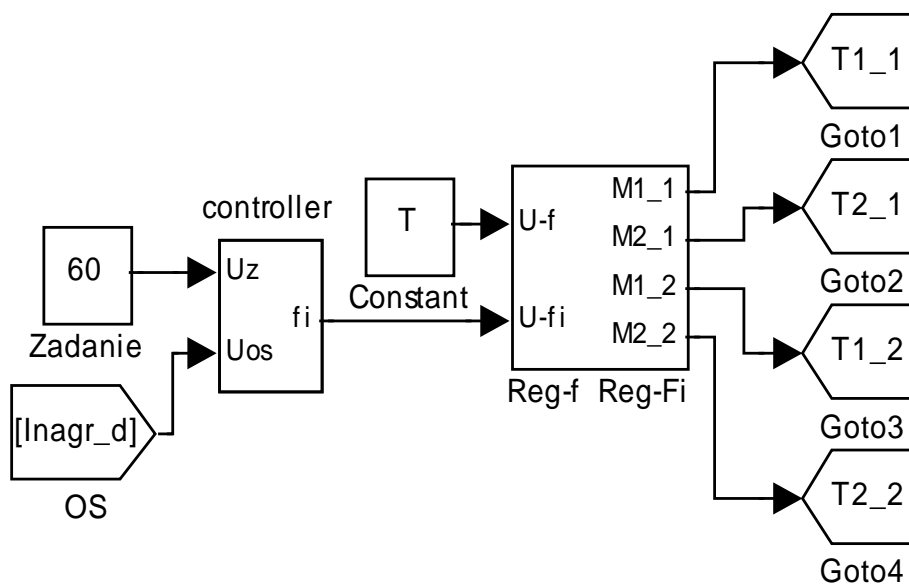


Рисунок 8 – Подсистема формирования временной задержки

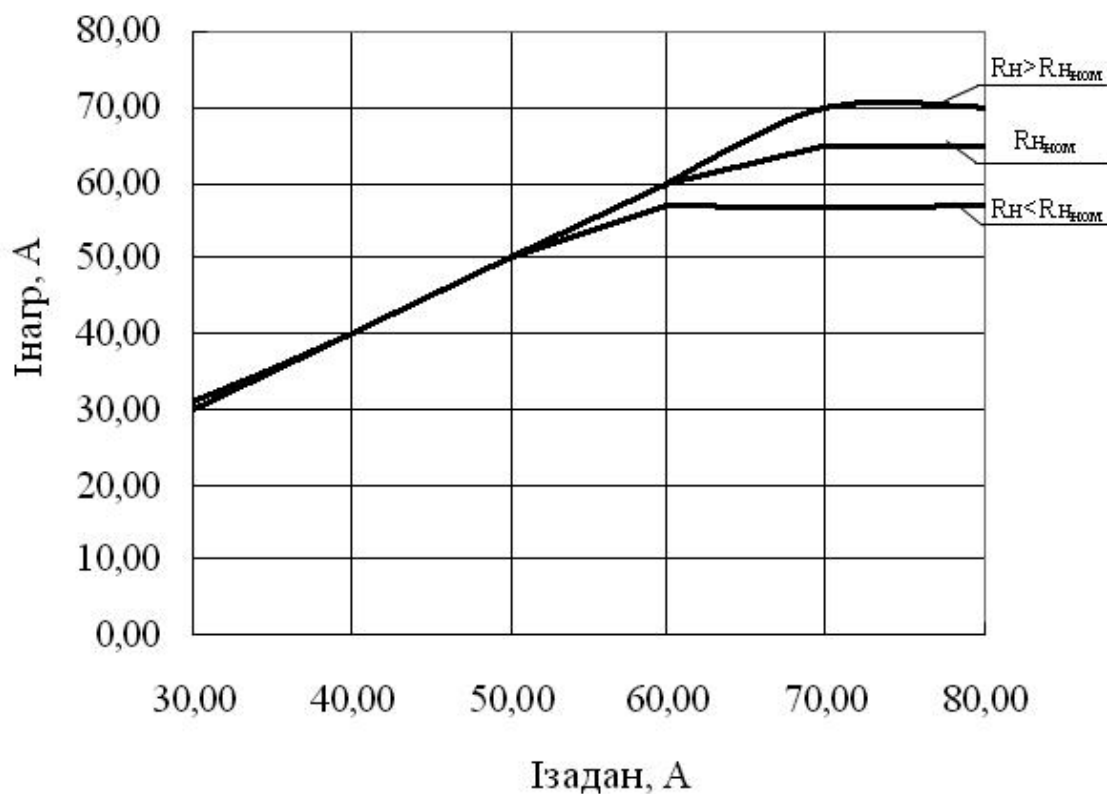


Рисунок 9 – Регулировочные характеристики источника тока

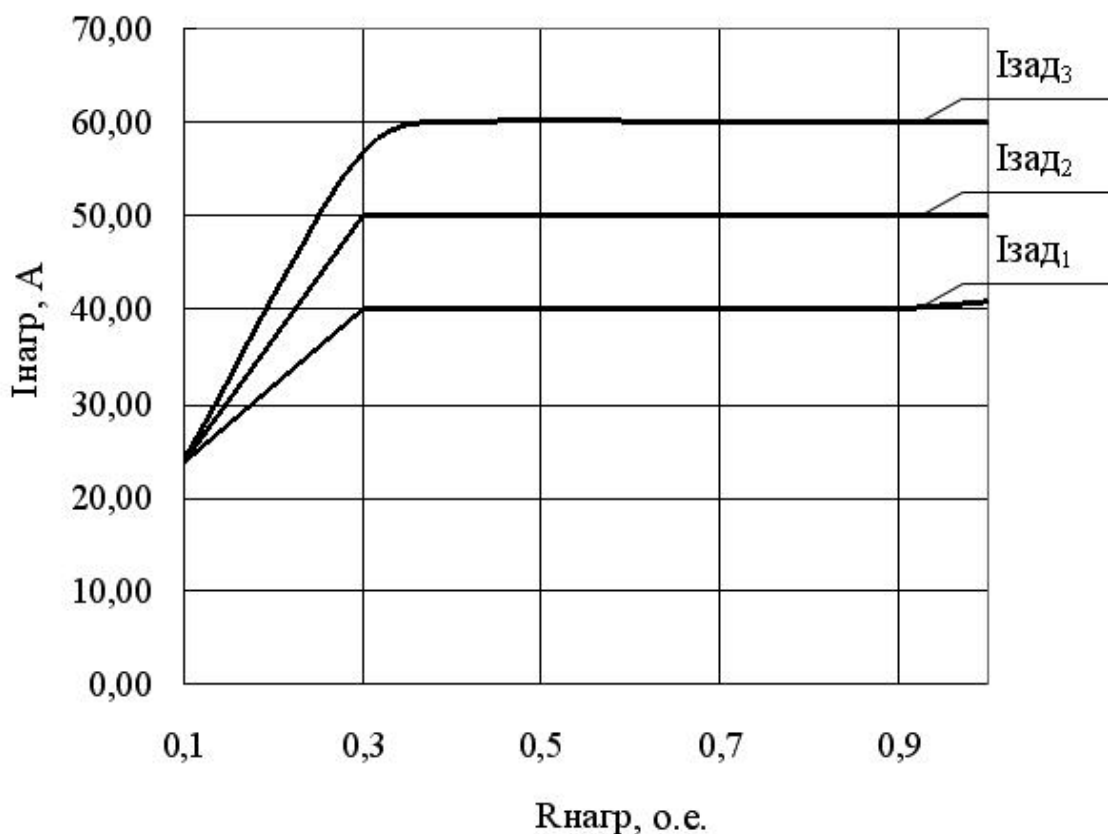


Рисунок 10 – Нагрузочные характеристики источника тока

Таким образом, представленные характеристики демонстрируют высокие регулировочные и стабилизирующие свойства источника тока при работе на нагрузку с изменяющимися параметрами. Причем данный источник способен работать в режиме короткого замыкания, так как за счет ограничения тока обеспечивается защита технологической нагрузки и преобразователя от аварийных перегрузок.

Выводы. Предложен принцип построения источника стабилизированного тока, основанный на комбинировании параметрической и координатной стабилизации.

Разработана имитационная модель источника стабилизированного тока для питания электротермической индукционной установки, которая включает в себя модель нагрузки, представленную эквивалентными параметрами, модель силовой части двухмостового ТПЧ, модель системы управления, в которой реализованы функция управления фазовым сдвигом импульсов отпираания триггеров и функция стабилизации выходного тока преобразователя с помощью ПИ-регулятора.

Получены регулировочные и нагрузочные характеристики источника стабилизированного тока. Анализ характеристик показал, что дан-

ный источник обладает высоким качеством стабилизации тока при изменении нагрузки в широких пределах.

Предложенная модель также может быть использована для исследования динамических режимов в системе питания индукционной установки при изменении параметров нагрузки, и построения таких систем.

Приведены результаты теоретических исследований источника стабилизированного тока для питания электротехнологических установок. Разработана математическая имитационная модель системы автоматической стабилизации тока, построенного на основе двухмостового тиристорного резонансного инвертора.

Theoretical researches results of the stabilised current source for a supply of electrotechnological installations. The mathematical imitating model of current automatic stabilization system constructed on the basis of two-bridge tiristor the resonant inverter is developed.

Библиографический список.

