

Режимы работы
комбайнов
для добычи
калийных руд



МОСКВА «НЕДРА» 1978

Режимы работы комбайнов для добычи калийных руд. М., «Недра», 1978 г., с. 216. Авт.: В. А. Бреннер, И. С. Зильберт, В. А. Зыков и др.

В книге приведены результаты исследований влияния различных факторов на эксплуатационные свойства комбайнов для камерной выемки калийных руд. Выполненное системное исследование является первой попыткой научного обоснования оптимизации и выбора параметров проходческих комбайнов, исходя из свойств калийной руды как объекта разрушения, особенностей компоновочных схем комбайнов, режимов работы исполнительных органов и работы электропривода при случайном характере возмущающих воздействий. Дана комплексная оценка комбайнов различных типов для очистной выемки калийных руд.

Книга предназначена для инженеров-эксплуатационников и сотрудников научно-исследовательских и проектных институтов, занимающихся вопросами механизации добычи полезных ископаемых или проходки выработок в калийных рудниках и рудниках, сходных по условиям, а также для работников других отраслей горнодобывающей промышленности.

Табл. 83, ил. 62, список лит. — 172 назв.

Авторы: В. А. Бреннер, И. С. Зильберт, В. А. Зыков, Д. М. Любоцинский.

Все возрастающая потребность в минеральных удобрениях обуславливает быстрое развитие калийной промышленности. Рост добычи калийного сырья, осуществляемой только подземным способом, виден из данных табл. 1.

Развитие калийной промышленности кроме абсолютного роста добычи руды характеризуется прогрессирующим приростом. Так, с 1958 по 1969 г. среднегодовой прирост составил около 1,8 млн. т, с 1969 по 1975 г. — более 3,6 млн. т, а на 1975—1980 гг. планируется примерно 5,4 млн. т.

Постоянно увеличивается доля комбайновой выемки и проходки, данные приведены в табл. 2.

За истекшее пятилетие объем машинной добычи по объединениям «Уралкалий» и «Белорускалий» увеличился соответственно в 1,67 и 1,2 раза.

В табл. 3 приведены номенклатура применяемых в отрасли комбайнов и данные их средней производительности за 1972 г., предшествующий началу промышленного внедрения основных рекомендаций данной работы.

Из данных табл. 3 видно, что в 1972 г. находились в промышленной эксплуатации 175 комбайнов семи различных типов, причем основной объем работ в объединении «Белорускалий» выполнялся комбайнами ШБМ и ПК-8, а в объединении «Уралкалий» — комбайнами «Караганда-7/15С» и ПК-8. Средняя нагрузка на один комбайн изменялась в довольно широких пределах. Причем производительность однотипных машин, как правило, в объединении «Уралкалий» меньше, чем в объединении «Белорускалий». Рекордные показатели, достигнутые в объединении «Уралкалий», были также ниже [1].

Применяемые в настоящее время в калийной промышленности комбайны недостаточно отвечают предъявляемым требованиям, особенно надежности и долговечности, так как их главные параметры принимались в основном из опыта угольной промышленности. Некоторое влияние на конструкцию отечественных машин оказал также зарубежный опыт, который иногда использовался без достаточного анализа.

Положение, оправданное в период становления отрасли, при дальнейшем ее развитии может привести к нерациональному ис-

Таблица 1

Объединение	Добыча руды, млн. т			
	1958 г.	1969 г.	1975 г.	1980 г.
«Уралкалий»	5,77	9,08	27,8	51—53
«Белорускалий»	—	12,50	25,8	30—35
Прочие предприятия	1,05	4,58	3,8	5
Итого	6,82	26,16	57,4	86—93

Таблица 2

Объединение	Объем машинной добычи, %					
	1971 г.	1972 г.	1973 г.	1974 г.	1975 г.	1976 г.
«Уралкалий»	43	55	59	64	70	72
«Белорускалий»	79	88	89	91	95	92
(в том числе добыча из длинных забоев)	—	0,3	2,6	5,7	8,7	11,3

Таблица 3

Комбайн	«Белорускалий»			«Уралкалий»		
	Среднее число в работе	Средняя месячная добыча, тыс. т	Удельный вес в общей добыче, %	Среднее число в работе	Средняя месячная добыча, тыс. т	Удельный вес в общей добыче, %
ШБМ	62	12,3	41,3	4,7	7,6	2,7
ПК-8	39	15,5	33,5	24,7	13,15	22,3
ПК-10	8	22,7	9,7	—	—	—
«Караганда 7/15С»	1 (10 м ²)	7,5	0,3	34 (17 м ²)	11,7	29,7
2ВТ-6	2	13,1	1,0	—	—	—
6РМ-2В	3	7,25	1,1	1	4,2	0,2
Прочие	—	—	1,2	—	—	0,7
БВР	—	—	11,0	—	—	44,6

пользованию средств на приобретение и эксплуатацию комбайнов и отрицательно сказаться на их эффективности.

Для создания машин, в большей мере учитывающих особенности калийных месторождений, в первую очередь необходимо детально, используя современные методы исследования и анализа, изучить горный комбайн как основное звено технологических

комплексов, применяемых на очистных или подготовительных работах, и первое звено в общей технологической цепи производства конечного продукта.

Работа горного комбайна в целом и его исполнительного органа с электроприводом является сложным многофакторным процессом. При этом эффективность работы значительно зависит от сопротивляемости пород забоя и изменчивости их свойств в пространстве, способа и схемы разрушения забоя, характеристики и режима работы привода [2—5]. Сопротивляемость и изменчивость пород определяют величину и характер загруженности электропривода комбайнов. Однако комплекс этих вопросов в отношении калийных руд изучен еще недостаточно, нет надежных данных о возможной производительности комбайнов по машинному времени и зависимости производительности от свойств разрушаемого забоя. Отсутствие таких данных затрудняет сравнение конструкций используемых комбайнов и совершенствование их конструкций, препятствует обоснованному установлению их возможной области и объемов применения.

Работа исполнительного органа существенно зависит от системы привода подающей части, скорости подачи и ее изменчивости, способа погрузки горной массы. Комбайн в целом, кроме того, характеризуется: диапазоном изменения и формой сечений проходимых выработок; ремонтпригодностью; показателями надежности и долговечности; удобством и безопасностью обслуживания. Кроме технических факторов в общую оценку свойств машины входят экономические и организационные факторы (цена машины и соответствие ее основных параметров характеристике работающих в комплексе с ней механизмов и принятой схеме организации работ).

При множестве влияющих факторов достаточно полная характеристика горной машины может быть получена только при их совокупном изучении. А так как большинство из этих факторов исследовалось по различным методикам и анализировалось раздельно, то общий характер работы комбайнов, эксплуатируемых в калийной промышленности, остается неполным. Например, анализ результатов электрических измерений работы выемочной машины принятыми в настоящее время методами (без учета свойств разрушаемой среды и ее изменчивости) не позволяет определить место машины среди аналогичных ей по назначению и однозначно установить скорость подачи (производительность) машин, принимая во внимание большинство влияющих факторов. Полное описание режима работы комбайна затрудняется еще и тем, что сопротивляемость забоя — основной фактор, определяющий скорость подачи, как и сам процесс резания, имеет случайный характер. Поэтому их производные — скорость подачи, нагрузка двигателя и др. — также случайны [3, 6, 78].

Достоверные данные могут быть получены лишь при тщательном планировании эксперимента, особенно для сред со случай-

ными свойствами, и при необходимом количестве измерений, с установлением их длительности при различной изменчивости процессов.

Поэтому в условиях горно-химической промышленности, где внедрение комбайнов для механизации выемки в камерах и проходки выработок началось в промышленных масштабах значительно позже, чем в угольной, сравнительных данных по работоспособности комбайнов и режимам их работы в различных горно-технических условиях еще мало. По существу эти материалы по комбайнам, эксплуатируемым в условиях калийных рудников, ограничиваются работами [1, 4, 9—27].

Исследование статистических связей между основными параметрами, определяющими эксплуатационные качества комбайнов проходческого типа для горно-химической промышленности, и определение их рациональных значений или сочетаний в настоящей работе выполнено на основе методических принципов системного анализа [28]. Применительно к рассматриваемому случаю реакция моделируемой системы \bar{R} в общем виде может быть представлена как множество

$$\bar{R} = (x_1 \dots x_n, y_1 \dots y_n, z_1 \dots z_n, v_1 \dots v_n) \in x^n y^m z^k v^c,$$

составленное из подсистем, в которых основными качественными характеристиками являются: $x_1 \dots x_n$ — сопротивляемость калийных руд резанию и ее изменчивость; $y_1 \dots y_n$ — типы комбайнов, их исполнительных органов, энерговооруженность, параметры энергообеспечения, способы погрузки горной массы; $z_1 \dots z_n$ — механические характеристики двигателей и внешней нагрузки, уровень устойчивой (допустимой средней) мощности, тепловой режим и система привода; $v_1 \dots v_n$ — техническая производительность и экономически выгодный уровень производительности.

Учитывая различную степень влияния этих параметров на эксплуатационные свойства комбайнов, в качестве критерия оптимальности множества \bar{R} принимали обобщенный уровень качества конкретных типов комбайнов по частным и групповым показателям, весомость которых определялась методом экспертной оценки. При определении обобщенного уровня качества учитывалось также влияние рационального объема применения конкретных типов комбайнов.

Структура книги подчинена логической последовательности, определяемой расположением четырех основных подсистем в множестве \bar{R} : а) внешние факторы, формирующие нагрузку исполнительных органов комбайнов (глава 1); б) технические параметры различных по исполнению и схемам работы комбайнов проходческого типа и статистический анализ этих параметров (глава 2); в) режимы нагружения электродвигателей основного привода комбайнов при случайном характере возмущающих воздействий (глава 3); г) техническая производительность комбайнов различ-

ных типов и рациональные значения этого параметра (глава 4). В заключительной, 5-й главе работы произведено определение обобщенного уровня качества исследованных типов комбайнов.

Результаты выполненных обобщений могут послужить основой при разработке единой методики сравнения различных конструкций комбайнов для угольной и горнодобывающей промышленности, сведя при этом роль субъективного фактора к минимуму.

Авторы благодарны канд. техн. наук Я. А. Лейману и инж. М. Д. Любоцинскому за большую помощь в проведении электрических измерений и участие в написании 3-й главы монографии, а также канд. техн. наук П. Е. Антонову, инженерам А. С. Прокофьеву, В. И. Ефремову, В. В. Савицкому, Л. С. Чучеловой и лаборантам А. Г. Ряпловой и И. О. Ботовой, участвовавшим в экспериментальных работах, обработке полученного материала и оформлении рукописи.

СОПРОТИВЛЯЕМОСТЬ РЕЗАНИЮ КАЛИЙНЫХ РУД

Производительность горных машин и режим их работы существенно зависят от показателя сопротивляемости пластов резанию и его изменчивости. Так как горные породы разрушаются в основном механическим способом — резами исполнительного органа машины, встречающимися со стороны разрушаемого массива сопротивление, то был введен термин «показатель сопротивляемости резанию» [2, 6, 29], в дальнейшем называемый «сопротивляемость».

В настоящей главе рассмотрена сопротивляемость калийных руд и проанализирована ее изменчивость с помощью вероятностно-статистических методов. Для возможности сравнительной оценки калийной руды как объекта разрушения резовым инструментом приводятся краткие сведения о сопротивляемости углей.

1.1. Методы определения сопротивляемости калийных руд

Чтобы иметь объективные данные о сопротивляемости любых пластов, следует применять методы, учитывающие характер работы режущего инструмента исполнительного органа комбайна. Для получения совокупной характеристики свойств полезного ископаемого (пород) были применены установки СДМ-1 и ДКС [6, 29, 30—32] конструкции ИГД им. А. А. Скочинского. За показатель сопротивляемости принято усилие \bar{A} (кгс), приходящееся на 1 см глубины реза.

