

Untersuchung und Optimierung der dynamischen Eigenschaften von Bergbaukombines mit dem Ziel der Erhöhung ihrer Zuverlässigkeit, Lebensdauer und Leistungsfähigkeit

W. G. Guljaew

1. Problematik und Aufgabenstellung

Mit dem Ziel der Steigerung der Betriebseigenschaften von Abbau- und Vortriebskombines werden ihre Konstruktion, Arbeitsweise und Steuerungssysteme vervollkommenet, die Energieausrüstung wird verstärkt. Als Grundtyp der Kombineantriebe dienen Kurzschluß-Asynchronmotoren, für die entsprechend GOST 16565-71 als Nennarbeitsregime das wiederholt kurzfristige Arbeiten mit mehreren Anläufen S4 (bedingt) mit einer Einschaltungsdauer von 60 %, mit einer Einschaltungszahl bis 120 in der Stunde bei einem Trägheitskoeffizienten bis 2,5 angenommen ist. Die Erhöhung der Antriebsleistung von Kombines wird sowohl durch die Anwendung von Motoren mit einem großen Moment als auch durch die Anwendung von Antrieben mit mehreren Motoren erreicht. In der nächsten Zukunft wird die Antriebsleistung der Abbaukombines 300 bis 450 kW und das maximale Drehmoment 3,0 bis 3,7 kN · m erreichen, was ermöglicht, die Verschubgeschwindigkeit der Kombines auf 8...10 m/min zu erhöhen [1]. Die spezifische Energieausrüstung (bezogen auf 1 m² der Streb-oberfläche) der modernen Kombines mit zweimotorigem Antrieb hat schon 200...300 kW/m² erreicht. Das ist einige Male höher als die entsprechenden Kennziffern der meisten einmotorigen Kombines. Etwa um 1,7mal wurde in der letzten Zeit auch die Antriebsleistung der Vortriebskombines mit zeigerförmigem Arbeitsorgan erhöht, die in Berge- und Kohlenstreben mit wesentlich verschiedenen spezifischen Widerständen arbeiten.

Die Betriebsbedingungen der meisten Abbaukombines sind ziemlich schwer; denn in den abzubauenen Kohlenflözen wächst ständig der Anteil der Flöze von hohem Schnittwiderstand und der Flöze mit einer komplizierten Struktur, mit Bergeschichten und festen Einschlüssen. Der Anteil der Flöze mit einer komplizierten Struktur in den Hauptkohlenbecken der UdSSR beträgt durchschnittlich 17 % und erreicht in einzelnen Kohlenbecken 80 % [2].

Der Betrieb der Kombines unter solchen Bedingungen wird von einer scharfen Steigerung der Dynamik des Arbeitsprozesses und einer wesentlichen Erhöhung ihrer dynamischen Belastung begleitet, was zur Senkung der Zuverlässigkeit und der Lebensdauer der Kombines und folglich ihrer Leistungsfähigkeit führt. Die höchsten dynamischen Belastungen erfahren die Elemente und Einzelteile der Antriebssysteme der Arbeitsorgane der Abbau- und Vortriebskombines. So änderte sich z. B. beim Betrieb der 2motorigen Kombine ГИИ-68 in der

Kohlengrube „Rossija“ [3] der Variationskoeffizient des Drehmoments in der Transmission des vorstehenden maximal belasteten Arbeitsorgans von 0,55 bis 0,34 (Kurve 1 im Bild 1). Beim Abbau von Brennschiefern durch die Kombine 2K-52 erreichte der Variationskoeffizient des Drehmoments in der Transmission der Arbeitsorgane die Werte 1,2 [4]. Mit ungefähr gleichgroßen Variationskoeffizienten (0,4...0,8) werden die Belastungen in den Antrieben der Arbeitsorgane der Vortriebskombines von Typen ПК-9P, 4 ПП-2 u. a. charakterisiert.

Die in der Welle des Motors auftretenden höchsten Belastungsspitzen, die durch das Treffen und die Zerstörung der festen Einschlüsse durch den Schneidezahn bedingt sind, erreichten 4,02 kN · m in der Transmission der Kombine ГИИ-68 [5] und 2,59 kN · m in der der Kombine 2K-52 [6]. Diese Belastungen sind um zwei- oder dreimal höher als das maximale Drehmoment, das die Motoren der oben genannten Kombines bei der Speisung aus dem Grubenstromnetz entwickeln. Es können auch noch höhere maximale Belastungen vorhanden sein, besonders in den Transmissionen der Kombines mit einem 2motorigen Antrieb und einem starren (kettenlosen) Vorschubsystem bei Koeffizienten des äußeren Widerstandes, die für feste Schwefelkieseinschlüsse kennzeichnend sind [5].

Die Projektierung von Kombines wurde bis zur letzten Zeit ohne ihre dynamische Analyse durchgeführt, was die Einschätzung der wahrscheinlichen Werte der dynamischen Belastungen wesentlich erschwert, deren

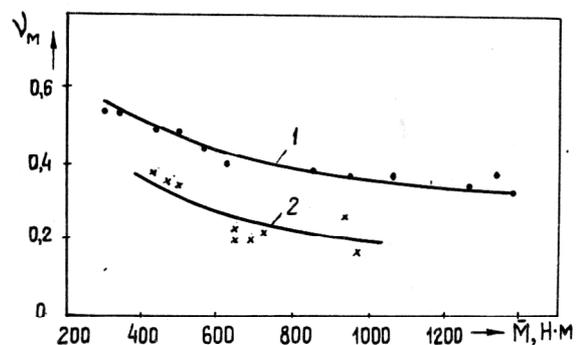


Bild 1
Abhängigkeit des Variationskoeffizienten des Drehmoments in der Transmission des Arbeitsorgans der Kombine von durchschnittlichem Belastungsniveau: 1 = ohne DE, 2 = mit DE

Größen, wie die Forschungsergebnisse [3], [5], [8], [10] zeigen, nicht nur durch die Parameter der Antriebsmotoren und den Bruchwiderstand des Bergmassivs, sondern auch durch die dynamischen Eigenschaften der Maschine bestimmt werden. Die Erfahrungen bei der Herstellung und beim Betrieb von Kombines mit hoher Antriebsleistung zeugen von der Notwendigkeit der Erforschung und der Vervollkommnung ihrer dynamischen Eigenschaften, weil es bei den wegen der Arbeitsbedingungen streng begrenzten Größen der Maschinen (besonders der Höhe nach) und den großen dynamischen Belastungen in einer Reihe von Fällen sogar bei der Anwendung hochlegierter und härterer Stähle nicht gelingt, die notwendigen Festigkeitsreserven für die schwerbelasteten Maschinenelemente der Bergbaumaschinen zu sichern. Deshalb ist die Durchführung einer dynamischen Analyse der Maschinen und der Optimierung ihrer Parameter im Stadium der Projektierung eine dringende Notwendigkeit. In dieser Richtung wird am Bergbauinstitut „A. A. Skotschinski“, am Donezker Polytechnischen Institut und in anderen Einrichtungen gearbeitet. Wichtige Ergebnisse von Untersuchungen der Bewegungsdynamik der Kombines vor Ort, der Dynamik der Antriebssysteme ihrer Arbeitsorgane und der Besonderheiten der Belastungsentstehung an den Schneidezähnen und in den Antriebssystemelementen sind in [7] dargestellt. Die Analysemethoden der dynamischen Systeme von Kombines und der Optimierung ihrer Parameter werden in [8] betrachtet. Die genannten Arbeiten haben die Voraussetzungen für die Durchführung der Analyse und die Vervollkommnung der dynamischen Eigenschaften der Vorschubmechanismen und der Antriebssysteme der Kombinearbeitsorgane geschaffen.