1. Гусев Ю.М., Рогинская Л.Э., Шуляк А.А., Белкин А.К. Технологические процессы с применением тиристорно-индукционных комплексов//Технічна електродинаміка. Спеціальний випуск «Силова електроніка та енергоефективність». – 1998. – Ч. 2. – С. 20-22.
2. Автономный резонансный инвертор в режиме параметрической стабилизации тока / Волков И.В., Губаревич В.Н., Матвеев В.Ю., Кабан В.П.//Техническая электродинамика. – 1982. – №6. – С. 22-27.
3. Тиристорные преобразователи частоты/А.К. Белкин, Т.П. Костюкова, Л.Э. Рогинская, А.А. Шуляк. – М.: Энергоатомиздат, 2000. – 263 с.: ил
4. Щерба А.А. Системы электропитания повышенной частоты с блоками рекуперации энергии для индукционных установок с изменяющимся энергопотреблением / Щерба А.А., Ушаков В.И., Кобец Д.В., Саратовский Р.Н.//Технічна електродинаміка. Темат. вип. «Проблеми сучасної електротехніки». – 2006. – Ч.4. – С. 112 – 115.
5. Дьяконов В. Simulink 4. Специальный справочник. – СПб: Питер, 2002. – 528 с.: ил.

*асистент Замогильна Н.Ю.
(ДонДТУ, м. Алчевськ, Україна)*

АСПЕКТИ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ АВТОМАТИЗОВАНОГО ВАГОВИМІРЮВАЛЬНОГО КОМПЛЕКСУ ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ

Предложена структурно-логическая схема весоизмерительного комплекса, которая обеспечивает универсальность и гибкость выбора метода взвешивания.

В даний час системи визначення ваги відіграють важливу роль в організації вантажоперевезень на залізниці. При цьому якість і ефективність їхнього функціонування істотно впливають на ефективність функціонування залізниці в цілому. Це обумовлює існуючу тенденцію до підвищення точності і швидкості вимірів, а також створення систем реєстрації та обробки даних зважування. При чому формат отриманих даних повинен бути представлений у вигляді зручному не тільки для сприйняття, але й для подальшої обробки і систематизації.

Для вирішення цієї задачі існують спеціальні пристрої і методи зважування. Уся номенклатура цих пристроїв може бути поділена на декілька груп. Найбільшого розповсюдження отримали ваги трьох основних видів: механічні, електромеханічні і електронні.

До механічних відносяться ваги, в яких зважування відбувається завдяки взаємодії системи важелів і вантажів (пружин). Відображення інформації про вантаж, що зважується, відбувається завдяки переміщенню стрілки, яка механічно пов'язана із загальною системою важелів. Такий тип вагів не отримав широкого розповсюдження, оскільки має низку недоліків, таких як: відносно низька надійність вагового механізму, ускладнення процесу подальшої обробки і систематизації даних, в зв'язку з складністю представлення результатів вимірів у сприятливому форматі. Окрім того, спостерігається велика тривалість зважування, що не задовольняє сучасним вимогам.

Механізм зважування електромеханічних вагів влаштований так, як і у механічних, але отриманий результат відображається на електронному пристрої. Електромеханічні ваги поєднують в собі переваги електронних і підсумовують недоліки механічних вагів. Довговічність таких приладів залежить від дотримання умов їх експлуатації, оскільки

вони чутливі до радіоперешкод, перебоїв в мережі електроживлення, ударів і падінь.

Найбільшого розповсюдження отримали електронні ваги. Це обумовлено тим, що їм властиві переваги електромеханічних за відсутності недоліків механічних вагів. Вони позбавлені громіздких механічних деталей, надійні, точні, довговічні. Тривалий термін експлуатації пояснюється тим, що ваги знаходяться в стані рівноваги, всі механічні деталі приладу нерухомі, а значить, не зношуються.

Принцип дії електронних вагів зводиться до виміру сили ваги, яка діє на первинний датчик. Зміна параметрів датчику перетворюється в пропорційний електричний сигнал і дозволяє визначити питому величину. Первинні датчики, які у даний час використовуються у ваговій техніці, можуть бути розділені на такі групи:

- віброчастотні, або струнні;
- п'єзокварцові;
- тензометричні.

Дія віброчастотних датчиків оснований на зміні частоти коливань натягнутої металічної струни в залежності від величини сили, яка була приложена. При налагодженому виробництві віброчастотні датчики виявляються досить недорогими. Таким чином, собівартість такої системи виміру відносно низька. Однак, слід зазначити, що даний тип датчиків у ваговому обладнанні використовується рідко. Це обумовлено не тільки їх нестабільністю і підвищеними вимогами до умов роботи, але і низькою точністю.

П'єзокварцовий датчик діє за принципом зміни частоти кварцового кристалу, який механічно зв'язаний з пружним елементом, під дією прикладеної до нього сили.

Легкість використання і доступна ціна роблять ваги на основі цих датчиків популярними на підприємствах торгівлі і зв'язку. Слід зазначити, що зміна частоти коливань кварцового резонатору в більшій мірі залежить від коливань температури і напруги живлення. Таким чином, необхідним є створення системи інтелектуального датчику і мікропроцесору, який відстежує відхилення і вводить корегуючі поправки до результату зважування. Хоча собівартість такої системи досить низька, її точність є нижчою, ніж у тензометричної.