Калийные пласты слагаются из разнообразных слоев, состоящих из прослоек разного состава. Поэтому пласт даже в пределах одного слоя неоднороден. Структура материала и неоднородность его строения, наличие различных по физико-механическим свойствам и химическому составу компонентов [33] обуславливают колебания сопротивляемости в определенных пределах. Поэтому для ее достоверной средней оценки в условиях одного шахтопласта необходимо производить опробования во многих точках забоя как по мощности пласта и глубине захвата исполнительного органа, так и по длине выработки.

По мощности производилось опробование каждого слагающего пласт слоя не менее чем в 8—10 точках по высоте. Комплекс измерений выполнялся в трех точках по длине выработки на рас-

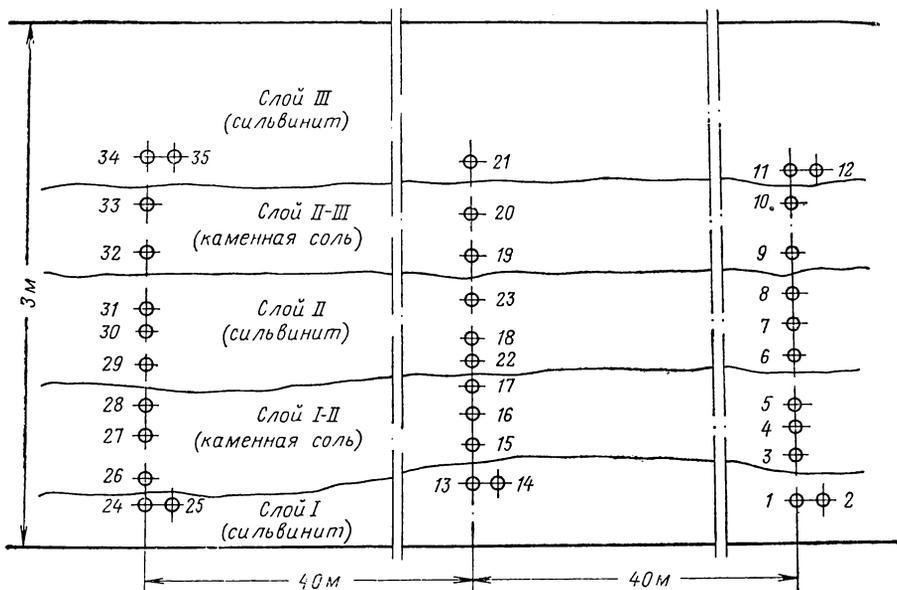


Рис. 1.1.1. Расположение шпуров при определении сопротивляемости пласта (пласт III к. г., 1СгРУ):

○ — точки опробования

стоянии 40—50 м друг от друга. На рис. 1.1.1 приведена схема опробования забоя для определения сопротивляемости калийной руды пласта III калийного горизонта в объединении «Белорускалий».

Так как эффективность работы комбайна зависит не только от его конструктивных особенностей, но и от сопротивляемости пород забоя и ее изменчивости в пространстве, то анализировать работу комбайна необходимо, учитывая свойства разрушаемой среды. Это позволит определить место машины среди аналогичных ей по назначению и установить производительность, соответствующую характеристике выбранного электродвигателя.

Вариация значений сопротивляемости не позволяет дать ей однозначную оценку. Поэтому сопротивляемость следует рассматривать с вероятностно-статистических позиций как интегральный показатель оценки свойств пород. При ограниченном объеме измерений и вариации показателей сопротивляемости по одноименным и разным слоям важны такие статистические характеристики, как надежность полученных показателей, оценки достоверного различия или сходимости отдельных средних значений, их доверительные интервалы. Для определения вероятности отклонения исследуемых значений от средних и правомочности использования статистических оценок необходимо установить вид закона распределения.

Исследованию сопротивляемости углей посвящены многие работы [6, 29, 30, 34—49], в которых были установлены характеристики углей большинства месторождений страны. В то же время анализ работ по определению сопротивляемости калийной руды [11, 12, 50, 53] показал, что в количественной оценке средней сопротивляемости одного шахтопласта имеются существенные (около 35%) расхождения. Большая часть определений сопротивляемости проводилась на блоках в лабораторных условиях и не имела характера массового опробования пластов по их мощности, длине выработки и ширине исполнительного органа. При этом из-за качества блоков оценки получились заниженными.

Исследования, кроме того, были не систематическими, и общая картина сопротивляемости по отдельным рудникам и месторождениям в целом оставалась неполной.

Не определялась изменчивость сопротивляемости калийных руд, имеющая важное прикладное значение. Шахтопласт опробовали обычно в одной точке забоя, а результаты опробования не связывали с режимами работы машин и их электропривода.

Не исследовались имеющие важное значение для сравнения режимов работы машин пластические свойства пород при разрушении их исполнительными органами. Оценка сопротивляемости и ее изменчивости, пригодная для установления режимов работы электропривода и производительности машин, может быть получена при использовании специальных вероятностно-статистических методов.

В некоторых случаях, анализируя свойства забоя, сопротивляемость целесообразно рассматривать в виде случайной функции, что удобно для более полного математического описания режима работы комбайна. Изучение сопротивляемости с помощью случайных процессов позволяет выявить объем электрических измерений для некоторых оценок машин.

Для массового опробования пластов с целью определения сопротивляемости калийных руд использовали установку СДМ-1. При этом находили переходный коэффициент, связывающий показатели сопротивляемости, полученные на установках СДМ и ДКС. Показатель сопротивляемости по ДКС принят как классификационный признак и используется при расчетах силовых и энергетических параметров горных машин. Переходные коэффициенты имеют большое практическое значение и при установлении влияния пластических свойств пород на показатель сопротивляемости.

1.1.1. Определение переходного коэффициента

Место для эксперимента выбиралось с учетом возможности последовательного опробования установками СДМ и ДКС в одних и тех же точках массива максимального числа слоев пласта. Для определения переходного коэффициента в целом по пласту пред-

варительно устанавливались его значения для отдельных слоев

$$K_{nc} = \frac{\sum_1^n \frac{A_{шпi}}{A_{zi}}}{n}, \quad (1.1.1)$$

где $A_{шпi}$ и A_{zi} — показатели сопротивляемости в точках опробования соответственно установкой СДМ-1 (по шпурам) и ДКС (по срезам), кгс/см; n — число опытов.

Средневзвешенное значение переходного коэффициента в целом по пласту определялось с учетом удельного веса мощности слоев в общей мощности пласта

$$K_n = \frac{\sum_1^n K_{nc} H_c}{\sum_1^n H_c}, \quad (1.1.2)$$

где H_c — вынимаемая мощность слоев, м.

Отдельные выборки по точкам опробования пласта представлены ограниченным и неодинаковым количеством опытов. Надежность полученных результатов можно определить по показателю точности выборочных средних значений [54]

$$\xi_T = \frac{\sigma_x}{A_{zi}} 100, \%; \quad \xi_T = \frac{\sigma_x}{A_{шпi}} 100, \%, \quad (1.1.3)$$

где σ_x — ошибка среднего значения A_{zi} или $A_{шпi}$,

$$\sigma_x = \frac{\sigma_z}{\sqrt{n}}; \quad \sigma_x = \frac{\sigma_{шп}}{\sqrt{n}}, \quad (1.1.4)$$

где σ_z , $\sigma_{шп}$ — средние квадратические отклонения показателей соответственно A_{zi} и $A_{шпi}$, кгс/см.

Оценки показателей точности выборочных значений в основном не превышали 5%, что вполне допустимо при выполнении технических расчетов [54].

В табл. 1.1.1 для калийных руд в соответствии с формулами (1.1.1) и (1.1.2) приведены значения переходных коэффициентов по отдельным слоям и в среднем по пласту с учетом вынимаемой мощности слоев.

Переходные коэффициенты для пластов Верхнекамского месторождения значительно меньше, чем для пластов Старобинского месторождения, причем в условиях одного пласта переходные коэффициенты для слоев сильвинита больше, чем для слоев каменной соли.

Для угольных пластов, в отличие от калийных, из-за явления отжима угля переходные коэффициенты определялись не в призабойной кромке пласта, а в глубине массива [55].

Таблица 1.1.1

Рудоуправление, пласт	Слой		Переходный коэффициент		
	компонент	индекс	отдель- ных слоев	среднезве- шенный по слоям силь- винита и калиевой соли	среднезве- шенный по пласту

Верхнекамское месторождение (объединение «Уралкалий»)

1БКРУ, АБ	Сильвинит	А	0,41	0,48	0,48
	То же	Б	0,52		
1БКРУ, Крас- ный П	Сильвинит	III	0,56	0,58	0,56
	То же	V	0,61		
	Каменная соль	IV	0,47	0,47	

Старобинское месторождение (объединение «Белорускалий»)

1СГРУ, II калийный горизонт	Сильвинит	Нижний	0,64	0,64	0,69
	Каменная соль	Средний	0,52		
2СГРУ, III калийный горизонт	Сильвинит	II	0,65	0,66	0,64
		III	0,66		
	Каменная соль	II—III	0,62	0,62	

Примечание: Далее пласт Красный обозначается Кр., а Калийный горизонт — К. Г.

В табл. 1.1.2 для разных угольных пластов бассейнов страны по данным [29] приведены значения переходных коэффициентов для неотжатой части массива.

Так как переходные коэффициенты для калийных руд значительно меньше, чем для углей, и существенно отличаются для

Таблица 1.1.2

Угольный бассейн	Марка угля	Переходный коэффициент
Карагандинский Дальневосточный Донецкий	К. Г.	0,55 *
	Б	0,75
	А, ПА, Д, Г	0,75
	Ж, ОС, Т	0,8
	В	0,8
Челябинский	Г. Ж.	0,85
Донецкий	К	0,95

* В том числе по пластам: К₁₂—0,48; К₁₀—0,5; К₃ и К₂—0,55 [55, 56].

отдельных слоев пласта, то, используя методы малых выборок для калийных руд, выявляли достоверность различия между значениями переходных коэффициентов, для чего предварительно был установлен вид закона их распределения. Эмпирические и теоретические вариационные ряды сравнивали, применяя критерий согласия Пирсона χ^2 [54, 57, 58]. При уровне значимости $\alpha = 0,01$ наблюдаемое значение критерия χ_n^2 меньше критического $\chi_{кр}^2$. Следовательно, данные наблюдений не противоречат гипотезе о нормальном распределении генеральной совокупности.

В качестве критерия проверки гипотезы о равенстве переходных коэффициентов или, как принято в математической статистике, нулевой гипотезы $H_0: M(K_{пК}) = M(K_{пН})$ использовалась случайная величина, распределенная по закону Стьюдента [58] (M — математическое ожидание)

$$T_n = \frac{K_{пК} - K_{пН}}{\sqrt{n_K S_K^2 + n_N S_N^2}} \sqrt{\frac{n_K n_N (n_K + n_N - 2)}{n_K + n_N}}, \quad (1.1.5)$$

где $K_{пК}$, $K_{пН}$ — среднее значение переходных коэффициентов для слоев соответственно сильвинита и каменной соли; n_K , n_N — число опытов по определению переходных коэффициентов соответственно по слоям сильвинита и каменной соли; S_K^2 , S_N^2 — исправленные дисперсии средних значений переходных коэффициентов соответственно для слоев сильвинита и каменной соли;

$$S_n^2 = \frac{(K_{пi} - K_{пc})^2}{n - 1}, \quad (1.1.6)$$

где $K_{пi}$ — случайное значение переходного коэффициента в точке опробования.