Aber noch ganz ungenügend sind das Zusammenwirken und die dynamischen Eigenschaften der Kraftsysteme der Kombines und die Gesetzmäßigkeiten der Entstehung der Betriebsbelastungen in den zusammenwirkenden Systemen erforscht, was die Lösung der Aufgabe zur Schaffung effektiver Mittel für die Herabsetzung der dynamischen Belastungen und die Optimierung der dynamischen Eigenschaften von Bergbaukombines insgesamt wesentlich erschwert. Es ist zu unterstreichen, daß die Lösung dieses komplizierten Problems ein systematisches Herangehen an die Auswahl und Begründung der Bergbaukombineparameter, ihrer dynamischen Eigenschaften und Arbeitsregimes erfordert, die rationell sowohl vom Standpunkt der notwendigen Leistungsfähigkeit als auch der Gewährleistung des erforderlichen Zuverlässigkeitsniveaus sind. In der vorliegenden Arbeit ist die Aufgabe gestellt, auf der Basis der Erforschung der dynamischen Eigenschaften der Bergbaukombines und der Gesetzmäßigkeiten der Entstehung der dynamischen Belastungen die Wege und die Mittel zur Herabsetzung der dynamischen Belastung der Kraftsysteme und die Methodik der komplexen Optimierung der dynamischen Eigenschaften der Kombines auszuarbeiten.

2. Lösungsmethoden für die gestellte Aufgabe

Die Haupttendenzen in der Entwicklung der Abbaukombines sind, wie schon betont wurde, die Erhöhung ihrer Antriebsleistungen, die Vervollkommnung der Arbeits-

regime und die Verbesserung der Qualität der Steuerung. Die Realisierung dieser fortschrittlichen Tendenzen findet ihren konkreten Ausdruck in der Anwendung des mehrmotorigen Elektroantriebs für die ausführenden Mechanismen der Kombines, des Elektrohydroantriebs für die Regelung ihrer Arbeitsregime, der Lage der Arbeitsorgane und des Maschinenkörpers im Streb. Die bei der Schaffung der modernen Kombines anzuwendenden technischen Lösungen bedingen immer mehr die Integration von Einzelteilen der Kombine als Elemente eines ganzen Systems, die Stärkung ihres Zusammenwirkens im Arbeitsprozeß.

Unter Berücksichtigung des oben Gesagten und der bekannten [8] Besonderheiten der Belastungen von Bergbaukombines, die durch die Spezifik der Technologie und die Arbeitsbedingungen bedingt sind, wurden als Grundlage der Methodologie die Systemanalyse und die Komplexuntersuchung festgelegt [9], [17]. Die letzteren gründen sich auf die Prinzipien der statistischen Dynamik, die Schwingungslehre, die Zuverlässigkeitstheorie und sahen eine etappenweise Lösung der folgenden miteinander verbundenen Aufgaben vor:

1. Erforschung der dynamischen Eigenschaften und Wechselbeziehungen der Hauptkraftsysteme von Abbaukombines;
2. Erforschung der Gesetzmäßigkeiten der Entstehung der dynamischen Belastungen in den Kraftsystemen von Kombines;
3. Ausarbeitung, Erforschung und industrielle Erprobung von Mitteln der Senkung der dynamischen Belastung der Kraftsysteme von Kombines;
4. Ausarbeitung der mathematischen Modelle von Kombines mit Dämpfungseinrichtungen (DE) in den Kraftsystemen und Modelluntersuchungen zum Einfluß der Parameter des Systems und der DE auf die Dynamik der Belastungen;
5. Auswahl der Methode und Ausarbeitung des Programms der Optimierung der dynamischen Eigenschaften von Abbaukombines mit DE, um die dynamische Belastung der Kraftsysteme zu minimieren.

Betrachten wir die Grundlagen der Methodik und einige Ergebnisse der durchgeführten Forschungsarbeiten bezogen auf die 2motorige Kombine vom Typ ГИИ-68, die zur verbreitetsten Klasse von Kombines mit Schneckenarbeitsorganen gehört. Das hydrokinematische Schema der Kombine und die Lage der Geber für die Erforschung der dynamischen Prozesse in ihren Kraftsystemen werden auf dem Bild 2 gezeigt.

Die Kombine als Forschungsobjekt wird bei den festgelegten Arbeitsregimes¹⁾ als eine Gesamtheit von wechselwirkenden Hauptsystemen betrachtet. Hierher gehören (Bild 2 und Bild 3):

- das elektromechanische System des Antriebs der Ausführungsorgane (СПИО), das Antriebsmotoren, Transmissionen und die mit dem Bergmassiv wechselwirkenden Arbeitsorgane einschließt;

1) Arbeit der Kombine mit konstanter durchschnittlicher Vorschubgeschwindigkeit in den Strebschnitten ohne scharfe Änderungen des Bruchwiderstandes der Kohle und bei Fehlen störender Einflüsse.

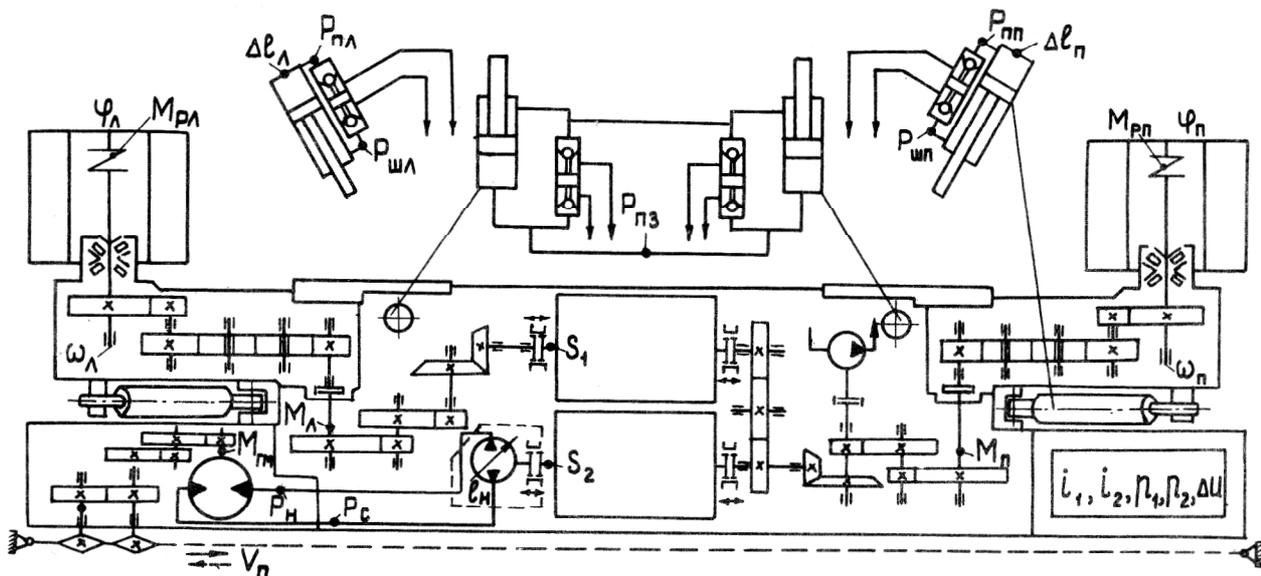


Bild 2
Hydrokinematisches Schema der Kombi-
ne und der Lage der
Meßeinrichtungen für die Erforschung der dynamischen Prozesse
in ihren Kraftsystemen

- das elektrohydraulische System des Bewegungsmechanismus (СМП), das aus dem Motor, der zu regelnden Flüssigkeitskupplung und der Transmission zum Führungsglied besteht, das mit dem Zugorgan zusammenwirkt;
- das System der Aufhängung und Lageregelung der Arbeitsorgane (СНПО), das die Schwenkgetriebe mit den Arbeitsorganen und die hydraulischen Heber für die Fixierung und die Lageänderung der Arbeitsorgane einschließt;
- das System der Gehäusegruppe (СКГ), das aus dem Gehäuse der Kombi- ne mit den hydraulisch regelbaren Stützen auf das Förderband und das Zugorgan besteht.