Дія тензометричного датчика оснований на перетворенні деформації пружних елементів у зміну електричного опору. Пружний елемент являє собою систему металічних виробів спеціальної конструкції, а перетворювач – високочуттєву спіраль зі спеціального сплаву, наприклад, константану. Ця спіраль певним чином приклеюється до пружного елемента на ділянці, де деформація є найбільш вираженою. За статистикою, така конструкція виявилася найбільш надійною. Таким чином, мо-

жна зробити висновок, що вагові системи на основі тензодатчиків є більш зручними і надійними. Тому цю вагову систему доцільно використовувати в автоматизованому ваговимірювальному комплексі, які знайшли широке розповсюдження на промислових підприємствах і залізницях.

Існуючі ваговимірювальні комплекси реалізують статичний і динамічний способи зважування. Але динамічний дозволяє досягти більшої швидкості зважування, при цьому не стоїть питання забезпечення стану покою об'єкту зважування. Це особливо важливе для залізничного транспорту. Тому такі системи переважно використовуються для виміру ваги залізничних вагонів і составів в цілому.

Перші експериментальні вагові комплекси з'явилися на початку шістдесятих років ХХ століття [1]. Тоді ж було запропоноване теоретичне обґрунтування методу виміру маси в динаміці і розроблені математичні моделі вимірюваних сигналів.

За даними [2] на цей час в Україні використовуються вагові комплекси виробництва як українських так і зарубіжних фірм. В сучасних вагових комплексах використовується три способи зважування: повагонний, повізковий, повісний.

З точки зору досягнення максимальної точності вимірювання маси рухомого об'єкту, оптимальним є спосіб повагонного зважування, при якому вимір маси об'єкта здійснюється за один прийом. При використанні цього способу повністю виключається вплив нерівномірного розподілу навантаження на вісі вагона.

На сучасних промислових підприємствах важливим є не тільки визначення маси потягу або вантажу, але й моніторинг руху составу. Для забезпечення цих потреб необхідним є створення ваговимірювального комплексу, який має об'єднувати в собі дві підсистеми: підсистему визначення ваги і підсистему ідентифікації вагона. З цією метою пропонується структурно-логічна схема організації автоматизованого ваговимірювального комплексу залізничного транспорту. Загальний вигляд цієї схеми представлений на рисунку 1.

Цей комплекс включає в себе підсистему ідентифікації вагона. Для реалізації цієї підсистеми можна використати оптичну систему або мікропроцесорні датчики. Слід зазначити, що залізничні состави експлуатуються в агресивному середовищі. Їх поверхня не захищена від прямого сонячного випромінювання, вологи, ударів, вібрації, механічних деформацій та інших факторів.



Рисунок 1 – Структурно-логічна схема побудови ваговимірювального комплексу

Таким чином пропонується використати комплекс пристроїв та заходів для визначення номеру об'єкту за допомогою оптичного обладнання. Цей комплекс може бути поділений по типу руху вагона: в статиці і в динаміці. Доцільним є використання універсальних заходів для ідентифікації вагона незважаючи на те знаходиться він у русі, або стоїть нерухомо. Таким чином, якщо система має єдиний оптичний комплекс для ідентифікації об'єкту інформація з неї поступає на заходи для реєстрації номеру вагону, а з них до пристрою який здійснює обчислення отриманих даних. В результаті виконання цих операцій одержується інформація про номер вагона у необхідному форматі. Також ця інформація може бути записана до бази даних, виведена на індикатор, або, у разі необхідності, роздрукована на доступному приладі.

Підсистема визначення ваги включає в себе два різних способи виміру: за допомогою платформи, або за допомогою рейки. Ці методи можуть бути поділені за способом виміру на:

- статичний, коли час існування інформаційного сигналу значно перевищує час виміру (при цьому рівень перешкод, які спотворюють інформаційний сигнал під час виміру, відносно низький);

- динамічний, коли час існування інформаційного сигналу суттєво обмежений і порівнянний з часом вимірювання (рівень перешкод, які спотворюють інформаційний сигнал під час виміру у цьому випадку, досить значний і може сягати десятків відсотків від величини інформативного параметру).

При цьому, як видно з рисунка 1, є чотири механізми обчислення отриманих даних. Механізм обчислення 1 реалізує алгоритм обробки даних коли необхідно визначити масу вагона при використанні платформних вагів при статичному способі зважування. Механізм обчислення 2 реалізує алгоритм при динамічному способі зважування за допомогою ваговимірювальної рейки. Механізм обчислення 3 реалізує алгоритм при використанні платформних вагів при динамічному способі зважування. Механізм обчислення 4 реалізує алгоритм визначення ваги вагона при використанні ваговимірювальної рейки, але при зважуванні в статиці. Подібний набір обчислювальних механізмів обумовлений певною універсалізацією одного з ваговимірювальних пристроїв. В даний час, не всі підприємства можуть мати всі види ваговимірювальних пристроїв. Зазвичай, це або ваговимірювальна рейка, або платформа.