В табл. 1.1.3 приведены результаты расчетов.

Таблица 1.1.3

Рудоуправление, пласт	Сравниваемые переходные коэффициенты слоев	Сравниваемые средние значения переходных коэффициентов	Число степеней свободы R	Наблюдаемое значение критерия T_n	Критическое значение критерия
1БКУ, Кр. II	III и IV	0,56 и 0,47	67	3,05	1,67
Кр. II	V и III	0,61 и 0,56	51	0,93	1,68
АБ	А и Б	0,52 и 0,41	44	5,07	1,68
1СГКУ, II к. г.	Нижний и средний	0,64 и 0,52	26	1,94	1,71
2СГКУ, III к. г.	III и II—III	0,6 и 0,62	50	1,86	1,68

При числе степеней свободы $R = n_K + n_N - 2$ значение критерия T_n при уровне значимости $\alpha = 0,01$, кроме одного случая (по V и III сильвинитовым слоям), оказалось больше критического. Значит, нулевая гипотеза отвергается, а средние значения переходных коэффициентов для слоев сильвинита и каменной соли в силу их специфических физико-механических свойств значительно отличаются.

Так как средние значения переходных коэффициентов определены по выборкам малого объема и по существу являются точечными оценками, то они могут отличаться от оцениваемого параметра. Истинное значение переходного коэффициента $K_{п.н}$ находится в интервале

$$K_{п.н} - \xi < K_{п.н} < K_{п.н} + \xi, \quad (1.1.7)$$

при этом точность оценки

$$\xi = t_\alpha \frac{\sigma_{п.н}}{\sqrt{n}}, \quad (1.1.8)$$

где $\sigma_{п.н}$ — среднее квадратическое отклонение переходного коэффициента; t_α — нормированное отклонение, определяемое по таблице [54] с доверительной вероятностью 0,9 и числом степеней свободы $R = n - 1$.

Оцениваемое значение переходного коэффициента заключено в сравнительно узком доверительном интервале, составляющем для минимального и максимального значений переходного коэффициента соответственно 0,39—0,43 и 0,63—0,69. Точность среднего значения переходного коэффициента в основном равна 1,6—4,5%, что свидетельствует об их большой достоверности. Установлена возможность выборочного определения переходных коэффициентов (не по всем слоям), но с обязательным выделением слоев сильвинита и каменной соли.

На рис. 1.1.2 показана зависимость изменения переходных коэффициентов от содержания сильвинита, удовлетворительно аппроксимируемая слабо выраженной криволинейной зависимостью

$$K_{п.н} = 0,42 + \frac{0,63C_c}{2,18 + C_c}, \quad (1.1.9)$$

где C_c — содержание сильвинита в относительных единицах.

Корреляционное отношение между $K_{п.н}$ и C_c [59] составило 0,87 при высокой степени его надежности. Меньшие значения переходных коэффициентов пластов Верхнекамского месторождения по сравнению со Старобинским свидетельствует о влиянии пластических свойств руд на энергоемкость их разрушения.

Например, электрические измерения потребляемой мощности комбайнов ПК-8 при несколько большей (на 5%) сопротивляемости пласта (480 кгс/см на 1СГРУ и 454 кгс/см на 2БКРУ) показали,

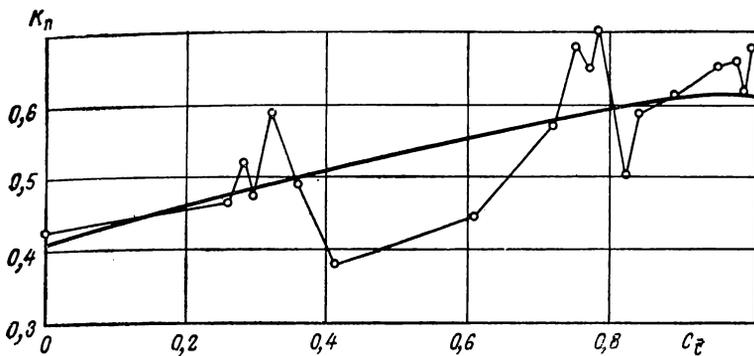


Рис. 1.1.2. Зависимость изменения переходного коэффициента от содержания сивлинита

что средняя энергоёмкость, зафиксированная в диапазоне скоростей подачи 6—11 м/ч, по 1СГРУ ниже, чем по 2БКРУ примерно на 20%. При одинаковых показателях сопротивляемости эта разница может составить 25%.

Так как калийные руды существенно более вязки, чем угли, то количественные оценки влияния пластических свойств разрушаемой среды на энергоёмкость и производительность комбайнов производились только для калийных руд.

1.1.2. Влияние пластических свойств калийных руд на энергоёмкость их разрушения исполнительными органами комбайнов

Разрушение забоя установкой СДМ-1 осуществлялось в установленном полублокированном режиме, поэтому переходный коэффициент, оценивающий разницу в усилиях резания между установками СДМ-1 и ДКС-3, должен отражать пластические свойства разрушаемой среды (чем меньше переходный коэффициент, тем вязче разрушаемая порода).

Количественная оценка влияния пластических свойств руд определялась следующим образом. Обозначив энергоёмкость разрушения руд пластов АБ Верхнекамского и III к. г. Старобинского месторождений соответственно Hw_{AB} и $Hw_{к. г.}$, имеем:

$$Hw_{AB} = C_B \frac{A_{сдм AB}}{K_{п AB}}; \quad (1.1.10)$$

$$Hw_{к. г.} = C_{CT} \frac{A_{сдм к. г.}}{K_{п к. г.}}, \quad (1.1.11)$$

причем

$$\frac{A_{сдм AB}}{K_{п. AB}} = \frac{A_{сдм к. г.}}{K_{п к. г.}}, \quad (1.1.12)$$

где C_B, C_{CT} — коэффициент пропорциональности, характеризующий идентичность режимов разрушения забоя исполнительными органами комбайнов в условиях Верхнекамского и Старобинского месторождений; $A_{сдм AB}, A_{сдм к.г}$ — сопротивляемость по СДМ пластов AB и III к. г.; $K_{п AB}, K_{п к.г}$ — переходные коэффициенты для пластов AB и III к. г.

При соблюдении условия уравнения (1.1.12) и идентичности режимов разрушения $Hw_{к.г} < Hw_{AB}$. Следовательно, коэффициенты C_B и C_{CT} зависят еще от каких-то неучтенных свойств руд. Скорее всего это пластические свойства, проявляющиеся при разрушении забоя исполнительными органами комбайнов. Коэффициент, оценивающий эти свойства, назван реологическим и обозначен K_p . Если для пласта AB принять $K_{p AB} = 1$, то для условий других пластов Старобинского и Верхнекамского месторождений $K_p < 1$.

Таким образом, при определении показателя сопротивляемости, учитывающего пластические свойства руд, в отличие от \bar{A} , следует принимать во внимание выражение

$$A_p = K_p \frac{A_{сдм}}{K_{п}}, \text{ кгс/см}, \quad (1.1.13)$$

где

$$K_p = \frac{K_{п AB}}{K_{п}} = \frac{0,48}{K_{п}} < 1,$$

которое позволит не определять в каждом конкретном случае углы бокового развала, характеризующие вязкость разрушаемой среды [6].

В табл. 1.1.4 приведены данные по энергоемкости разрушения руды комбайнами ПК-8 при одинаковых скоростях подачи и равной сопротивляемости пластов в сравнении с переходными коэф-

Таблица 1.1.4

Показатели	Месторождение, рудоуправление, пласт		Отношение показателей Старобинское месторождение Верхнекамское месторождение
	Верхнекамское, 2БКРУ, AB	Старобинское, 1СГРУ, III к. г.	
Сопротивляемость, кгс/см	454	480	1,06
Энергоемкость на одинаковой скорости подачи, кВт·ч/т	1,58	1,22	0,77
Переходный коэффициент	0,48	0,64	0,75
Динамическая контактная пластичность, %	262	196	0,75
Сопротивляемость приповерхностному сдвигу, кгс/мм ²	1,07	0,85	0,8

Таблица 1.1.5

Месторождение	Пласт	Средневзвешенный переходный коэффициент по пласту $K_{п}$	Реологический коэффициент $K_{р}$
Верхнекамское	АБ	0,48	1
То же	Кр. II	0,56	0,86
Старобинское	II к. г.	0,60	0,80
То же	III к. г.	0,64	0,75

эффициентами и установленными проф. Л. И. Бароном показателями, характеризующими пластические свойства забоя.

При равной величине сопротивляемости руды различных месторождений и идентичных режимах работы комбайна имеют место разные уровни энергозатрат, динамической контактной пластичности и сопротивляемости приповерхностному сдвигу. Отношение этих показателей для пластов АБ и III к. г. численно равно отношению переходных коэффициентов.

Следовательно, руды с одинаковой сопротивляемостью могут иметь различные пластические свойства.

В табл. 1.1.5 приведены значения реологических коэффициентов пластов, для которых был установлен показатель сопротивляемости.

Реологические коэффициенты необходимы для определения сопротивляемости (с учетом пластических свойств) при сравнении режимов работы комбайнов и установлении их производительности в условиях различных пластов.

Анализ данных, приведенных в табл. 1.1.1, 1.1.2 и 1.1.5, показывает, что для полезных ископаемых, разрушение которых резцовым инструментом осуществляется без ограничений, может быть предложена общая шкала (табл. 1.1.6), учитывающая их хрупко-пластические свойства.

К I категории относятся калийные руды Верхнекамского месторождения и угли Промышленного участка Карагандинского бассейна; ко II — калийные соли Старобинского месторождения, угли дальневосточных месторождений и некоторые марки углей

Таблица 1.1.6

Коэффициенты	Категория разрушаемой среды		
	I (весьма вязкая)	II (вязкая)	III (хрупкая)
Реологический Переходный	1—0,81 0,48—0,59	0,80—0,64 0,6—0,75	0,63—0,51 0,76—0,95

Донецкого бассейна; к III — угли Челябинского и Кизеловского месторождений, а также некоторые типы углей Донецкого бассейна.

Из результатов исследований, изложенных в настоящем параграфе, следует, что, таким образом, с помощью переходных коэффициентов можно количественно оценить влияние хрупко-пластических свойств полезного ископаемого на показатель его сопротивляемости, благодаря чему возможна сравнительная оценка сопротивляемости калийных руд и углей.

1.2. Сопротивляемость калийных руд и углей

Сопротивляемость угольных пластов зависит от напряженного состояния массива [60], что проявляется в виде ослабления или отслоения призабойной кромки забоя (отжим). На рис. 1.2.1 показан характер изменения усилий резания при заглублении a_3 режущего инструмента в массив для углей и калийных руд. При резании угля усилия монотонно возрастают и остаются практически постоянными для калийных руд. Такой характер изменения усилий резания объясняется большим пределом прочности на сжатие калийных руд, чем угля.

Сопротивляемость углей определяли в лавах, а калийных руд — в камерах, где влияние горного давления на напряженное состояние массива практически неощутимо. Поэтому при исследовании сопротивляемости калийных руд напряженное состояние массива не учитывалось.

1.2.1. Основные сведения о сопротивляемости углей

По данным исследований [34—49] и их обобщений [29] составлены гистограммы распределений показателей сопротивляемости углей по основным угольным месторождениям и бассейнам страны (рис. 1.2.2). В табл. 1.2.1 приведена средневзвешенная величина показателей сопротивляемости по отдельным маркам угля.