Die Wechselwirkung der genannten Systeme der Kombi- ne hat einen komplizierten Charakter und ist durch die inneren und äußeren Beziehungen bedingt. Die inneren Beziehungen werden durch die Elastizitäts- und Trägheitsbeziehungen und den Kopplungskoeffizienten (nach Mandelstam L. I.) bestimmt, die von dem gegenseitigen Verhältnis der Eigenfrequenzen der wechselwirkenden Systeme abhängen. Die äußeren Wechselbeziehungen erscheinen in der Einwirkung der Schwingungsprozesse in ihren wechselwirkenden Systemen [9], [10] auf den Prozeß der Schnittformierung und folglich auf die Belastungen an den Eingängen der Kombi- ne.

Wenn man den dynamischen Zustand der Kombi- ne als System mit n Freiheitsgraden durch die verallgemeinerten Koordinaten x_1, x_2, \dots, x_n beschreibt, so hat die i -te Gleichung im allgemeinen Fall folgende Form:

$$a_1 \ddot{x}_1 + a_2 \ddot{x}_2 + \dots + a_n \ddot{x}_n + b_1 \dot{x}_1 + \dots + b_n \dot{x}_n + c_1 x_1 + \dots + c_n x_n = F_i(x_1, x_2, \dots, x_n; \dot{x}_1, \dot{x}_2, \dots, \dot{x}_n) \dots \quad (1)$$

Wie man aus Gleichung (1) sieht, erscheinen die inneren Beziehungen im linken Teil der i -ten Gleichung im Vorhandensein nicht nur der i -ten Koordinate und ihrer Ableitung, sondern auch der anderen Koordinaten. Die

äußeren Beziehungen sind dadurch bedingt, daß der rechte Teil der i -ten Gleichung (die verallgemeinerte Kraft) eine Funktion nicht nur der i -ten Koordinate und ihrer Ableitung, sondern auch der anderen Koordinaten ist.

Somit können im System im allgemeinen Fall die gekoppelten Schwingungen alle verallgemeinerten Koordinaten erfassen, wobei die Schwingungen der elastischen Systeme die vorgesehenen Bahnen der Bewegung der Arbeitswerkzeuge und die Schnittparameter entstehen. Aber die Berücksichtigung der Kopplung der Schwingungen durch alle verallgemeinerten Koordinaten und des

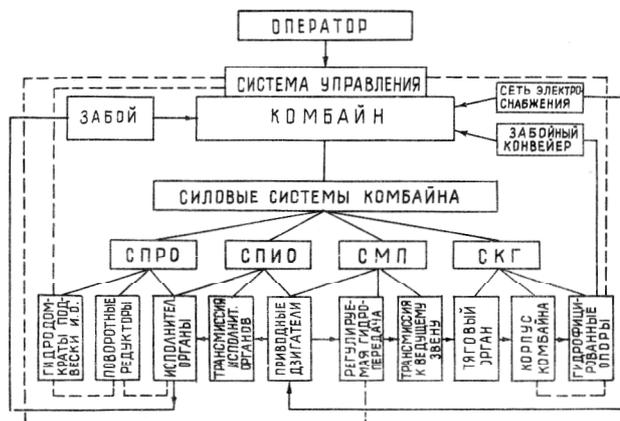


Bild 3
Strukturelles Schema der wechselwirkenden Systeme der Kombi-
ne (— funktionelle Beziehungen, - - - Beziehungen der Steuerung)

Einfluss der Schwingungsprozesse auf die Gestaltung der äußeren Belastung macht das mathematische Modell Kombine – Streb außerordentlich kompliziert und erfordert, wie in [8] gezeigt, einen großen Zeitaufwand für die Lösung der dynamischen Aufgaben sogar bei Benutzung der modernen schnellen Rechner. Darum ist es zweckmäßig, die Gesetzmäßigkeiten der Wechselwirkungen zwischen den Kraftsystemen an repräsentativen Originalmaschinen zu erforschen und sie bei der Ausarbeitung von vereinfachten mathematischen Modellen zu berücksichtigen. Dabei (das hängt von den zu lösenden Aufgaben ab) können im Modell nicht alle, sondern nur die Hauptbeziehungen berücksichtigt werden.

3. Forschungs- und Entwicklungsergebnisse

Bei der Erforschung der dynamischen Eigenschaften des СПИО wurden seine dynamischen Charakteristiken (Massenverteilung, Elastizität, Dämpfung, Eigenfrequenzen) und die Formen der Drehschwingungen festgestellt, die Wechselwirkung der Motoren mit dem mechanischen Teil des Systems analysiert, der Einfluß der Parameter des СПИО auf die Größe des Kopplungskoeffizienten des Motors mit dem mechanischen Teil des Antriebs und auf ihre Amplitude- und Frequenzcharakteristiken erforscht [11]. Es wurde festgestellt, daß der mechanische Teil des СПИО ein schwach gedämpftes System ist und die dynamischen Belastungsfaktoren des Motors und der Transmission nicht nur durch ihre partialen Parameter, sondern auch durch die Kopplung dieser partialen Systeme bestimmt werden. In [12] sind die Ergebnisse der experimentellen und theoretischen Untersuchungen der dynamischen Eigenschaften des (СПИО) dargestellt, darunter auch der nichtlinearen Effekte, die diesem System eigen sind. Es wird gezeigt, daß die nichtlinearen elastischen Eigenschaften des СПИО im wesentlichen durch die nichtlinearen Eigenschaften der elastischen Charakteristiken der hydraulischen Heber bestimmt werden. Es sind auch die Bedingungen festgestellt worden, unter denen die Linearisierung von СПИО möglich ist.

Die Trägheits- und Dissipationseigenschaften von СПИО wurden wegen bedeutender Schwierigkeiten ihrer genauen Berechnung experimentell bestimmt. Es sei bemerkt, daß man bei der Planung des Experiments für die Bestimmung der dissipativen Charakteristiken von СПИО an den Originalbaugruppen der Kombine die Wechselwirkungen der Schwingungen des Schwenkgetriebes und des Körpers der Kombine berücksichtigen muß [13].

Dynamische Parameter von СКГ wurden experimentell, die Spektren der Eigenfrequenzen und die Kopplung von СКГ und СПИО nach drei verallgemeinerten Koordinaten bestimmt (die Schwingungen des Massenmittelpunktes des Kombinekörpers und seine Schwingungen bezüglich der Längs- und Querachsen wurden analytisch [9] mit nachfolgender experimenteller Prüfung eingeschätzt [17]).

Die Wechselwirkung von СПИО und СПИО, bedingt durch das Vorhandensein der inneren Beziehungen zwischen ihnen, wurde in [9], [14] erforscht. Im Ergebnis der durchgeführten Untersuchungen wurden die Bedingungen, bei denen eine Annäherung oder Entfernung

der partialen Eigenfrequenzen dieser Systeme möglich ist sowie die Parameterbereiche, die eine größere oder eine niedrigere Stufe ihrer Wechselwirkung bedingen, festgestellt. Außerdem wurde ein wesentlicher Einfluß der Größe und des Vorzeichens der Transmissionsverhältnisse des Schwenkgetriebes auf die Kopplung von СПИО und СПИО und auf die Belastung dieser Systeme sichtbar [15].

Die Erforschungen der dynamischen Parameter und der Belastungen des СМП der Kombine wurden in den Grubenverhältnissen unter Tage bei verschiedenen Arbeitsregimes durchgeführt.

Bei der Bewegung der Kombine im Leergang wurden die Ungleichmäßigkeit ihrer Geschwindigkeit und die Belastungen des СМП bei verschiedenen Längen des Zugorgans (Kette) und verschiedenen durchschnittlichen Vorschubgeschwindigkeiten [9] erforscht. Im Ergebnis der Analyse der erhaltenen Angaben wurden die Ursachen der selbsterregten Schwingungen bei der Bewegung der Kombine – nichtlineare kinetische Charakteristiken der Reibung der Kombinestützen auf dem Förderband festgestellt und der Einfluß der Parameter von СМП und СКГ auf die Entstehung der selbsterregten Schwingungen und die Gestaltung der dynamischen Niederfrequenzbelastungen in den Kraftsystemen der Kombine eingeschätzt [9], [16].