Таким чином, використовуючи запропоновану структурно-логічну схему для побудови автоматизованого ваговимірювального комплексу можна забезпечити універсальність і гнучкість вибору методу зважування, обробки даних для різних умов і специфіки підприємств. Окрім цього, комбінація системи зважування і ідентифікації номеру вагону до-

зволяє створювати допоміжні інформаційні системи обліку вантажопереvezень, що значно підвищує ефективність залізниці.

Запропонована структурно-логічна схема ваговимірювального комплексу, яка забезпечує універсальність і гнучкість вибору методу зважування

It is proposition of counting weight structure-logical scheme for universal and flexible weight method selection.

Бібліографічний список.

1. Орлов С.П., Михайловский С.С., Тимофеев К.К. *Весы и дозаторы.* — М.: Машиностроение. 1972. — 214 с.

2. Орлов В.А., Копытчук Н.Б., Стебновский В.Ц., Горелкин В.В. *Весы, весовые дозаторы, системы взвешивания и дозирования./ Под ред. Никитинского М.П.* — В двух кн. — Кн. 1. — Одесса: Астропринт, 2001. 396 с.

ТРЕБОВАНИЯ

к рукописям научных статей и порядок их рассмотрения при подготовке к выпуску сборника научных трудов ДонГТУ

Статьи должны представляться в соответствии с требованиями ВАК Украины (Перелік № 1 за 2003г). Сборник научных трудов издается два раза в год. Сборник формирует информационный отдел.

Сборник содержит следующие разделы: «Разработка полезных ископаемых», «Металлургия», «Строительство», «Электротехника. Радиотехника». Содержание статей должно содержать новые достижения науки и техники, их практическое значение, соответствовать технической направленности сборника и представлять интерес для широкого круга специалистов.

В статье должно быть кратко изложено то новое и оригинальное, что разработано авторами, показано преимущество перед аналогами предлагаемых разработок, описаны их особенности и практическая значимость. Результаты работы не должны представляться в виде тезисов.

Ответственность за нарушение авторских прав, за несоблюдение действующих стандартов и за недостоверность приведенных в статье данных полностью несут авторы статьи.

Присланные в редакционную коллегию статьи подвергаются обязательному рецензированию. Редакционная коллегия оставляет за собой право вносить в текст статьи изменения редакционного характера без согласования с авторами.

Языки предоставления рукописей: украинский, русский.

СОДЕРЖАНИЕ СТАТЕЙ

Представляемые статьи должны иметь следующую структуру:

УДК:

УДК на статью присваивает отдел библиографии научной библиотеки ДонГТУ, каб.206.

Аннотация:

В аннотации приводятся краткие сведения о всей статье в целом на трех языках, в начале на украинском языке, в конце статьи на русском и английском языках. Объем аннотации 5-10 строк.

Обязательные элементы статьи:

- постановка проблемы в общем виде и ее связь с важными научными и практическими заданиями;
- анализ последних достижений и публикаций, в которых начато решение данной проблемы и на которые опирается автор, выделение

нерешенных раньше частей общей проблемы, которым посвящается данная статья;

- формулирование целей статьи (постановка задач);
- представление основного материала исследования с полным обоснованием полученных научных результатов;
- выводы по данному исследованию и перспективы дальнейшего развития данного направления.
- библиографический список, список литературных источников должен быть составлен в порядке ссылок на них. Ссылки на литературу в тексте статьи заключаются в квадратные скобки.

За авторами статьи остаётся право выделения жирным шрифтом названия обязательных элементов статьи.

ТРЕБОВАНИЯ К ОФОРМЛЕНИЮ

1. Текст рукописи статьи от 5 до 10 страниц на белой бумаге формата А4 (210x297 мм) с полями: верхнее, левое, правое, нижнее – **28 мм**. Страницы не нумеруются. Рукопись статьи оформляется с применением редактора WinWord (не ниже версии 6.0) шрифтом Times New Roman, размером 14, одинарным интервалом, без переносов, выравниванием по ширине, абзацным отступом 1,27 см, с высоким качеством печати.

2. *Порядок оформления.* Материалы должны отвечать следующей структурной схеме: УДК, звание, должность, фамилии и инициалы авторов, название организации, города, страны, e-mail автора, название статьи, аннотация, основной текст, выводы, аннотация на двух языках, библиографический список.

УДК проставляется слева вверху, шрифт полужирный, без абзацного отступа.

Через один интервал печатать звание, должность, фамилию, инициалы. В круглых скобках – название организации, название города, страны, e-mail автора, через запятую. Шрифт полужирный, курсив.

Через два интервала название заглавными буквами, выравнивание по центру, шрифт полужирный, без абзацного отступа.

Через один интервал – краткая аннотация на украинском языке, курсивом и материалы статьи. Между аннотацией и текстом статьи один интервал. Образец оформления материалов прилагается.