Сопротивляемость углей по отдельным бассейнам и месторождениям Советского Союза колеблется в широких пределах. На изменение сопротивляемости угля кроме свойств, обусловленных его происхождением и структурой, существенное влияние, в отличие от калийных руд, оказывают горно-технологические факторы — ширина призабойного пространства, средства крепления, захват исполнительного органа и др. [60]. Так, с увеличением ширины призабойного пространства сопротивляемость угля резанию уменьшалась и стабилизировалась при ширине 6—8 м. Зона ослабления угольного массива при ширине призабойного пространства 5,3—6,8 м достигала половины мощности пласта [46, 60].

Исследования влияния различных средств крепления показали [62], что усилия резания при заглублении в массив в зоне

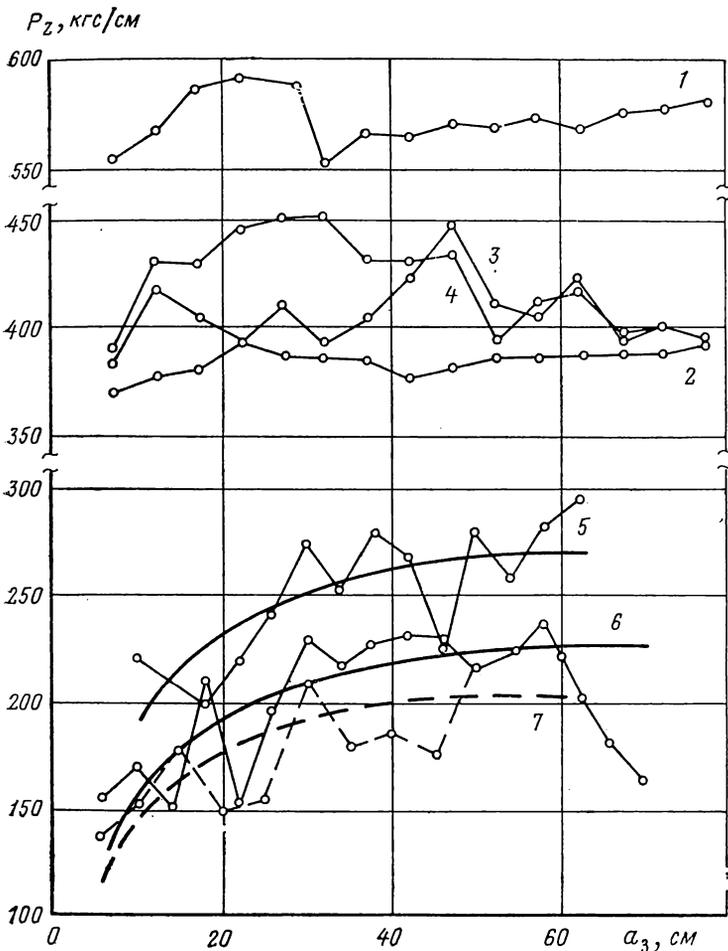


Рис. 1.2.1 Изменение усилий резания при заглаблении в массив:
 Калийные руды: пласт АБ, 1 — сильвинит (слой А), 2 — каменная соль (слой А' — КрI), пласт КрII, 3 — сильвинит (слой III), 4 — каменная соль (слой VI).
 Уголь: пласты 5 — К₁₄, 6 — К₁₃, 7 — К₁₀ (Карагандинский бассейн)

работы исполнительных органов возрастали по гиперболической зависимости и в дальнейшем стабилизировались. В лавах, оборудованных механизированными крепями, отжим проявлялся в различной степени и отличался от отжима в забое с креплением индивидуальными стойками. На степень проявления отжима и зону ослабления угля значительно влияет величина предварительного распора крепи.

При увеличении ширины захвата исполнительного органа комбайна среднее значение показателя сопротивляемости угля

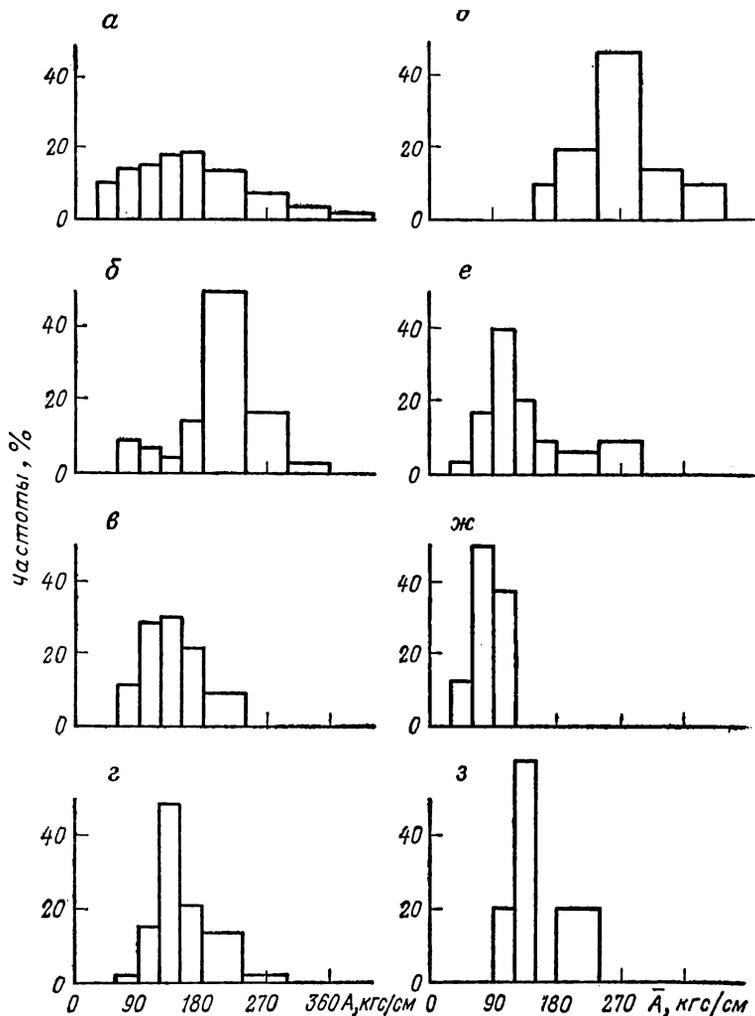


Рис. 1.2.2. Распределение показателей сопротивляемости углей по основным месторождениям и бассейнам:

а — Донецкому бассейну; б — Восточному Донбассу; в — Карагандинскому бассейну; г — Кузнецкому бассейну; д — Киселовскому бассейну; е — месторождениям Дальнего Востока; ж — Челябинскому бассейну; з — Подмосковному бассейну

резанию A_L в зоне отжима [29, 63] возрастало, хотя не одинаково [62], а в зависимости от средств крепления.

В работах [6, 29, 30, 46, 63, 64, 65] изложены результаты исследований влияния на сопротивляемость угля фактора времени. Основное снижение усилий резания происходило в течение одного часа с момента обнажения забоя.

Таблица 1.2.1

Бассейн (комбинат)	Марка угля	Средневзвешенная сопротивляемость угля, кгс/см
Донецкий (УССР)	А, ПА Г, Д К, Ж, ОС, Т	135 200 90
В среднем по бассейну		140
Западный Донбасс Восточный Донбасс (РСФСР)	Г, Д А, ПА К, Ж, ОС, Т	285 210 95
В среднем по бассейну		195
Карагандинский	Г, Ж, К	135
Кузнецкий	Г, Ж, Д К, СС, Т	145 155
В среднем по бассейну		150
Кизеловский	Г, Ж	280
Месторождения Дальнего Востока	Г, Д Б К, Ж, Т	160 120 85
В среднем по месторождениям		130
Челябинский	Б	85
Подмосковный	Б	145
Печорский:		
Интауголь	Д	205
Воркутауголь	Ж, К	160
Львовско-Вольский	Г	240
В среднем по обследованным шахтопластам Советского Союза		155

В зоне вторичного ослабления угольного массива [64] процесс отжима угля до образования разрыва сплошности длился в обследованных шахтопластах 6—11 ч.

1.2.2. Исследование сопротивляемости калийных руд

На рис. 1.2.3 приведены обобщенные структурные колонки пластов, для которых определялась сопротивляемость. Продуктивная толща Верхнекамского месторождения состоит из свиты

Верхнекамское месторождение						Старобинское месторождение					
Пласт АБ			Пласт Кр. II			Пласт II к.г.			Пласт III к.г.		
Индекс слоя	Условный разрез	Мощность, м	Индекс слоя	Условный разрез	Мощность, м	Индекс слоя	Условный разрез	Мощность, м	Индекс слоя	Условный разрез	Мощность, м
Б		0,8—1,65	I		1,1—2,1	Верхний		0,6—1,0	IV		0,85—1,5
А		0,95—1,35	II		0,2—0,35				III-IV		0,75—1,2
			III		0,6—1,85				III		0,6—0,95
A'-A		0,2—0,4	IV		0,2—0,45	Средний		0,5—0,85	II-III		0,45—0,8
A'		0,2—0,3									
A'-Кр. I		2,0—3,4									
			VI		0,2—0,45	I-II		0,4—0,6			
			VII		0,95—1,75	I		0,2—0,3			

Рис. 1.2.3. Обобщенные структурные колонки пластов

сближенных пластов В, АБ, Кр. I, Кр. II, и Кр. III. Для пластов характерны сложное строение, неспокойная гипсометрия и углы падения, изменяющиеся от 0 до $\pm 15^\circ$.

Пласт АБ, залегающий на глубине 250—380 м, отличается сложной волнистой гипсометрией, состоит из слоев А (полосчатый сильвинит) и Б (пестрый сильвинит) с содержанием КСI 33—42%. От пласта В пласт АБ отделен слоем каменной соли мощностью 4—10 м.

Прослойком каменной соли мощностью 5—8 м пласт АБ отделен от пласта Кр. I, который ввиду небольшой мощности (1—1,4 м), несмотря на высокое содержание КСI (23—41%), в настоящее время не разрабатывается.

Пласт Кр. II, отделенный от пласта Кр. I слоем каменной соли мощностью 3—5 м, состоит из семи слоев: I, III, V, VII, представленных красным сильвинитом с содержанием КСI 25—38%, и II, IV, VI, состоящих из серой и розовой каменной соли.

Пласт Кр. III отделен от вышележащего пласта Кр. II слоем каменной соли мощностью 2—7 м, сложен тремя сильвинитовыми пачками Кр. IIIа, Кр. IIIб и Кр. IIIв суммарной мощностью 2,5—3 м, разделенными двумя пропластками каменной соли мощностью 0,8—1 и 1,3—2 м.

Добыча калийной руды месторождения производится пятью рудоуправлениями: Соликамским, Новосоликамским, 1БКРУ, 2БКРУ и 3БКРУ. В стадии строительства находится 4БКРУ.

Продуктивная толща Старобинского месторождения насчитывает четыре калийных горизонта, из которых разрабатываются пласты только II и III горизонтов. Пласты характеризуются относительно выдержанной мощностью и спокойной гипсометрией.

Углы падения в целом по месторождению не превышают 5°, в пределах блока или панели 1—2°.

Пласт II к. г. состоит из нижнего и верхнего слоев с пропластком каменной соли между ними. Глубина залегания пласта колеблется в пределах 420—580 м. Содержание КСl в сильвинитовых слоях около 40%, в галитовом пропластке — 4—5%.

Пласт III к. г. состоит из шести сильвинитовых слоев, перемежающихся каменной солью и глиной. Промышленное значение имеют II, III и IV слои с содержанием в них КСl 28—46%. Глубина залегания пласта III к. г. 512—780 м. Пласт отделен от вышележащего пласта II к. г. толщей вмещающих пород мощностью 100—200 м. Разработка Старобинского месторождения осуществляется тремя действующими рудоуправлениями: 1СгРУ, 2СгРУ, 3СгРУ. Строится 4СгРУ.