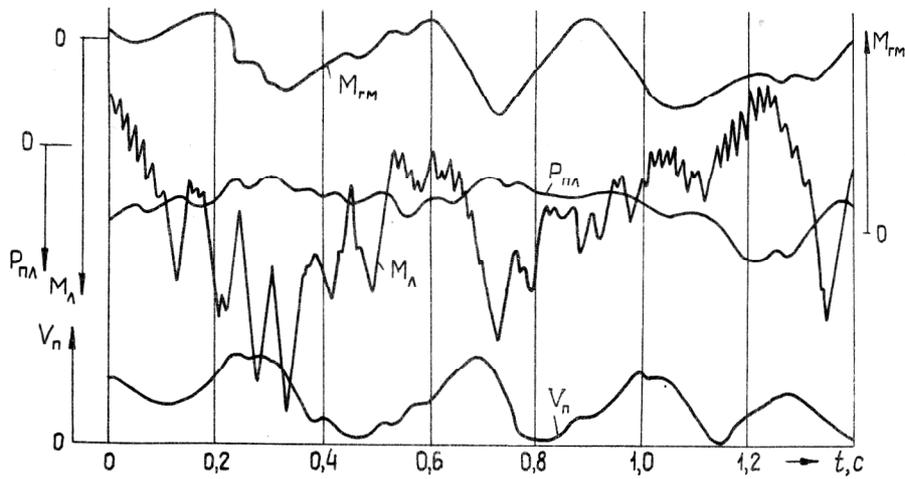
Die Gesetzmäßigkeiten der Gestaltung der dynamischen Belastungen in den Kraftsystemen der Kombine unter Berücksichtigung ihrer Wechselwirkung, bedingt durch die Erscheinung sowohl der inneren, als auch der äußeren Beziehungen, wurden durch die experimentell-statistische Methode bestimmt. Die Methodik der zu planenden Experimente bei der Arbeit der mit Meßeinrichtungen ausgestatteten Kombine sah Messungen und Registrierung folgender dynamischer Prozesse (Bild 2) vor.

Im СПИО:

- ΔU = der Abweichung von der Nennspannung des Speisernetzes;
- P_1, P_2 = der Leistungsaufnahmen an den Klemmen der Elektromotoren;
- i_1, i_2 = der Statorströme der Elektromotoren;
- s_1, s_2 = der Schlupfe der Elektromotoren;
- M_{II}, M_{I} = der Drehmomente in den Transmissionen der rechten und linken Arbeitsorgane;
- ω_{II}, ω_{I} = der Winkelgeschwindigkeiten der Arbeitsorganwellen;

Im СПИО:

- P_{III}, P_{III} = der Drücke der Arbeitsflüssigkeit des hydraulischen Hebers der Aufhängung des rechten Arbeitsorgans;
- Δl_{II} = der Nachgiebigkeit des hydraulischen Hebers der Aufhängung des rechten Arbeitsorgans;



$P_{\text{III}}, P_{\text{III}}$ = der Drücke der Arbeitsflüssigkeit im hydraulischen Heber der Aufhängung des linken Arbeitsorgans;

Δl_{II} = der Nachgiebigkeit des hydraulischen Hebers der Aufhängung des linken Arbeitsorgans;

Im CMI:

e_{H} = der Exzentrizität (Leistungsfähigkeit) der Pumpe;

$P_{\text{H}}, P_{\text{C}}$ = der Drücke der Arbeitsflüssigkeit in den Druck- und Abflußleitungen;

M_{rM} = des Drehmoments der Welle des Hydromotors;

Im CKT:

P_{II3} = des Druckes an den Kolbenflächen der hydraulischen Heber der Strebstützen;

V_{II} = der Geschwindigkeit der Bewegung der Kombine.

Die Meßapparatur gewährleistete eine einwandfreie Registrierung und die Kongruenz der Oszillogramme der zu erforschenden Prozesse²⁾ im Frequenzbereich 0...20 Hz. Auf Bild 4 werden als Beispiel einige typische Fragmente der Oszillogramme angeführt. Ihre Testprüfung hat gezeigt, daß man bei den festgelegten Arbeitsregimes der Kombine die zu untersuchenden Prozesse zu den zufälligen quasistationären Prozesse zählen und die Methoden der Korrelations- und Spektralanalysen für die Bestimmung ihrer statistischen Charakteristiken anwenden kann.

Für jeden Prozeß wurden mit einem EDV-Programm der Korrelations- und Spektralanalyse folgende Charakteristiken bestimmt: mathematische Erwartung, Verteilungsdichte, Dispersion, Autokorrelationsfunktion, Spektraldichte. Die Ergebnisse der Analyse der dynamischen Prozesse in den Kraftsystemen der Kombine in Verbindung mit den Angaben über die dynamischen

2) Bei der Erforschung der Dämpfungseinrichtungen wurden auch die reaktiven Momente in den elastischen Elementen der DE ($M_{\text{pII}}, M_{\text{pII}}$) und die Schwenkwinkel der Arbeitsorgane bezüglich ihrer Antriebswellen ($\varphi_{\text{II}}, \varphi_{\text{II}}$) gemessen.

Bild 4

Fragment der Oszillogramme der dynamischen Prozesse in den Kraftsystemen der Kombine bei der Kohlegewinnung mit der ständigen durchschnittlichen Vorschubgeschwindigkeit $\bar{V}_{\text{II}} = 4,2 \text{ m/min}$.

Eigenschaften der letzteren haben ermöglicht, die spektrale Zusammensetzung der dynamischen Belastungen in den einzelnen Systemen zu erklären und die Gesetzmäßigkeiten ihrer Gestaltung zu verstehen. So zeigte die Analyse der Spektraldichte der Drehmomente in den Transmissionen der Arbeitsorgane, daß ihr Spektrum durch das Vorhandensein zufälliger nieder- und hochfrequenter Schwingungskomponenten charakterisiert wird (Bild 5a). Die Dispersion der letzteren stellt einen wesentlichen Teil der gesamten Dispersion sowohl des Drehmoments, als auch der Winkelgeschwindigkeit der Arbeitsorganwelle dar (Bild 5b). Auf Bild 5 werden graphische Darstellungen der Einschätzungen der Spektraldichten der Belastungen der hydraulischen Heber des CIPO, der Belastungen des CMI und der Bewegungsgeschwindigkeit der Kombine angeführt, aus denen man die dominierende Rolle der Schwingungskomponenten niederer Frequenz in der spektralen Zusammensetzung der genannten Prozesse sieht. Das be-

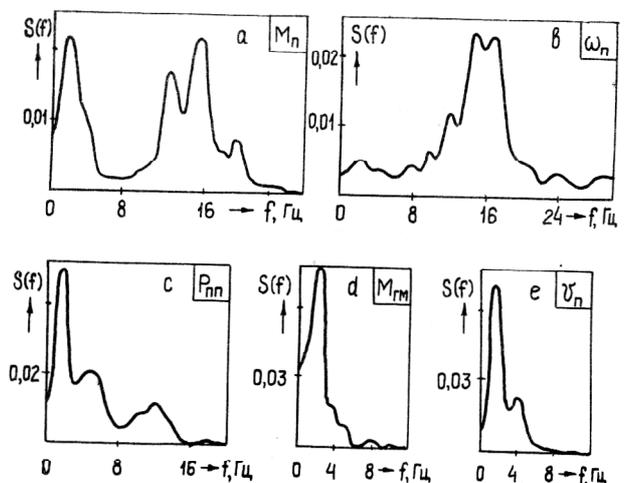


Bild 5

Einschätzungen der Spektraldichten der Prozesse: a) und b) – im CPIO, c) – im CIPO, d) – im CMI, e) – im CKT

zieht sich besonders auf die Prozesse im CKT und im CMII. Für die Erforschung der Wechselwirkungen zwischen den Kraftsystemen wurden mit einem speziell ausgearbeiteten Programm die gemeinsamen Frequenz- und Zeitcharakteristiken für die zufälligen Prozesse bestimmt, die synchron in den wechselwirkenden Systemen verlaufen. Gemäß dem Programmalgorithmus wurden für jedes Paar der zufälligen Prozesse die Schätzwerte bestimmt:

- der normierten gegenseitigen Korrelationsfunktion;
- der Synphasekomponente des gemeinsamen Spektrums;
- der Quadraturkomponente des gemeinsamen Spektrums;
- des gemeinsamen Amplitudenspektrums;
- des gemeinsamen Phasenspektrums;
- der Kohärenzfunktion.