3. Графический материал (рисунки, графики, схемы) следует располагать непосредственно после текста, в котором он упоминается впервые («...на рисунке...»), не допускается «см.», «рис.»), или на следующей странице. Все позиции, обозначенные на рисунке, должны быть объяснены в тексте и нанесены слева направо, сверху вниз. Допускается размещение пояснительных данных под иллюстрацией (подрисуночный текст). Под каждым рисунком (подрисуночным текстом) располагается

подпись в формате «Рисунок № – Название» с выравниванием посередине. После подписи и перед рисунком оставляется пустой интервал.

4. Абзац содержащий формулы должен иметь следующие параметры: выравнивание по левому краю, без абзаца, интервал перед и после абзаца 14 пт, позиции табуляции – 7,75 см по центру (для расположения формулы) и 15,4 см по правому краю (для расположения номера формулы). Формулы выполняются с помощью редактора формул Microsoft Equation 3 математическим стилем, со следующими размерами:

Full (обычный) 12 pt

Subscript/Superscript (крупный индекс) 10 pt

Sub-Subscript/Superscript (мелкий индекс) 8 pt

Symbol (крупный символ) 12 pt

Sub-Symbol (мелкий символ) 10 pt

5. Все таблицы должны иметь название и порядковый номер и располагаться после упоминания по тексту. Название располагается над таблицей.

Каждая таблица должна иметь один интервал перед названием и один после таблицы.

6. Библиографический список должен быть составлен в порядке упоминания в тексте. Ссылки на литературу заключаются в квадратные скобки.

7. Текст статьи предоставляется в электронном (дискета 3,5”) и печатном виде, сопроводительная документация только в печатном виде.

СОПРОВОДИТЕЛЬНАЯ ДОКУМЕНТАЦИЯ

- Рецензия специалистов редакционной коллегии ДонГТУ
- Выписка из протокола заседания кафедры.

СОДЕРЖАНИЕ

Раздел «Разработка полезных ископаемых»

<i>Клишин Н.К., Склепович К.З.</i> СЕЙСМОАКУСТИЧЕСКИЙ МЕТОД ОПЕРАТИВНОГО КОНТРОЛЯ СОСТОЯНИЯ КРОВЛИ В ЛАВАХ ПЕРЕД УПРОЧНЕНИЕМ	5
<i>Рутковский Ю.А., Рутковский А. Ю.</i> ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ АКУСТИЧЕСКИХ ЯВЛЕНИЙ ВО ВСАСЫВАЮЩЕЙ СИСТЕМЕ ПОРШНЕВОГО КОМПРЕССОРА НА НАПОЛНЕНИЕ ЦИЛИНДРА ВОЗДУХОМ.....	11
<i>Финкельштейн З.Л., Бизянов Е.Е., Погорелов Р.Н.</i> ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ТЕХНИЧЕСКОЙ ВОДЫ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ УРОВНЯ СОДЕРЖАНИЯ ПРИМЕСЕЙ.....	24
<i>Нечепуренко М.С.</i> КЛАССИФИКАЦИЯ УПРУГИХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ ДВИЖЕНИЙ	30
<i>Левченко Э.П.</i> НЕКОТОРЫЕ ЭТАПЫ ИССЛЕДОВАНИЯ РАБОТЫ РАЗГОННО-УДАРНЫХ ДРОБИЛЬНО-ИЗМЕЛЬЧИТЕЛЬНЫХ МАШИН.....	34
<i>Ларченко В.Г., Хоружая Н.В.</i> ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ПРОЦЕССА СДВИЖЕНИЯ ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ НА ТРУДНОДОСТУПНЫХ УЧАСТКАХ	44
<i>Аверин Г. А., Кирьязов П. Н., Доценко О. Г.</i> УСТАНОВЛЕНИЕ ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТИ ОСЕДАНИЯ ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ НАД ВЫРАБОТАННЫМ ПРОСТРАНСТВОМ ЛАВЫ.....	49
<i>Фесенко Э.В.</i> ОЖИДАЕМЫЙ ЭКОНОМИЧЕСКИЙ ЭФФЕКТ МЕТОДОВ ПРОГНОЗА ГОРНОГО ДАВЛЕНИЯ	56
<i>Сятковский С.Л.</i> ВЫЯВЛЕНИЕ ЗАКОНА РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ДЕБИТА МЕТАНА В ИСХОДЯЩИХ ВЕНТИЛЯЦИОННЫХ СТРУЯХ ВОЗДУХА ВЫЕМОЧНЫХ УЧАСТКОВ АНТРАЦИТОВЫХ ШАХТ	64
<i>Семененко Е.В., Никифорова Н.А.</i> ОБОСНОВАНИЕ МЕТОДА РАСЧЕТА ПАРАМЕТРОВ ГИДРОТРАНСПОРТА В ПРИСУТСТВИИ ГИДРОДИНАМИЧЕСКИ АКТИВНЫХ ДОБАВОК	72