Сопротивляемость определялась в следующем порядке:

устанавливался закон распределения сопротивляемости по забою;

выбирался интервал дискретизации реализации случайного процесса усилия резания с целью выявления протяженности элементарного участка, на котором частные значения сопротивляемостей можно рассматривать как случайные величины;

находились средние значения сопротивляемости слоев, слагающих пласт;

оценивались надежность и точность сопротивляемости каждого слоя;

определялась достоверность значимого или незначимого различия между сопротивляемостями отдельных слоев;

вычислялась средняя сопротивляемость пласта и ее изменчивость с учетом достоверного различия между отдельными значениями сопротивляемости слоев и удельного веса мощности слоев, слагающих пласт.

В общем случае изменение сопротивляемости углей и калийных руд можно считать случайным процессом. Обработка случайных процессов связана с определенными методологическими трудностями. Так как случайную функцию при фиксированном значении аргумента можно рассматривать как случайную величину [66], то случайную функцию сопротивляемости при фиксированном в пространстве значении элементарного участка, где сопротивляемость практически неизменна, можно также рассматривать как случайную величину. Значит, в зависимости от решаемой задачи сопротивляемость резанию можно изучать на основе как случайных величин, так и случайных функций.

Вероятность появления значений показателей сопротивляемости различной величины определяли с помощью закона распределения по забою. Для этого по элементарным участкам опробования были построены эмпирические вариационные ряды, которые по характеру распределения удовлетворительно описывались нормальным законом. В табл. 1.2.2 приведен порядок

Пределы сопротив- ляемости резанию $A_{сдм}$ кгс/см	Среднее значение $A_{сдм}$ кгс/см	Число случаев P_{Σ}	Частота n_3 , %	$x_i =$ $\frac{A_{сдм_i} - A_0}{h_n}$	$n_3 x_i$
180—210	195	5	4,32	-3	-13
210—240	225	21,5	18,5	-2	-37
240—270	255	21,5	18,5	-1	-18,5
270—300	295	26	22,4	0	0
300—330	315	24	20,75	1	20,75
330—360	345	8	6,9	2	13,8
360—390	375	8	6,9	3	20,7
390—420	405	1	0,865	4	3,46
420—450	435	1	0,865	5	4,33
		Σ 116	Σ 100		Σ 5,46
				$m_1 = -0,055$	

расчета характеристик закона распределения (пласт Кр. II на 1БКРУ).

Для удобства расчетов были приняты условные варианты x_i . В качестве условного нуля (условная середина вариационного ряда) обычно выбирается варианта с наибольшей частотой (в нашем случае $A_0 = 295$ кгс/см, ширина интервала $h_n = 30$ кгс/см), тогда среднее значение показателя сопротивляемости

$$A_{сдм} = A_0 + h_n \mu_1. \quad (1.2.1)$$

Среднее квадратическое отклонение

$$\sigma_{сдм} = h_n \sqrt{\mu_2}. \quad (1.2.2)$$

Центральные моменты

$$\begin{aligned} \mu_1 &= m_1; \\ \mu_2 &= m_2 - m_1, \end{aligned} \quad (1.2.3)$$

где m_1, m_2 — начальные моменты.

Начальные моменты определяли по формуле

$$m_\rho = \frac{\sum_{i=1}^n n_3 x_i^\rho}{100}, \quad (1.2.4)$$

где ρ — порядок начального момента.

Степень сходимости теоретического и эмпирического распределений оценивали, пользуясь расчетом теоретического нормального распределения. Плотность нормального распределения

Т а б л и ц а 1.2.2

$n_p \chi^2_i$	$\frac{A_{сдм_i} - \bar{A}_{сдм}}{\sigma_{сдм}}$	Z_t	$n_t = Z_t \frac{h_n}{\sigma_{сдм}}$	P_t	$\frac{(P_{э} - P_t)^2}{P_t}$
389	1,76	0,0848	5,1	5,9	0,137
74	1,16	0,2036	12,4	14,4	3,5
18,5	0,56	0,3410	20,4	23,6	0,187
0	0,04	0,3986	23,9	27,7	0,104
20,75	0,64	0,3251	19,5	22,6	0,087
27,6	1,24	0,1849	11,1	12,9	1,87
62	1,84	0,0734	4,4	6,8	1,83
13,8	2,44	0,0203	1,22		
21,6	3,04	0,0039	0,23		
$\sum 277,15$				$\chi^2 = 7,71$	
$m_2 = 2,77$					

Z_t определяли по таблице [54]. В табл. 1.2.2 приведены теоретические частоты n_t , абсолютное теоретическое количество случаев P_t в каждом интервале (разряде n_p) и критерий согласия Пирсона χ^2_n (в последней графе). Для исключения возможных ошибок разряды с частотами менее 5% (обычно по концам распределений) объединялись в группы. Наблюденный критерий согласия при числе степеней свободы $i = n_p - 3$ сравнивался с критическим значением, приведенным в таблице [54].

Результаты определения параметров распределения и оценка сходимости эмпирических и теоретических вариационных рядов по отдельным случайным выборкам (мощности пласта, глубине массива и вдоль выработки) показали, что наблюдаемые значения критерия χ^2_n в большинстве случаев при уровне значимости $\alpha' = 0,05$ меньше критического. Следовательно, гипотеза о распределении сопротивляемости по нормальному закону экспериментальным данным не противоречит. То же показала обработка экспериментальных данных опробования угольных пластов [29].

Для соблюдения принципа случайности — необходимого условия [67] при дискретизации случайного процесса — необходим интервал дискретизации, величину которого можно оценить радиусом корреляции [68] корреляционной функции непрерывного случайного процесса изменения сопротивляемости, т. е. граничной величиной, свидетельствующей об отсутствии корреляционной связи между сечениями случайного процесса. С этой целью на основе корреляционных функций, полученных при обработке непрерывных случайных функций усилий резания по глубине забоя, были определены радиусы корреляции, составившие, в частности, для прослоек сильвинита и каменной соли соответственно 0,03—0,034 и 0,038—0,044 м.

Таблица 1.2.3

Пласт	Слой	Сопротивляемость, кгс/см					
		Среднее значение A_c			Среднее квадратическое отклонение σ_c		
<i>Верхнекамское месторождение</i>							
Кр. II	I	2БКРУ	1БКРУ	2СкРУ	2БКРУ	1БКРУ	2СкРУ
	II	372	496	498	71	77	81
	III	366	472	545	70	43	93
	IV	400	510	610	78	116	78
	V	440	575	565	97	82	76
	VI	460	542	590	116	96	95
	VII	434	610	811	66	96	87
		410	524	667	81	86	76
АБ	A'—Кр. I	375	—	—	67	—	—
	A'	605	—	—	113	—	—
	A—A'	425	—	—	77	—	—
	A	555	—	834	77	—	107
	B	—	—	752	—	—	133
<i>Старобинское месторождение</i>							
II к. г.	B	1СгРУ	2СгРУ	3СгРУ	1СгРУ	2СгРУ	3СгРУ
	C	377	453	462	44	50	70
	H	422	455	479	54	67	61
		439	482	446	80	77	59
III к. г.	I	491	—	—	40	—	—
	I—II	461	—	—	33	—	—
	II	504	628	533	58	74	70
	II—III	458	552	438	33	61	44
	III	494	565	485	37	75	66

Таким образом, при установлении статистических характеристик достоверности, сходимости и критериев согласия случайные величины для соблюдения принципа случайности следует определять на элементарных участках, отстающих друг от друга по глубине забоя не менее чем на радиус корреляции. Поэтому для установления сопротивляемости резанию по отдельным слоям и по пласту в целом, а также для установления показателей изменчивости были использованы значения усилий резания по каждому элементарному участку заглабления 5 см. Принято, что на этом участке сопротивляемость практически постоянна и влияния на изменение режима работы комбайна не оказывает.

По результатам выполненных исследований с учетом переходных коэффициентов выведены средние значения сопротивляемости и ее изменчивости по отдельным слоям калийных шахтопластов и приведены в табл. 1.2.3.

Так как объемы выборок по отдельным слоям обычно не одинаковы, то устанавливалась оценка надежности [69] и точности [54] выборочного среднего показателя сопротивляемости по каждому слою пласта.

Критерий надежности определялся по формуле

$$t_n = \frac{A_c}{\sigma_{x_c}}. \quad (1.2.5)$$

При этом оценка средней сопротивляемости слоя надежна, если $t_n > 3$ при $n \geq 30$ [69].

Сопротивляемость по отдельным слоям была определена надежно, а точность исследуемых значений составила 0,6—3,7%. Однако по отдельным слоям силвинита и каменной соли в ряде случаев наблюдалась существенная разница в показателях сопротивляемости (табл. 1.2.3), достоверность которой определялась с помощью дисперсионного анализа. Для этого показатели сопротивляемости слоев располагали в возрастающем порядке и сравнивали минимальное значение сопротивляемости с сопротивляемостью последующих смежных слоев [13]. Достоверность различия устанавливали сравнением вариационных рядов по разности между средними значениями A_{c_1} и A_{c_2} и ошибке их разности.

Критерием проверки гипотезы о равенстве средних H_0 : $M(A_{c_1}) = M(A_{c_2})$ принимали случайную величину [58]

$$Z_n = \frac{A_{c_1} - A_{c_2}}{\sqrt{\sigma_{x_1}^2 + \sigma_{x_2}^2}}, \quad (1.2.6)$$

где σ_{x_1} , σ_{x_2} — ошибки среднего значения показателей сопротивляемости сравниваемых слоев.

При уровне значимости α' и конкурирующей гипотезе

$$H_1: M(A_{c_1}) \neq M(A_{c_2})$$

по таблице функции Лапласа критическую точку определяли, используя равенство

$$\Phi(Z_{кр}) = \frac{1 - \alpha'}{\alpha'}. \quad (1.2.7)$$

Если $|Z_n| < Z_{кр}$, то нулевая гипотеза не отвергалась, если $|Z_n| > Z_{кр}$, то отвергалась.

Достоверное различие между смежными значениями показателей сопротивляемости свидетельствует о наличии достоверного различия между минимальным значением и последующими. При отсутствии достоверного различия смежные значения сопротивляемости объединялись по величине среднего квадратического

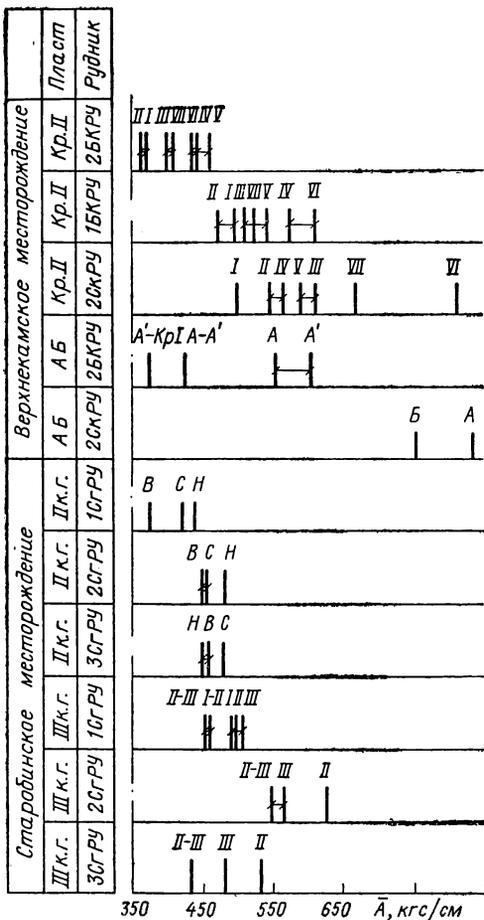


Рис. 1.2.4. Группирование слоев по признаку достоверного различия сопротивляемости

нет достоверного статистического различия. Оба способа правомерны и приводили к одному результату. Средневзвешенная сопротивляемость определялась по формуле

$$\bar{A} = \frac{\sum_1^n A_c H_c}{\sum_1^n H_c}, \text{ кгс/см}, \quad (1.2.8)$$

где H_c — мощность слоя, м.