Die graphischen Darstellungen der erhaltenen Kohärenzfunktionen, die die gegenseitige Korrelation der zufälligen Prozesse in den Kraftsystemen der Kombi charakterisieren, werden auf dem Bild 6 angeführt. Die Analyse der statistischen Charakteristiken der zu erforschenden Prozesse und die Ergebnisse der Untersuchung der dynamischen Eigenschaften der Kraftsysteme der Kombi ermöglichten es, folgende Schlussfolgerungen zu ziehen:

I. Dynamische Prozesse in СПНО, СПНО, СМII und CKT werden durch eine hohe Kohärenz ($\gamma^2 = 0,77 \dots 0,91$) der Schwingungskomponenten der niederen Frequenz 1...3 Hz gekennzeichnet. Die Entstehung der letzteren ist bedingt, erstens, durch kinematische Erregung aus den Schwingungen des Moments der Widerstandskräfte auf dem Arbeitsorgan mit einer Frequenz, die der Umlauffrequenz gleich ist oder ein ganzzahliges Vielfaches darstellt, und, zweitens, durch die selbsterregten Schwingungen bei der Bewegung der Kombi wegen der nichtlinearen Charakteristik der Reibungskräfte in den Stützen der Kombi auf das Förderband. Die hohe Kohärenz der Niederfrequenzkomponenten der dynamischen Prozesse in den Kraftsystemen wird in großem Maße durch das Vorhandensein der äußeren Rückwirkungen zwischen ihnen erklärt und gestattet es, in einer Reihe von Fällen die in СПНО, СПНО und СМII auftretenden Schwingungen der Niederfrequenz als erzwungen zu betrachten. Das ermöglicht, das mathematische Modell des Systems „Kombi-Streb“ zu vereinfachen. Man hält es für offen und legt an seinen Eingang „die äußere Belastung“ an, die der nicht unmittelbar zu berücksichtigenden äußeren Beziehung entspricht.

II. Die Hochfrequenzkomponenten (13...16 Hz) des Spektrums des Drehmoments in der Transmission des СПНО haben den Charakter stochastischer Drehschwingungen und können als engbandiger zufälliger Prozeß mit der Korrelationsfunktion von Typ

$$K_M(\tau) = \sigma_y^2 e^{-\alpha\tau} \cos \omega_y \tau + \sigma_B^2 \cos \omega_B \tau$$

und der relativen Disperison interpretiert werden, die von 35 bis 70 % der gesamten Dispersion des Prozesses beträgt. Es ist festgestellt worden, daß die Frequenzen dieser Schwingungen praktisch mit den Eigenfrequenzen des mechanischen Teils des СПНО übereinstimmen

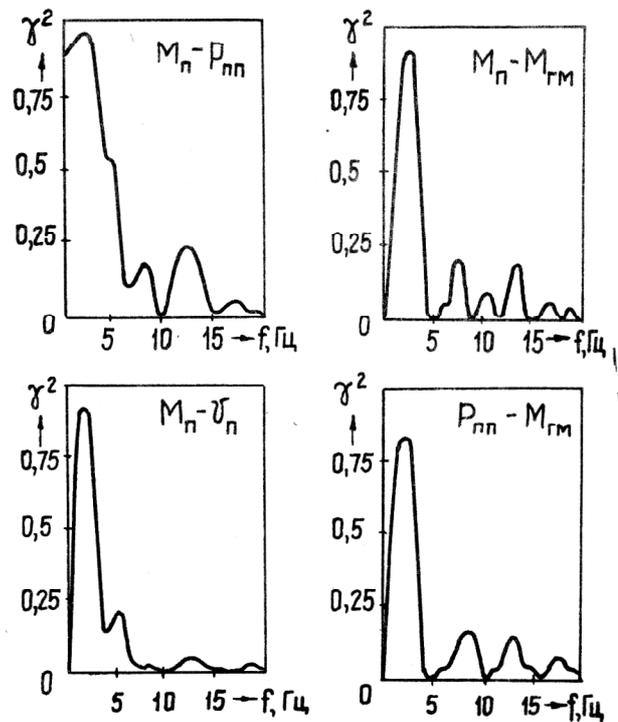


Bild 6
Kohärenzfunktion der dynamischen Prozesse in den wechselwirkenden Kraftsystemen der Kombi

men und die Gesetzmäßigkeiten ihrer Entstehung nicht nur durch das Vorhandensein des zufälligen Prozesses vom Typ des weißen Rauschens endlicher Leistung im Spektrum der äußeren Belastung, sondern auch der Schwingungskomponenten derselben Frequenz bedingt werden (Bild 5b). Im schwach gedämpften elastischen System kann man solche Schwingungen, die von der Bewegung des Systems selbst stammen, als Autoresonanz betrachten, d. h. als selbsterregte Drehschwingungen, die durch die äußere Belastung erregt und auf Kosten der inneren Energiequelle (des Motors) unterstützt werden.

III. Die statistische Korrelation zwischen Hochfrequenzkomponenten der dynamischen Prozesse werden in den zu betrachtenden Systemen im wesentlichen (Bild 6) durch relativ kleine Werte der Kohärenzfunktionen charakterisiert. Zugleich werden die engbandigen zufälligen Komponenten im СПНО mit relativer Dispersion 0,3...0,4 durch die Wechselwirkung der letzteren im Frequenzbereich 9...13 Hz mit dem СПНО und im Frequenzbereich 4,5...6,5 Hz mit dem CKT bedingt. Das wird durch die Folgen der inneren und äußeren Bindungen erklärt.

Die festgestellten Gesetzmäßigkeiten der Entstehung der dynamischen Belastungen in den Kraftsystemen der Kombi gestattet es, begründete Empfehlungen für die Schaffung der Mittel zur Senkung ihrer dynamischen Belastung auszuarbeiten [9], [17].

Die Abnahme der Dispersion niederer Frequenz der dynamischen Belastungen kann durch die Steigerung der Gleichmäßigkeit der Vorschubgeschwindigkeit der Kombines, z. B. durch die Anwendung kettenloser Vorschubmechanismen und auch durch Kraftausgleich in den

Arbeitsorganen erreicht werden, der die kinematische Erregung wesentlich senkt oder ganz ausschließt. Für die Senkung der zufälligen Schwingungsbelastungen hoher Frequenz im ЦИИО hat die Donezker Polytechnische Hochschule zusammen mit dem Maschinenbauwerk Gorlowka „S. M. Kirow“ die Dämpfungseinrichtungen (DE) vom Elasto-Frictions-Typ für die Arbeitsorgane der Kombine ausgearbeitet.³⁾ Die Untersuchung und Erprobung der DE haben gezeigt, daß ihre Anwendung es gestattet, den Variationskoeffizienten des Drehmoments in der Transmission auf den 1,4...1,8ten Teil (Kurve 2, Bild 1) und das Niveau der maximalen Belastungen um 20...25% zu senken [18], [19].