<i>Корнеев С.В.</i> КРИТЕРИИ АДАПТАЦИИ ЗАБОЙНЫХ СКРЕБКОВЫХ КОНВЕЙЕРОВ В РАБОЧЕМ РЕЖИМЕ РАБОТЫ	81
<i>Денисенко В.П., Абакумова Е.В., Лепило Н.Н.</i> ОБОСНОВАНИЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЗАКОНА РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ВЕЙБУЛЛА ДЛЯ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПРОЦЕССА МЕТАНОВЫДЕЛЕНИЯ ДОБЫЧНЫХ УЧАСТКОВ ШАХТ	91
<i>Князьков О.В., Аверин Г.А., Болотов А.П.</i> ИЗМЕНЕНИЕ ПОЛОЖЕНИЯ ЛИНИИ ОЧИСТНОГО ЗАБОЯ В ПРОСТРАНСТВЕ КАК МЕТОД ПЕРВИЧНОЙ ПОСАДКИ ТРУДНООБРУШАЕМОЙ КРОВЛИ.....	101
<i>Подлипенская Л.Е., Долгопятенко С.И.</i> МЕТОДИКА ГИБРИДНОГО ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ДИНАМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ГОРНОГО ПРОИЗВОДСТВА	106
<i>Касьян С.И.</i> ДЕФОРМАЦИИ КРОВЛИ НА СОПРЯЖЕНИЯХ ЛАВ С ПОВТОРНО ИСПОЛЬЗУЕМЫМИ ВЫРАБОТКАМИ.....	116
<i>Кизияров О.Л.</i> ОБОСНОВАНИЕ СХЕМЫ РАСПОЛОЖЕНИЯ И ПАРАМЕТРОВ АНКЕРНОЙ КРЕПИ ДЛЯ УПРОЧНЕНИЯ КРОВЛИ В ЛАВЕ	123
<i>Буянов А.Д., Павленко А. Т., Мирошниченко В. Т., Анушина Н.П.</i> АНАЛИТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ РЕЖИМНЫХ ЭЖЕКТОРНЫХ АППАРАТОВ.....	130

Раздел "Металлургия"

<i>Новохатский А.М.</i> , УПРАВЛЕНИЕ ХОДОМ ДОМЕННОЙ ПЕЧИ ПРИ ОПОЛЗАНИЯХ ГАРНИССАЖА	137
<i>Ершов В.М.</i> О ДОСТОВЕРНОСТИ РЕЗУЛЬТАТОВ РЕНТГЕНОВСКОЙ ТЕНЗОМЕТРИИ.....	146
<i>Ершов В.М.</i> АУСТЕНИТИЗАЦИЯ СТАЛЬНОЙ ПОВЕРХНОСТИ В УСЛОВИЯХ СУХОГО ТРЕНИЯ	152
<i>Ершов В.М.</i> ИЗМЕНЕНИЯ В ДИНАМИКЕ КРИСТАЛЛИЧЕСКОЙ РЕШЕТКИ АУСТЕНИТА ПЕРЕД МАРТЕНСИТНЫМ ПРЕВРАЩЕНИЕМ	159
<i>Пупков В.С.</i> РЕГЕНЕРАЦИЯ СЕТЧАТОГО ФИЛЬТРОЭЛЕМЕНТА ИМПУЛЬСАМИ ПОВЫШЕННОГО ДАВЛЕНИЯ	166

<i>Мосягин Н. А., Чекалов А.Н., Стародубов С.Ю, Ерошенко И.В.</i> ВЛИЯНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ НА ТОЧНОСТЬ ЗУБОШЛИФОВАНИЯ.....	172
<i>Мосягин Н.А., Чекалов А.Н., Стародубов С.Ю., Корецкий Ю.В., Таровик А.Б.</i> СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ПРОФИЛЬНЫХ ВАЛОВ	177
<i>Боровик П.В., Луценко В.А.</i> ВЛИЯНИЕ КОНСТРУКЦИИ НОЖА И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ПРОЦЕССА РЕЗАНИЯ МЕТАЛЛА НОЖНИЦАМИ НА ВЕЛИЧИНУ УДЕЛЬНОЙ РАБОТЫ	187
<i>Козачишин В.А., Попов Г.Н.</i> УСТРОЙСТВО ДЛЯ ОКОМКОВАНИЯ АГЛОМЕРАЦИОННОЙ ШИХТЫ.....	194
<i>Данько А.В., Кулик А.Н.</i> МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ НАПРЯЖЕННОГО СОСТОЯНИЯ ПО ЭКСПЕРИМЕН- ТАЛЬНЫМ ГРАНИЧНЫМ УСЛОВИЯМ	198
<i>Кузнецов Д.Ю., Васильев Д.Б., Лащев В.Я., Кравченко В.М., Скубарев С.Л.</i> ОСОБЕННОСТИ ВОССТАНОВЛЕНИЯ РАБОЧЕГО СЛОЯ ПОДИНЫ ДВУХВАННОГО СТАЛЕПЛА- ВИЛЬНОГО АГРЕГАТА	204
<i>Бревнов А.А.</i> ОБОСНОВАНИЕ КОНСТРУКЦИИ ГИДРО- ДИНАМИЧЕСКОГО НЕПОЛНОПОТОЧНОГО ФИЛЬТРА С ЗАКРУТКОЙ ПОТОКА	208