отклонения в одну группу, после чего сравнение производилось между группой и последующим значением сопротивляемости. Группировка показателей сопротивляемости слоев по признаку достоверного различия при уровне значимости $\alpha' = 0,02$ показана на рис. 1.2.4 (горизонтальной чертой соединены значения сопротивляемости слоев, между которыми нет достоверного различия). Слои по пласту Кр. II на 1БКРУ и 2БКРУ группировались примерно одинаково. Эта закономерность нарушалась в условиях 2СКРУ.

С учетом достоверности различия между показателями сопротивляемости отдельных слоев устанавливалась оценка сопротивляемости и ее среднего квадратического значения для всего пласта (совокупная изменчивость). Общая сопротивляемость пласта определялась с учетом удельного веса мощности каждого слоя или удельного веса суммарной мощности слоев, между сопротивляемостью которых

Изменчивость сопротивляемости (среднее квадратическое отклонение) в целом по пласту определялась с учетом [70]

$$\sigma_A = \sqrt{\delta_{гр}^2 + \bar{\sigma}^2}, \text{ кгс/см}, \quad (1.2.9)$$

где $\delta_{гр}^2$ — межгрупповая дисперсия показателя сопротивляемости; $\bar{\sigma}^2$ — средняя арифметическая групповых дисперсий.

При этом:

$$\delta_{гр}^2 = \frac{\sum_1^n (A_c - \bar{A})^2 H_{c\Sigma}}{\sum_1^n H_{c\Sigma}}; \quad (1.2.10)$$

$$\bar{\sigma}^2 = \frac{\sum_1^n \sigma_c^2 H_c}{\sum_1^n H_c}, \quad (1.2.11)$$

где $H_{c\Sigma}$ — суммарная мощность слоев, между сопротивляемостью которых нет достоверного различия, м.

При определении $\delta_{гр}^2$ учитывались лишь те значения сопротивляемости слоев, между которыми установлено достоверное статистическое различие. Средневзвешенная сопротивляемость слоев, между которыми нет достоверного различия, при вычислении $\delta_{гр}^2$ определялась по формуле (1.2.8).

В табл. 1.2.4 в соответствии с формулами (1.2.9) и (1.2.10) для различных пластов и рудоуправлений приведены значения сопротивляемости калийных руд и их среднего квадратического отклонения (совокупной изменчивости).

Показатели сопротивляемости и их совокупные изменчивости позволяют оценить физико-механические свойства самого пласта и дать сравнительную оценку сопротивляемости отдельных пластов. Однако они недостаточны для анализа режимов работы комбайнов, так как не учитывают пластических свойств руд.

В табл. 1.2.5 с учетом реологических коэффициентов в возрастающем порядке приведены показатели сопротивляемости A_p и их изменчивости σ_p по различным шахтопластам и месторождениям страны.

Шахтопласты Верхнекамского месторождения обладают большей сопротивляемостью и изменчивостью. По отдельным шахтопластам показатели сопротивляемости имеют значительное статистическое различие. В табл. 1.2.6 приведены данные средней сопротивляемости сильвинита и каменной соли.

Разница в показателях между сильвинитом и каменной солью при учете их пластических свойств незначительна, что объясняется большей вязкостью каменной соли.

Таблица 1.2.4

Месторождение, рудоуправление, пласт	Характеристика сопротивляемости, кгс/см	
	\bar{A}	σ_A
Верхнекамское: 2БКРУ, 1БКРУ, 1СкРУ, Кр. II	407	91
	524	94
	600	110
2БКРУ, 1СкРУ, АБ	454	118
	785	131
Старобинское: 1СгРУ, 2СгРУ, 3СгРУ, II к. г.	412	68
	464	67
	459	64
1СгРУ, 2СгРУ, 3СгРУ, III к. г.	480	45
	580	81
	488	72

При большом разнообразии показателей сопротивляемости шахтопластов, в условиях которых эксплуатируются машины, для сравнения их режимов работы следует установить базовый показатель сопротивляемости отдельно для Верхнекамского и Старобинского месторождений. Базовый показатель сопротивляе-

Таблица 1.2.5

Месторождение, рудоуправление, пласт	Характеристики сопротивляемости с учетом пластических свойств		
	A_p , кгс/см	σ_p , кгс/см	Коэффициент вариации, %
Верхнекамское: 2БКРУ, 1БКРУ, 1СкРУ, Кр. II	350	78	22,3
	450	81	18,0
	515	95	18,6
2БКРУ, 1СкРУ, АБ	454	118	26
	785	131	16,7
Старобинское: 1СгРУ, 2СгРУ, 3СгРУ, II к. г.	330	55	16,7
	370	54	14,6
	367	51	13,9
1СгРУ, 2СгРУ, 3СгРУ, III к. г.	360	34	9,5
	435	61	14,0
	367	54	14,6

Таблица 1.2.6

Компоненты	Характеристики сопротивляемости, кгс/см					
	без учета пластических свойств			с учетом пластических свойств		
	Пределы изменения среднего значения	\bar{A}	σ_A	Пределы изменения среднего значения	A_p	σ_p
<i>Верхнекамское месторождение</i>						
Сильвинит	407—785	573	82—91	338—785	522	68—83
Каменная соль	381—634	498	68—85	381—634	498	68—85
<i>Старобинское месторождение</i>						
Сильвинит	406—597	492	45—75	305—436	384	33—55
Каменная соль	422—552	472	33—67	350—419	392	25—61

мости определяли с учетом удельного веса добычи из шахтопластов, для которых установлен показатель сопротивляемости,

$$A_6 = \frac{\sum_1^n A_p Q_{уд}}{\sum_1^n Q_{уд}}, \text{ кгс/см}, \quad (1.2.12)$$

где $Q_{уд}$ — удельный вес добычи по пласту в относительных единицах.

Аналогично определяли совокупную изменчивость этих показателей, подставляя в формулу вместо показателя сопротивляемости значения σ_p .

Базовый показатель сопротивляемости и его совокупная изменчивость для Верхнекамского месторождения составили соответственно 450 и 95 кгс/см, а для Старобинского — 370 и 50 кгс/см.

При отработке шахтных полей удельный вес добычи, а также A_6 могут изменяться в определенных пределах. Это следует учитывать при использовании базового показателя для приблизительного определения числа выемочных комплексов и прогнозирования их числа при заданном объеме добычи по годам.

В ряде случаев исполнительные органы комбайнов разрушают забой не по всей мощности пласта, а частично некоторые слои. Поэтому для анализа режима работы комбайнов необходимо знать сопротивляемость A_L в зоне работы исполнительного органа.

Таблица 1.2.7

Рудоуправление, пласт	Сопротивляемость в зоне работы исполнительного органа, кгс/см			Сопротивляемость пласта, кгс/см	
	Комбайн	A_L	σ_{A_L}	A_p	σ_p
2БКРУ, Кр. II	ПК-8	365	84	350	78
	«Караганда 7/15С»	362	80	350	78
1БКРУ, Кр. II	«Урал 20КС»	464	85	450	81
	ПК-8	460	118	454	118
1СрРУ, III к. г.	ПК-8	309	30	360	34

Сопротивляемость A_L и ее изменчивость σ_{A_L} определяли с учетом сечения прорезаемых слоев:

$$A_L = \frac{\sum_1^n A_c S_c}{\sum_1^n S_c}; \quad (1.2.13)$$

$$\sigma_{A_L} = \frac{\sum_1^n \sigma_c S_c}{\sum_1^n S_c}. \quad (1.2.14)$$

Сечения прорезаемых слоев определяли по размерам исполнительных органов комбайнов. Некоторые сравнительные данные по сопротивляемости и ее изменчивости по пластам и в зоне работы исполнительного органа приведены в табл. 1.2.7.

Из данных табл. 1.2.7 видно, что показатели сопротивляемости в зоне работы исполнительного органа мало отличались от сопротивляемости пласта, а расхождения между средними значениями сопротивляемости A_p и A_L случайны. Поэтому при сравнении режимов работы комбайнов определять сопротивляемость в зоне работы их исполнительных органов в каждом конкретном случае необязательно.

Вариация сопротивляемости калийных руд по отдельным шахтопластам, изменяющаяся от 10 до 26% оказывает влияние на режим работы электроприводов комбайнов, выбор мощности их электродвигателей и на установление диапазона регулирования скоростей подачи при автоматическом управлении машиной. Поэтому следует более детально анализировать изменчивость сопротивляемости калийных руд и определять объем электрических измерений при выполнении экспериментальных работ.

1.3. Изменчивость сопротивляемости калийных руд

Неоднородность строения пластов угля и калийной руды обуславливает изменчивость показателя их сопротивляемости, оцениваемую средним квадратическим отклонением (абсолютная изменчивость) или коэффициентом вариации (относительная изменчивость). На изменчивость сопротивляемости угольных пластов оказывают влияние также различные горнотехнологические факторы. Например, в зависимости от заглубления в массив относительная изменчивость сопротивляемости для вязких углей Донецкого бассейна снижалась от 50 до 25% [29], а для большинства шахтопластов Карагандинского бассейна — от 70 до 40% [37]. Изучению изменчивости сопротивляемости углей от многочисленных влияющих факторов посвящен целый ряд исследований [6, 29, 30, 34, 35, 39, 49, 46, 71—75]. В то же время изменчивость калийных руд до последнего времени оставалась практически не изученной.

Приведенная в табл. 1.2.7 совокупная изменчивость сопротивляемости калийных руд не позволяет проанализировать ее качественное и количественное проявление в направлениях движения исполнительного органа комбайна.

Поэтому интересен анализ изменчивости сопротивляемости в трех направлениях, условно названных главными (рис. 1.3.1). Так как неоднородность горных пород выявляется при любых масштабах исследования [33, 76], то для ее исследования в массиве необходимо установить размеры пространства и элементарный участок, на котором неоднородностью свойств можно пренебречь. За такой элементарный участок массива принята величина, равная 5 см, а размеры пространства, где изучалась неоднородность, соответствовали области, в пределах которой определялась совокупная изменчивость сопротивляемости.

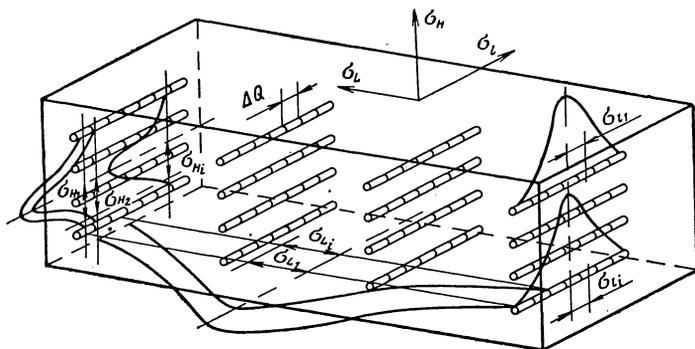


Рис. 1.3.1. Схема к определению изменчивости сопротивляемости в трех взаимно перпендикулярных направлениях

Для определения изменчивости сопротивляемости по мощности пласта определялось ее среднее квадратическое отклонение σ_{n_i} на элементарных участках заглубления Δa (по мощности пласта). По полученным значениям σ_{n_i} устанавливалось среднее значение

$$\sigma_n = \frac{\sum_1^n \sigma_{n_i}}{n_r}, \text{ кгс/см}, \quad (1.3.1)$$

где n_r — число элементарных участков по заглублению.