Die Senkung der dynamischen Belastungen im Antriebssystem der Arbeitsorgane gewährleistet die Steigerung der Zuverlässigkeit aller seiner Elemente: der Motoren, Transmissionen, des Arbeitsorgans, des Schneidwerkzeuges und folglich der ganzen Kombine. Die quantitativen Einschätzungen der Verbesserung der Zuverlässigkeit kann man bei bekannten Gesetzen der Belastungsverteilung und der Kennwerte der Werkstofffestigkeit der Maschinenteile bei Verwendung des Modells „Belastung – Tragfähigkeit“ erhalten. Bei dem für die Abbaukombines kennzeichnenden normalen Gesetz der Belastungsverteilung, den Normalverteilungen der Widerstandskraftgrenze und der Fließgrenze der Stähle, aus denen die Teile für die Transmission und andere Elemente hergestellt werden, sowie bei der Exponentialfunktion der Ermüdung kann man die Wahrscheinlichkeit ihrer einwandfreien Arbeit laut [20] wie folgt finden:

$$R = \frac{1}{2\pi} \int_{z_0}^{\infty} e^{-z^2/2} dz = 1 - \Phi \left(\frac{n-1}{\sqrt{\nu_s^2 n^2 + \nu_M^2}} \right), \quad (2)$$

und die Wahrscheinlichkeit des Bruchversagens im beliebigen Zeitmoment, beginnend von der Wirkung der maximalen Belastung [21]

$$P_0 = 0,5 - \Phi \left(\frac{n-1}{\sqrt{\nu_s^2 n^2 + \nu_M^2}} \right). \quad (3)$$

In den Formeln (2) und (3) sind $n = \frac{\mu_s}{\mu_M}$ der Sicherheitsgrad,

$\nu_M = \frac{\sigma_M}{\mu_M}$, $\nu_s = \frac{\sigma_s}{\mu_s}$ die Variationskoeffizienten der Belastung und der Tragfähigkeit, σ_M , σ_s die Streuungen der Belastung und der Tragfähigkeit, μ_M , μ_s die mathematischen Erwartungen der Belastungswerte (Spannung) und der Tragfähigkeit (Festigkeit).

Aus auf dem Bild 7 angeführten Darstellungen, die nach (3) konstruiert wurden, sieht man eine wesentliche Abhängigkeit der Versagenswahrscheinlichkeit von der Größe des Variationskoeffizienten der Belastung, be-

3) A.C.588366 (UdSSR) Ausführungsorgan der Bergbaumaschine (Donezker polytechnische Hochschule, Autoren der Erfindung: W. G. Guljaew, F. W. Kostjukewitsch, P. A. Gorbатов, G. W. Malejew, W. A. Jurgilewitsch u. a.) Gemeldet 20. 09. 72, N 1829926/22-03; Veröffentl. in B.I., 1978, N 2, MKI E 21 C 25/04.

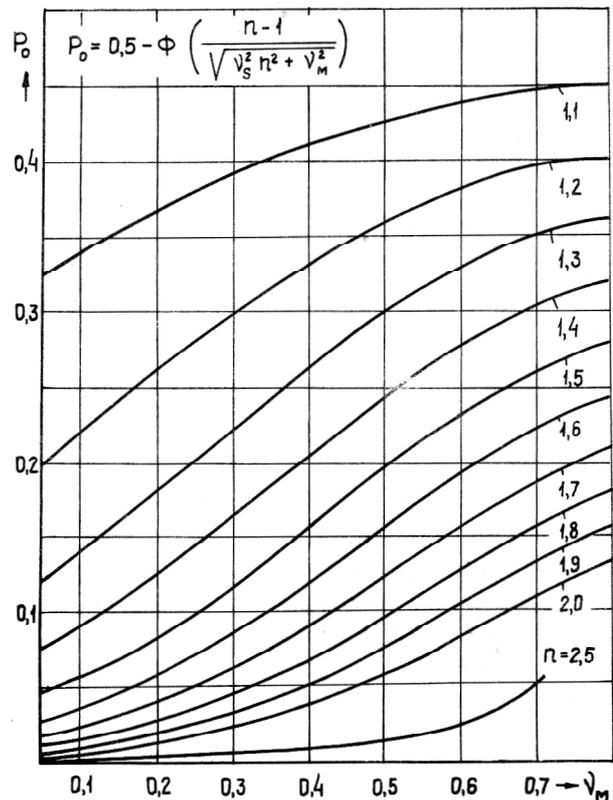


Bild 7
Abhängigkeit der Versagenswahrscheinlichkeit der Elemente des ЦИИО der Kombine vom Variationskoeffizienten der Belastung bei verschiedenen Sicherheitsgraden ($\nu_s = 0,2$)

sonders bei den Sicherheitsgraden 1,2...1,8. So entspricht z. B. für die Teile mit $n = 1,3$ der Verminderung des Variationskoeffizienten der Belastung auf den 1,4...1,8ten Teil eine Senkung der Wahrscheinlichkeit ihres Bruchs um 22...42% (ohne Berücksichtigung der Senkung des Niveaus der Extrabelastung).

Die Steigerung der Lebensdauer und des Verschleißwiderstandes der Teile der Transmission wegen der Verminderung des Variationskoeffizienten des Drehmoments wird durch die Senkung der äquivalenten Berechnungslastung erklärt, was bei den konstanten Sicherheitsgraden gestattet, die Anzahl der Belastungszyklen und damit die Berechnungslebensdauer zu verlängern.

Die theoretischen Ermittlungen über den Einfluß des Variationskoeffizienten der Belastung auf die Zuverlässigkeit, Lebensdauer und den Verschleißwiderstand der Teile des ЦИИО wurden durch die Ergebnisse der Betriebsprüfungen der Versuchsmuster von Arbeitsorganen mit den DE bestätigt. So z. B. gestattete die Anwendung der DE in den Schneckenorganen der Kombines I ГИИ-68 unter schweren Arbeitsverhältnissen in der Kohlengrube „Glubokaja“ den Schneidezahnverbrauch auf den 1,4...2,2ten Teil hauptsächlich durch Verminderung ihres Bruchs zu senken, die Lebensdauer der Arbeitsorgane um 1,5...1,7 mal zu erhöhen, die Verfügbarkeit der Kombine auf Kosten der Verminderung der Anzahl der Versager zu erhöhen, den Koeffizienten der Maschinenzeit und die 3schichtige Kohlenförderung aus dem Streb um 10% zu steigern [22].

Wie die Untersuchungen und Erprobungen zeigten, sichert die Anwendung der DE im ЦППО auch einigermaßen die Senkung der dynamischen Belastungen in anderen Kraftsystemen der Kombine, kann jedoch nicht völlig die Schwingungen der Schwenkgetriebe des ЦППО und die Schwingungen des CKT ausschließen, die von der Entstehung bedeutender dynamischer Belastungen in diesen Systemen begleitet werden. Unter Berücksichtigung der dynamischen Eigenschaften der genannten Systeme und der Besonderheiten der Entstehung der dynamischen Belastungen in ihnen wurden die DE für das ЦППО⁴⁾ und das CKT ausgearbeitet und geprüft [17], [23]. Die Ergebnisse der tensometrischen Untersuchungen und Erprobungen von Versuchsmustern der DE im ЦППО in der Kohlengrube und der Versuchsmuster der DE im ЦППО und im CKT haben die Arbeitsfähigkeit und die Effektivität der ausgearbeiteten DE bestätigt [17], [19], [22], [23].

Die Komplextoptimierung der dynamischen Eigenschaften aller Kraftsysteme der Kombine durch die DE muß unter Berücksichtigung der Wechselwirkung der Kraftsysteme verwirklicht werden, damit die in jedes System eingebaute DE die dynamischen Eigenschaften nicht nur eines gegebenen Systems, sondern auch aller Systeme der ganzen Kombine verbessert. Die Lösung dieser Aufgabe ist durch die Methode des mathematischen Modells zweckmäßig. Bei der Ausarbeitung des mathematischen Modells wurden die erhaltenen Gesetzmäßigkeiten der Wechselwirkung der Kraftsysteme und auch die methodischen Gegebenheiten, die in den Arbeiten [8], [28] dargelegt sind, berücksichtigt.