Раздел "Строительство"

<i>Гайко Ю.И., Сергиенко С.Н.</i> СТАТИСТИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ТИПОВЫХ ПРОЕКТОВ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ ДЛЯ ОЦЕНКИ НЕДВИЖИМОСТИ ЗАТРАТНЫМ ПОДХОДОМ	221
<i>Симонова И.Н., Долголаптев В.М., Николаева Е.К. Симонов С.И.</i> ПРОБЛЕМЫ ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ ЖИЛЫХ ЗДАНИЙ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ СОВРЕМЕННЫХ СИСТЕМ ОТОПЛЕНИЯ	231
<i>Долголаптев В.М., Симонова И.Н., Николаева Е.К., Симонов С.И.</i> ПОВЫШЕНИЕ КОМФОРТНОСТИ ЖИЛЫХ ЗДАНИЙ ЗА СЧЕТ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ АРХИТЕКТУРНО-ПЛАНИ- РОВОЧНЫХ РЕШЕНИЙ.....	235

Раздел "Электротехника. Радиотехника."

<i>Захожай О.И.</i> ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРОЕКТИВНОЙ СТРУКТУРЫ И ДВИЖЕНИЯ ПО БИНОКУЛЯРНЫМ СООТВЕТСТВИЯМ В СИСТЕМАХ ТЕХНИЧЕСКОГО ЗРЕНИЯ	243
<i>Сафронов П.С.</i> ПОСТРОЕНИЕ PSPICE-МОДЕЛИ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ МНОГОПУЛЬСНОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ СРЕДСТВАМИ САПР	250
<i>Комісаренко О.І., Ламанов С.Л., Михайлова Л.Ф.</i> КЕРУВАННЯ ПРОЦЕСОМ ВІДКЛЮЧЕННЯ СИЛОВИХ ЛАНЦЮГІВ ПОСТІЙНОГО СТРУМУ З МІНІМІЗАЦІЄЮ ЕНЕРГО-ВИДІЛЕННЯ В НАВАНТАЖЕННІ	257
<i>Глебин А.Г., Кобец Д.В., Ушаков В.И.</i> ИСТОЧНИК ПИТАНИЯ ИНДУКЦИОННЫХ УСТАНОВОК НА ОСНОВЕ ДВУХМОСТОВОГО РЕЗОНАНСНОГО ИНВЕРТОРА СО СВОЙСТВАМИ ИСТОЧНИКА ТОКА	262
<i>Замогильна Н.Ю.</i> АСПЕКТИ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ АВТОМАТИЗОВАНОГО ВАГОВИМІРЮВАЛЬНОГО КОМПЛЕКСУ ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ	273
ТРЕБОВАНИЯ К РУКОПИСЯМ НАУЧНЫХ СТАТЕЙ.....	279

НАУКОВЕ ВИДАННЯ

ЗБІРНИК НАУКОВИХ ПРАЦЬ ДОНБАСЬКОГО ДЕРЖАВНОГО ТЕХНІЧНОГО УНІВЕРСИТЕТУ

Випуск 25

Головний редактор

Заблодський М.М – канд. техн. наук

Редакційна колегія:

А.І. Акмаєв – докт. екон. наук,
С.М. Петрушов – докт. техн. наук,
Г.Г. Литвинський – докт. техн. наук,
Р.А. Фрумкін – докт. техн. наук,
Г.В. Бабіюк – докт. техн. наук,
Г.І. Гайко – докт. техн. наук,
М.К. Клішин – докт. техн. наук,
З.Л. Фінкельштейн – докт. техн. наук,
А.Б. Зеленов – докт. техн. наук,
Ю.С. Денищик – докт. техн. наук,
В.О. Ульшин – докт. техн. наук,
О.І. Давиденко – докт. техн. наук,
В.О. Луценко – канд. техн. наук,
В.Н. Ульяницький – канд. техн. наук,
Ю.Е. Паєранд – канд. техн. наук,
С.Ю. Короткова – канд. техн. наук,
С.А. Скомська – начальник інформаційного відділу

Комп'ютерна верстка Н.Б. Трофімова

Підп. до друку 07.12.2007 Формат 60×84¹/₁₆. Папір офс.
Друк RISO. Ум.друк.арк. 16,6 Зам. № 364. Наклад 100 пр.
Видавництво не несе відповідальність за зміст матеріалу, наданого автором до друку.

Видавець та виготівник:

Донбаський державний технічний університет
пр. Леніна, 16, м. Алчевськ, Луганська обл., 94204.
(Творче виробниче об'єднання «ЛАДО», каб. 113-а, II корпус, т./факс (06442)2-02-59)
Свідоцтво Держкомтелерадіо серія ДК, №2010 від 12.11.2004