Аналогично определялась изменчивость сопротивляемости в направлении подачи комбайна σ_L и по ширине исполнительного органа σ_l :

$$\sigma_L = \frac{\sum_1^n \sigma_{L_i}}{n_r}, \text{ кгс/см}, \quad (1.3.2)$$

$$\sigma_l = \frac{\sum_1^n \sigma_{l_i}}{n_r}, \text{ кгс/см}. \quad (1.3.3)$$

В табл. 1.3.1 приведены результаты расчетов изменчивости сопротивляемости по трем главным направлениям*.

Изменчивость сопротивляемости по мощности пласта больше, чем вдоль выработки и по глубине массива. Так как направления опробования вдоль выработки и по глубине массива условны и зависят от принятой ориентации выработок в пространстве, то можно допустить, что изменчивость сопротивляемости в этих направлениях должна быть одинакова.

Т а б л и ц а 1.3.1

Рудоуправление, пласт	Изменчивость $\sigma_{сдм}$, кгс/см		
	по мощности	вдоль выработки	по глубине массива
2БКРУ, АБ	55	—	25
2БКРУ, Кр. II	44	50	37
1БКРУ, Кр. II	54	44	40
2СкРУ, Кр. II	57	—	38
1СгРУ, II к. г.	37	19	20
1СгРУ, III к. г.	26	—	17
2СгРУ, II к. г.	34	26	20
2СгРУ, III к. г.	39	20	28
В среднем	43,3	31,8	28,4

* Данные приведены по показателям, определенным установкой СДМ-1.

Изменчивость сопротивляемости в разных направлениях получена по независимым выборкам различного объема, поэтому была установлена значимость различия дисперсий, полученных по этим выборкам.

Для проверки гипотезы о равенстве дисперсий использовался критерий Фишера [54]:

$$F = \frac{\sigma_0^2}{\sigma_M^2}, \quad (1.3.4)$$

где σ_0^2 и σ_M^2 — соответственно большая и меньшая дисперсии.

Между изменчивостью сопротивляемости по мощности и по глубине массива наблюдалось значимое различие. Между изменчивостью сопротивляемости вдоль выработки и по глубине массива различие незначимо и вызвано случайными причинами. Поскольку данные по глубине массива получены из более представительной выборки с большим количеством вариантов и охватом слоев, изменчивость сопротивляемости по мощности пласта сравнивалась только с величиной σ_l .

Учитывая изменчивость сопротивляемости по главным направлениям (между которыми имеется значимое различие), была определена совокупная пространственная изменчивость сопротивляемости по пласту в целом [66]:

$$\sigma_A = \sqrt{\sigma_n^2 + \sigma_l^2}, \text{ кгс/см.} \quad (1.3.5)$$

В табл. 1.3.2 приведены сравнительные данные по совокупной изменчивости сопротивляемости, вычисленной по выражениям (1.3.5) и (1.2.10).

Т а б л и ц а 1.3.2

Рудоуправление, пласт	Совокупная изменчивость σ_A , кгс/см		
	По (1. 3. 5)	В целом по пласту (1. 2. 10)	Разница в % по отношению (к 1. 3. 5)
2БКРУ, АБ	126	118	5,9
2БКРУ, Кр. II	84	91	8,3
1БКРУ, Кр. II	122	94	23,0
2СкРУ, Кр. II	122	110	9,8
1СкРУ, II к. г.	70	68	2,9
1СкРУ, III к. г.	48	45	6,3
2СгРУ, II к. г.	66	67	1,5
2СгРУ, III к. г.	75	81	7,4

Разница между дисперсиями, определенными различными способами, не превышает 10% (за исключением одного случая). Следовательно, представление совокупной изменчивости сопротивляемости ее суммой по двум главным направлениям является обоснованным. При этом сопротивляемость пласта (математическое ожидание) независимо от направления опробования должна быть статистически одинакова, а изменчивость различна. Поэтому при разрушении забоя исполнительным органом со сравнительно малой величиной захвата можно ожидать меньшую изменчивость сопротивляемости, чем при работе машины, исполнительный орган которой совершает движение от почвы к кровле или наоборот. Таким образом, на режим работы электропривода и трансмиссии комбайна может влиять принятая схема разрушения забоя исполнительным органом.

Поскольку изменчивость нагрузки электропривода во многом определяется вариацией свойств забоя [77, 78], то знание связи между сопротивляемостью и ее изменчивостью позволит определить возможную вариацию нагрузки электродвигателя при работе комбайна на пластах с различной сопротивляемостью. Для установления тесноты и формы уравнения связи между сопротивляемостью калийной руды и ее совокупной изменчивостью были составлены корреляционные матрицы [54]. Установлено, что связь между $\bar{\sigma}_{сдм}$ и $A_{сдм}$ описывается зависимостью вида

$$\bar{\sigma}_{сдм} = \sigma_{т} \frac{A_{сдм} i}{A_{сдм} i + A_{п}}, \text{ кгс/см}, \quad (1.3.6)$$

где $\sigma_{т}$ — постоянный коэффициент, характеризующий значение, к которому асимптотически приближается $\bar{\sigma}_{сдм}$ при увеличении $A_{сдм} i$; $A_{п}$ — постоянный коэффициент, характеризующий интенсивность возрастания зависимости $\bar{\sigma}_{сдм} = f(A_{сдм} i)$.

В результате обработки экспериментальных данных (с поправочным коэффициентом 1,6, учитывающим увеличение вариации совокупной изменчивости сопротивляемости пласта по сравнению с сопротивляемостью в одной точке опробования) были получены следующие уравнения для месторождений:

Верхнекамского

$$\bar{\sigma}_{сдм В} = 66 \frac{A_{сдм В}}{A_{сдм В} + 248} 1,6, \text{ кгс/см}; \quad (1.3.7)^*$$

Старобинского

$$\bar{\sigma}_{сдм СТ} = 222 \frac{A_{сдм СТ}}{A_{сдм СТ} + 2711} 1,6, \text{ кгс/см}. \quad (1.3.8)^*$$

* Для приведения значений изменчивости к классификационному признаку полученные данные следует разделить на соответствующий переходный коэффициент.

Из этих выражений следует, что интенсивность возрастания изменчивости сопротивляемости в условиях Верхнекамского месторождения по сравнению со Старобинским значительно выше, так как постоянный коэффициент A_n для условий Верхнекамского месторождения примерно в 11 раз меньше.

При установлении тесноты связи между $\bar{\sigma}_{сдм}$ и $A_{сдм i}$ применительно к Верхнекамскому и Старобинскому месторождениям были определены корреляционные отношения, составившие 0,57 и 0,56 при высокой степени их значимости. Поэтому выражениями (1.3.7) и (1.3.8) можно надежно пользоваться для установления величины изменчивости сопротивляемости (не полученной опытным путем) при сравнительном анализе производительности комбайнов и определений допустимой устойчивой мощности их электроприводов.

Совокупная относительная изменчивость сопротивляемости карагандинских углей и калийных руд составила соответственно 22—47% [37] и 10—26%.

Изменение сопротивляемости зависит от координат точек опробования пласта и может быть выражено случайной функцией, которая в общем случае является функцией пространства, характеризующей случайное поле [79]. Выше было показано, что изменчивость сопротивляемости вдоль выработки и по глубине массива одинакова и поле можно считать однородным, в то же время по мощности пласта поле неоднородно. Изучение неоднородного в пространстве поля сложно, поэтому сопротивляемость в целом по пласту определялась по одной координате (траектории) [80] обходом элементарных участков по длине выработки, глубине захвата и мощности пласта. Определение производилось на участках длиной 80—100 м, шириной 1,2—1,5 м и высотой выработки 3—6 м. Из-за отсутствия специальных средств измерения практически невозможно получить непрерывные реализации в пространстве с указанными размерами, поэтому пласт опробовали дискретно по элементарным участкам, которые в совокупности отражали реализацию сопротивляемости конечной длины. При обработке реализации вводились последовательно в машину одна за другой для увеличения их длительности [68]. По этим реализациям рассчитывались корреляционные функции и производился спектральный анализ сопротивляемости. Принятый метод обхода точек опробования забоя позволил определить спектр сопротивляемости пласта в целом по длине выработки, мощности и глубине массива (сечению выработки).

Низко- и высокочастотные составляющие спектра, обусловленные макро- и микроизменчивостью, анализировались отдельно. Низкочастотная составляющая изменения сопротивляемости оказывает влияние на производительность машин и нагрузку электродвигателей (в течение длительного пути движения комбайна). При выделении детерминированной высокочастотной части

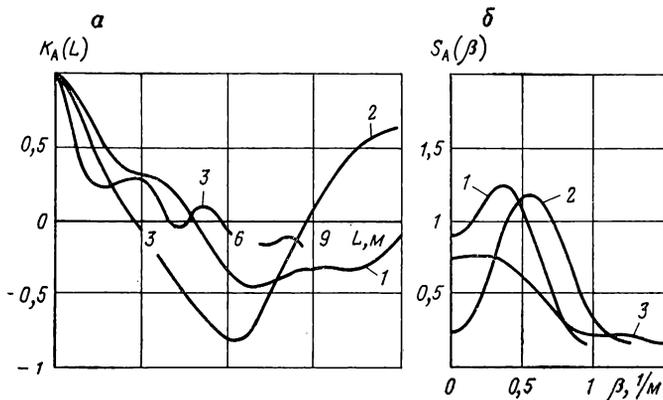


Рис. 1.3.2. Корреляционные функции (а) и спектральные плотности (б) сопротивляемости в целом по пласту:
 1 — 2БКРУ, пласт АВ; 2 — 2БКРУ, пласт Кр. II; 3 — 1БКРУ, пласт Кр. II

в соответствии с [81, 82] случайный процесс изменения сопротивляемости был ориентировочно отнесен к классу стационарных эргодических процессов.

В общем виде пространственная корреляционная функция сопротивляемости $K_A(L)$ должна рассматриваться как совокупность корреляционных функций, определяемых по захвату исполнительного органа (глубине массива) $K_A(B)$, вынимаемой мощности пласта $K_A(H)$ и длине проходимой выработки функции $K_A(l)$. В этом случае математическое ожидание случайной функции сопротивляемости для исследуемого пространства определится как средневзвешенная величина, полученная в трех взаимно перпендикулярных направлениях, а дисперсия при отсутствии достоверного различия между ними — как сумма дисперсий.

На рис. 1.3.2 приведены графики низкочастотных составляющих нормированных корреляционных функций и спектральных

Таблица 1.3.3

Рудоуправление, пласт	Математическое ожидание, кгс/см	Дисперсия, (кгс/см) ²	Относительная дисперсия d	Коэффициент интенсивности затухания корреляционной функции α , 1/м	Преобладающая частота β , 1/м	Период T, м
2БКРУ, АВ	202	1034	1	0,097	0,35	18
2БКРУ, Кр. II	227	924	1	0,027	0,53	12
1БКРУ, Кр. II	292	505	0,65 } 0,35 }	0,36 } 0,2 }	0,25 } 2,3 }	25 } 2,7 }

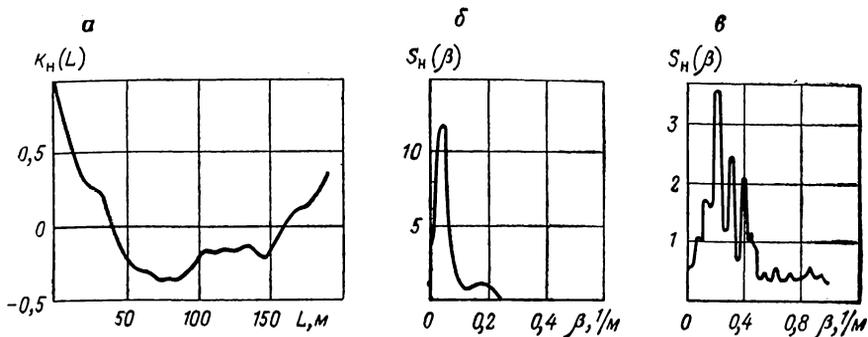


Рис. 1.3.3. Корреляционная функция и спектральная плотность гипсометрии IV слоя пласта Кр. II

плотностей $S_A(\beta)$, рассчитанных по реализациям сопротивляемостей пластов АБ и Кр. II на 1БКРУ и 2БКРУ. Длина реализации составила 27—27,5 м. Эти функции удовлетворительно аппроксимировались экспоненциально-косинусной кривой.