Das ausgearbeitete Modell der Kombine schließt die miteinander wechselwirkende ЦППО, ЦППО und CKT mit den DE in sich ein [24]. Die äußere Belastung wird als Superposition eines stationären zufälligen Prozesses mit der Korrelationsfunktion $K(\tau) = De^{-\alpha\tau}$ und einer harmonischen Komponente mit einer Frequenz, die der doppelten Drehfrequenz des Arbeitsorgans gleich ist, angenommen.

Bei der Lösung der Optimierungsaufgabe für die dynamischen Eigenschaften der Kombine sind als Qualitätskriterien folgende Dispersionen vorgegeben: die des Drehmoments in der Transmission des ЦППО des elektromagnetischen Moments des Motors, der Belastungen im ЦППО und der Belastungen in den Stützen der Kombine [25]. Die ersten 3 Kriterien gehören zum vorgehenden, am meisten belasteten Arbeitsorgan. Die dynamische Belastung des CKT wurde als die Summe der Dispersionen der Belastungen in den Stützen der Kombine angesetzt.

Als zu optimierende Parameter wurden angenommen: die auf die Kombiwellen bezogene Drehsteifigkeit und der Aperiodizitätsfaktor des mechanischen Teils des ЦППО mit der DE; der auf die Drehschwingungen bezogene Dämpfungskoeffizient der DE im ЦППО,

4) A.C.735767 (UdSSR). Einrichtung für die Lageregelung des Ausführungsorgans der Abbaukombines (Donezker polytechnische Hochschule). Autoren der Erfindung: W. G. Guljaew, W. P. Kondrachin, F. W. Kostjukewitsch, P. A. Gorbatow, N. M. Lyssenko, W. A. Jurgilewitsch u. a. Gemeldet 03.04.78, N 2597961/22-03; veröffentl. in BI., 1980, N 19, MKI E 21 C 27/02.

die Größe der DE-Anlage und die Flüssigkeitsmasse in ihren Kanälen; die Steifigkeit und die Dämpfung der Stützen des CKT der Kombine.

Die parametrischen Einschränkungen wurden als Grenzwerte des Variationsbereiches jedes zu optimierenden Parameters eingeführt, ausgehend aus der Möglichkeit ihrer konstruktiven und technischen Realisierung. Außerdem wurden als Einschränkungen die Dispersionen der senkrechten Bewegungen der Drehachse des Arbeitsorgans und seine Schwingungen bezüglich der Antriebswelle, die den Einfluß der äußeren Rückwirkung auf die äußere Belastung kennzeichnen, betrachtet [10], [25].

Eine gleichzeitige Minimierung der gewählten Qualitätskriterien ist wegen ihres teilweisen Antagonismus in der Regel unmöglich. Darum wurde für die Lösung der mehrparametrischen Optimierungsaufgabe dynamischer Eigenschaften der Kombine die Methode der Kompromißlösung auf der Grundlage des Modellexperiments (auf der EDVA EC 1022) mit Hilfe von ЦППО-Netzen [26], [27] angewendet. Die Analyse der erhaltenen Ergebnisse hat gezeigt, daß man die Dispersionen der dynamischen Belastungen durch die Optimierung der dynamischen Eigenschaften der Kombine vom Typ ГГП-68 durch die DE senken kann: in der Transmission des ЦППО auf den 1,9...2,7ten Teil, in den Elektromotoren auf den 1,2ten Teil, im ЦППО auf den 1,3...1,5ten Teil, im CKT auf den 1,2...1,7ten Teil. Jedoch kann eine ungünstige Auswahl der Kombinationen von Parametern der Dämpfungseinrichtung gleichzeitig zu einer Senkung der dynamischen Belastungen in einem System und zur Steigerung der dynamischen Belastung anderer Systeme führen.

Somit gestatten die ausgearbeiteten wissenschaftlichen Grundlagen der Untersuchung und der komplexen Optimierung der dynamischen Eigenschaften von Bergbaukombines im Stadium ihrer Projektierung solche optimalen Parameter begründet zu wählen, welche eine wesentliche Senkung der dynamischen Belastung der Kraftsysteme der Kombines und die Steigerung ihrer Zuverlässigkeit, Lebensdauer und Leistungsfähigkeit gewährleisten.

5. Zusammenfassung

1. Der Betrieb von Bergbaukombines mit hoher Antriebsleistung und mit unvollkommenen dynamischen Eigenschaften in schweren Bergbauverhältnissen wird von einer hohen dynamischen Belastung und der Senkung ihrer Zuverlässigkeit begleitet.

2. Es ist zweckmäßig, die Erforschung der dynamischen Eigenschaften der modernen Bergbaukombines und der Gesetzmäßigkeiten der Entstehung der Arbeitsbelastungen auf der Methodik zu gründen, die eine maximale Berücksichtigung der Wechselwirkungen zwischen den Teilsystemen der Kombines sichert.

3. Die effektiven Methoden zur Untersuchung der Gesetzmäßigkeiten dynamischer Belastungen in den Kraftsystemen und ihrer Wechselwirkung sind, erstens, die Bestimmung der gemeinsamen Frequenz- und Zeitcharakteristiken der Prozesse, die in den wechselwir-

kenden Systemen verlaufen und, zweitens, die spektrale Analyse dieser Prozesse.

4. Die Ausarbeitung der effektiven Mittel zur Senkung der dynamischen Belastung von Kraftsystemen der Kombine ist auf der Grundlage des Vorstudiums ihrer dynamischen Eigenschaften und der Entstehungsur-sachen aller Komponenten des Spektrums der Arbeitsbelastungen möglich. Diese Aufgabe ist durch Kombination experimentell-statistischer Untersuchungen der Originalmaschinen und ihrer mathematischen Modellierung zu lösen.

5. Einer der effektiven Wege zur Steigerung der Zuverlässigkeit und Lebensdauer der Bergbaukombines ist die Anwendung der von der Donezker Polytechnischen Hochschule und dem Maschinenbaubetrieb S. M. Kirow ausgearbeiteten Dämpfungseinrichtungen, die eine wesentliche Senkung der dynamischen Belastung der Kraftsysteme der Kombines sichern.

6. Es ist zweckmäßig, die komplexe Optimierung der dynamischen Eigenschaften der Kombine im Stadium der Projektierung auf der Grundlage der an der Donezker Polytechnischen Hochschule ausgearbeiteten Modelle der Kombines mit den Dämpfungseinrichtungen in den Kraftsystemen durch die Methode des Suchens von Kompromißlösungen der mehrparametrischen Optimierungsaufgabe durchzuführen.

7. Die ausgearbeiteten wissenschaftlichen Grundlagen der Erforschung und der komplexen Optimierung der dynamischen Eigenschaften der Kombines mit dem Ziel der Steigerung ihrer Zuverlässigkeit und Lebensdauer können bei der Lösung ähnlicher Probleme auch an anderen Maschinen bei zufälligen und determinierten Belastungen verwendet werden.

LITERATUR

- [1] Komplexmechanisierung und Automatisierung der Abbauarbeiten in den Kohlengruben. Red. B. F. Bratschenko, „Nedra“, M., 1977, S. 416.
- [2] Ton W. W.: Grundrichtungen der Schaffung von Werkzeugen und Ausführungsorganen für den Abbau der Kohlenflöze der komplizierten Struktur. Im Sammelband „Mechanisierung und Automatisierung des Kohlen- und Schieferabbaus unter Tage.“ „Nautschnije soobtschenija A. A. Skotschinski-IGD“. 1974, M., 1973, S. 39 ... 44.
- [3] Guljaew W. G., Kostjukewitsch F. W., Gorbatow P. A.: Erforschung der Belastungen in den Maschinenteilengruppen der 2motorigen Kombine IГIII-68. Im Sammelband „Gornije mashiny i awtomatika“, ZNIEI-ugol, M., 1974, N 3, S. 6 ... 8.
- [4] Dusman A. R.: Bestimmung der Parameter der dynamischen Belastung des Antriebs der im Schieferstreb arbeitenden Abbaukombinen. Im Sammelband „Gornije slanzy“, Institut der Information der ESSR, 1974, N 4.
- [5] Guljaew W. G.: Über die Formierung der maximalen Höchstbelastungen im System des Antriebs der 2motorigen Kombine. Im Sammelband „Razrobotka mjestoroshdenij poleznich iskopajemych“, Verlag „Technika“, Kiew, 1976, 44, S. 93 ... 97.
- [6] Konowalow W. I., Kostjukewitsch F. W., Borowizki A. N., Guljaew W. G. u. a.: Einige Forschungsergebnisse an den Kombinen vom Typ IK-52 sch. Im Sammelband „Gornaja elektromechanika i awtomatika“, Verlag Char-kower Universität, 1969, 12, S. 41 ... 44.

- [7] Dynamische Prozesse der Bergbaumaschinen. „Nauka“, M., 1972, S. 150. Aut.: A. W. Dokukin, J. D. Krasnikow, S. J. Churgin u. a.
- [8] Dokukin A. W., Krasnikow J. D., Churgin S. J.: Statistische Dynamik der Bergbaumaschinen. Verlag „Maschinostrojenije“, M., 1978, S. 239.
- [9] Guljaew W. G.: Ausarbeitung und Erforschung der Dämpfungseinrichtung für die Senkung der dynamischen Belastungen im System des Antriebs der Ausführungsorgane der Kombine vom Typ IГIII-68:Berichterstattung der DPH. N GR74057676; Inv. N B475877, Donezk, 1975, S. 305.
- [10] Guljaew W. G., Gorbatow P. A. u. a.: Einige Gesetzmäßigkeiten der Formierung der dynamischen Belastungen in den wechschwirkenden Systemen der Kohlenkombinen. Verlag „Iswestija wusow“. „Gornij shurnal“, 1976, N 11, S. 107 bis 110.
- [11] Guljaew W. G., Gorbatow P. A., Lyssenko N. M.: Einige Fragen zur Dynamik des elektromechanischen Systems des 2-motorigen Antriebs der Ausführungsorgane der Kohlenkombine I ГIII-68. Isw. wusow. „Elektromechanika“, 1976, N 5, S. 553-558.
- [12] Guljaew W. G., Gorbatow P. A., Kondrachin W. P.: Forschungen des nichtlinearen dynamischen Modells des Systems der Aufhängung und der Regelung der Lage von Ausführungsorganen der Schneckenkombinen. Isw. wusow. „Gornij shurnal“, 1977, N 6, S. 91 bis 96.
- [13] Guljaew W. G., Gorbatow P. A., Kondrachin B. P., Lyssenko N. M. Besonderheiten der Planung des Experiments für die Bestimmung der dissipativen Eigenschaften der Systeme der Aufhängung der Abbaukombinenschnecken. Im Sammelband „Razrobotka mjestoroshdenij poleznich iskopajemych“, 1979, 52, S. 105 bis 108.
- [14] Guljaew W. G., Kondrachin W. P., Lyssenko N. M.: Freie Schwingungen des verbundenen Dreh- und Schwenk-systems der Kohlenkombine. Im Sammelband „Razrobotka mjestoroshdenij poleznich iskopajemych“, Verlag „Technika“, Kiew, 1976, S. 96 - 103.
- [15] Guljaew W. G., Gorbatow P. A., Kondrachin W. P.: Einfluß der Transmissionsbeziehung des Schwenkreduktors der Schneckenkombine auf die Belastung ihrer Kraftsysteme. Isw. wusow. „Gornij shurnal“, 1980, N 10, S. 71 bis 77.
- [16] Guljaew W. G., Kostjukewitsch F. W.: Dynamik des Maschinenaggregats mit dem hydraulischen Variator der Geschwindigkeit. „Thesen des Vortrags auf der 5. All-unioniskonferenz zu Fragen der Variation und Transmissionen mit einer elastischen Verbindung. Odessa, 1976.
- [17] Guljaew W. G.: Ausarbeitung und Aneignung der Mittel der Senkung der dynamischen Belastungen in den Kraftsystemen der Kohlenkombinen (Typ IГIII-68). Berichterstattung der DPH, N GR 78018829, Inv. N B 829710, Donezk, 1979. B. 1, S. 153; B. 2, S. 223.
- [18] Guljaew W. G., Kostjukewitsch F. W., Gorbatow P. A., Lyssenko N. M. Forschungen der Dämpfungseinrichtung im System des Antriebs der Ausführungsorgane der Kombinen. Im Sammelband „Gornije mashiny i awtomatika“, ZNISI-ugol, 1976, N 10, S. 42 bis 48.
- [19] Guljaew W. G., Kostjukewitsch F. W., Gorbatow P. A.: Forschung und Prüfung der Dämpfungseinrichtungen im System des Antriebs der Kohlenkombine. Z. „Ugol Ukraini“, 1977, N 5, S. 26 bis 27.
- [20] Kapur K., Lamberson L.: Zuverlässigkeit und Projektierung der Systeme. Verlag „Mir“, M., 1980, S. 150.
- [21] Ostreikowski W. A.: Mehrfaktorenprüfungen auf die Zuverlässigkeit. Verlag „Energija“, 1978, S. 150.
- [22] Guljaew W. G., Gorbatow P. A., Kostjukewitsch F. W. u. a.: Erfahrungen der Arbeit der Kombinen IГIII-68, Erhöhung ihrer Zuverlässigkeit und Effektivität. Z. „Ugol ukraini“, 1979, 6, S. 21 bis 23.
- [23] Guljaew W. G., Gorbatow P. A., Kondrachin W. P., Motin N. N.: Grubenforschungen der Dämpfungseinrichtung im System der Aufhängung und der Regelung der Lage des Ausführungsorgans der Abbaukombine. Im Sammelband „Ugolnoje maschinostrojenije“, ZNISI-ugol, 1980, n 1.

- [24] Guljaew W. G., Gorbatow P. A. u. a.: Forschung der dynamischen Eigenschaften und Belastungen der Abbaukombine mit den Dämpfungseinrichtungen durch die Methode der mathematischen Modellierung. *Isw. wusow. „Gornij shurnal“*, 1981, N 8.
- [25] Guljaew W. G., Gorbatow P. A., Kondrachin W. P.: Optimierung der dynamischen Eigenschaften der Abbaukombines durch die Dämpfungseinrichtungen in Kraftsystemen. *Isw. wusow. „Gornij shurnal“*, 1981, N 5.
- [26] Artobolewski I. I., Genkin M. D., Kreinin G. W., Sergejew W. I., Statnikow R. W.: Nachforschung der Kompromißlösung bei der Auswahl der Parameter von Maschinen. Vorträge der Akademie der Wissensch. der UdSSR, „Mechanika“, 1974, B. 219, N 1, S. 53 – 58.
- [27] Sobol I. M., Statnikow R. W. $\text{ЖИИ } \tau$ – Nachforschung und die Aufgaben der optimalen Konstruierung. Im Sammelband „Probleme der zufälligen Nachforschung“. B.1, Riga, „Snanija“, 1972, S. 117 – 136.
- [28] Ignatjew A. D., Churgin S. J., Sartkasijew B. E.: Methodik der Auswahl der optimalen Parameter der dynamischen Systeme der Schmalabbaukombines auf der EDVM. A. A. Skotschinski-IGD, M., 1970, S. 20.

Anschrift des Verfassers:
 Doz. Dr.-Ing. W. G. Guljaew
 Polytechnisches Institut, Lehrstuhl Bergbau-
 maschinen
 Donezk, Artjomstraße 58