В табл. 1.3.3 приведены параметры корреляционных функций.

Корреляционные функции затухают сравнительно медленно, и во всех случаях имеет место периодическая составляющая сопротивляемости. По всей видимости, период изменения сопротивляемости связан с периодическим прорезанием слоев пласта, изменяющихся по гипсометрии с различной амплитудой. Для проверки этого предположения по ординатам профиля выработки пласта Кр. II на 1БКРУ была рассчитана нормированная корреляционная функция случайной функции изменения гипсометрии пласта $K_n(L)$. Высота ординат бралась по нижней границе IV слоя, хорошо просматриваемой по всей длине выработки.

На рис. 1.3.3, а и б приведены графики корреляционной функции и спектральной плотности изменения гипсометрии пласта $S_n(\beta)$, откуда видно, что кроме основной частоты 0,04 1/м с периодом около 160 м имеет место частота более высокого порядка. При выделении высокочастотной составляющей спектра (рис. 1.3.3, в) было установлено, что эта частота (0,23 1/м) и соответствующий ей период (27 м) равны аналогичным параметрам корреляционной функции (спектральной плотности) сопротивляемости. Этим доказывается влияние гипсометрии пласта на периодичность изменения сопротивляемости.

Большое практическое значение при установлении общей изменчивости нагрузки в зоне работы машины с несколькими исполнительными органами имеет знание радиуса корреляции сопротивляемости. Действительно, для определения изменчивости нагрузок в зоне корреляции при сложении дисперсий D_1 и D_2 добавляется член, равный $2\tau D_1 D_2$ [57, 59], где τ — радиус корреляции, оценивающий степень зависимости нагрузок при некотором расстоянии между исполнительными органами. Общая

изменчивость сопротивляемости в результате сложения дисперсий (при их взаимосвязи) в зоне радиуса корреляции будет больше и, соответственно, будет больше ее влияние на устойчивую мощность электродвигателей.

Как критерий степени затухания корреляционных функций был принят радиус корреляции, определяемый по [68]. Для упрощения расчетов радиус корреляции определялся в соответствии с [83]

$$\tau' = \frac{2\alpha^2 + \beta^2}{4\alpha(\alpha^2 + \beta^2)}, \quad (1.3.9)$$

причем $\tau = 2\tau'$.

Радиус корреляции в условиях пластов АБ на 2БКРУ и Кр. II на 1БКРУ составил соответственно 5,6 и 4,84 м. Радиус корреляции прямо пропорционален реологическим коэффициентам при практически одинаковом значении сопротивляемости, т. е. связь между пластическими свойствами руд различных пластов и радиусом корреляции — явление закономерное, обусловленное статистическими свойствами горного массива (чем неоднороднее массив, тем корреляционные связи между отдельными сечениями процесса проявятся на меньшем расстоянии). Поэтому в более вязкой среде радиус корреляции должен быть большим.

Для установления спектра сопротивляемости в направлении подачи комбайна (вдоль выработки) были проанализированы по низкочастотной составляющей параметры нескольких корреляционных функций случайных функций сопротивляемости слоев сильвинита и каменной соли, полученных на 1БКРУ и 2БКРУ по пласту Кр. II (табл. 1.3.4).

В структуре этих корреляционных функций, как и в результатах по пласту в целом, наблюдалась периодическая составляющая, но с несколько большей частотой (0,8—2,5 1/м). Спектр

Таблица 1.3.4

Слой	Математическое ожидание, кгс/см	Дисперсия (кгс/см) ²	Относительная дисперсия d	Коэффициент интенсивности затухания корреляционной функции α , 1/м	Преобладающая частота β , 1/м	Период T , м	Радиус корреляции τ , м
Каменная соль	201	531	1	0,15	2,0	3,1	3,3
То же	284	961	1	0,27	0,8	7,2	2,1
Сильвинит	281	1474	1	0,43	2,5	2,5	1,2
То же	315	754	1	0,35	0,73	8,4	1,63
То же	315	437	1	0,24	1,0	6,3	2,26

сопротивляемости более высокого порядка по сравнению с полученным в среднем по пласту можно объяснить влиянием гипсометрии прослоек, частота от которых со сравнительно небольшой спектральной плотностью мощности прослеживается на рис. 1.3.3. О пластических свойствах прослоек сильвинита и каменной соли можно судить также по величине радиуса корреляции сопротивляемости, которая для сильвинита (1,63—2,26) меньше, чем для каменной соли (2,1—3,3 м).

Следует отметить, что масштабный фактор [33, 76] при количественном сравнении данных в среднем по пласту и вдоль забоя может внести некоторую ошибку, так как длина реализации вдоль забоя в 3—5 раз меньше, чем в целом по пласту.

Из-за большого числа прослоек, слагающих пласт, радиус корреляции по его мощности должен быть значительно меньше, чем по пласту в целом. Для пластов АБ и Кр. II ниже приведены значения радиусов корреляции для каждой слагающей корреляционной функции, определенной при обходе забоя по мощности и глубине забоя:

Пласт	τ_1	τ_2	τ_3
АБ	0,26	5,64	0,42
Кр. II	0,08	1,82	5,0

Величины τ_2 и τ_3 отражают связи составляющих, характеризующих спектр сопротивляемости соответственно в целом по пласту и в направлении подачи комбайна. Очевидно, радиус корреляции τ_1 должен отражать корреляционные связи в направлении мощности пласта. Установить спектр сопротивляемости по мощности пласта, составляя реализации путем обхода точек опробования, — задача довольно сложная, так как требует большого числа опробований малым шагом, не превышающим мощности часто встречающихся прослоек размером от 0,02 до 0,12 м. Поэтому частота изменения сопротивляемости по мощности пласта устанавливалась приближенно. Для этого анализировались спектральные плотности высокочастотной части реализации сопротивляемости, определенные как по мощности, так и в целом по пласту и вдоль выработки. Такой подход правомерен ввиду того, что помимо частоты, обусловленной изменчивостью гипсометрии прослоек пласта, имела место частота более высокого порядка, связанная с пересечением по мощности при бурении отдельных тонких прослоек, слагающих слой пласта. Поэтому штыб выходил различного цвета и крупности. Частота пересечения прослоек учитывалась при анализе высокочастотного спектра реализаций сопротивляемости.

В табл. 1.3.5 приведены параметры корреляционных функций и спектральных плотностей по высокочастотным и низкочастотным составляющим реализаций, а также энергетическая ширина спектра [84].

Таблица 1.3.5

Рудоуправление, пласт	Реализация	По низкочастотной составляющей			По высокочастотной составляющей		
		Преобладающая частота β , 1/м	Спектральная плотность мощности	Ширина спектра $\Delta\beta$, 1/м	Преобладающая частота β , 1/м	Спектральная плотность мощности	Период T , м
2БКРУ, АБ	В целом по пласту	0,35	1,2	0,83	15	0,08	0,42
2БКРУ, Кр. II	То же	0,53	1,2	0,83	15	0,06	0,42
1БКРУ, Кр. II	»	0,25	0,75	1,3	—	—	—
2БКРУ, Кр. II	По длине выработки: Каменная соль	2	0,45	2,2	14	0,13	0,45
1БКРУ, Кр. II	То же	4	0,22	4,5	15	0,07	0,42
2БКРУ, АБ	»	0,63	0,9	1,1	14	0,11	0,45
2БКРУ, Кр. II	Сильвинит	2,5	0,35	2,8	10	0,08	0,63
1БКРУ, Кр. II	То же	1	0,47	2,1	15	0,2	0,42
1БКРУ, Кр. II	По мощности	—	—	—	15	0,29	0,42

В спектре высокочастотной составляющей преобладала частота, изменяющаяся в основном от 14 до 15 1/м с периодом 0,42—0,45 м, что примерно соответствует средней мощности прорезаемых исполнительным органом слоев, существенно отличающихся по сопротивляемости. Поэтому при работе комбайна в его трансмиссии могут появиться частоты, генерируемые забоем.

Параметры спектральной плотности, приведенные в табл. 1.3.5, выражены через пространственный аргумент, поэтому для перехода к частоте процесса, рассматриваемого во времени, следует пользоваться соотношением

$$\beta_c = \beta_l V_p, \text{ 1/с}, \quad (1.3.10)$$

где V_p — скорость резания, м/с.

Установлено, что частота изменения нагрузки при скорости резания резцов на диске 2,2 м/с, в частности комбайна «Урал 10КС», составила около 5,3 Гц, что соизмеримо с основной частотой 9,6 Гц, зафиксированной в трансмиссии главного редуктора рабочего органа этого комбайна. Поэтому частоту, генерируемую забоем, следует учитывать при анализе динамических процессов в системе.

Представление сопротивляемости в виде случайной функции позволяет планировать объем электрических измерений потребляе-

мой мощности, т. е. устанавливать требуемую длину участка забоя, в пределах которого определяется достоверное значение мощности электродвигателя комбайна.

По результатам электрических измерений потребляемой мощности при одновременной фиксации скорости подачи, имеющих основное значение для объективной оценки вновь созданной машины, можно проверить обоснованность выбора параметров разрушения забоя и установить техническую производительность комбайна на породах с различными свойствами.

Так как пластовые месторождения характеризуются значительным непостоянством свойств, а влияние объема измерений на их конечную точность может быть установлено только с учетом конкретных свойств разрушаемой среды, то для более полной оценки изменчивости сопротивляемости при изменении длины участка измерения были использованы результаты спектрального анализа сопротивляемости (см. табл. 1.3.3). Зависимость полноты охвата дисперсии от длины участка измерений $D_{A\Sigma} = f(L)$, представленная в процентах, получена следующим способом. Для каждого значения спектральной плотности $S_{A_i}(\beta_L)$ по частоте определялся ее период.

Сумма ординат спектральной плотности $\Sigma S_{A_i}(\beta_L)$ с учетом шага дискретизации принималась за 100%, а удельный вес отдельных значений частот устанавливался по соотношению

$$D_A = \frac{100 S_{A_i}(\beta_i)}{\sum S_{A_i}(\beta_i)}, \% \quad (1.3.11)$$

По накопленной сумме ординат спектральной плотности, представляющих долю охвата дисперсии сопротивляемости $D_{A\Sigma}$, и соответствующему периоду (протяженности забоя) на рис. 1.3.4 показаны зависимости $D_{A\Sigma} = f(L)$.

При охвате дисперсии около 80%, что достаточно для определения достоверности среднего значения потребляемой электродвигателем мощности, длина участка измерений для пласта Кр. II должна быть не менее 15—16 м, а для пласта АБ — в пределах 21—23 м.

Для проверки влияния длины участка забоя с заданной величиной охвата дисперсии сопротивляемости на погрешность электрических измерений, выполненных на этом же участке, использовались корреляционные функции мощности. Эти функции выражены через временной аргумент, поэтому для приведения их к пространственному аргументу использовались соотношения

$$\alpha_N = \frac{3,6\alpha_c}{V_n}, 1/м \quad \text{и} \quad \beta_N = \frac{3,6\beta_c}{V_n}, 1/м, \quad (1.3.12)$$

где V_n — скорость подачи комбайнов, м/ч.

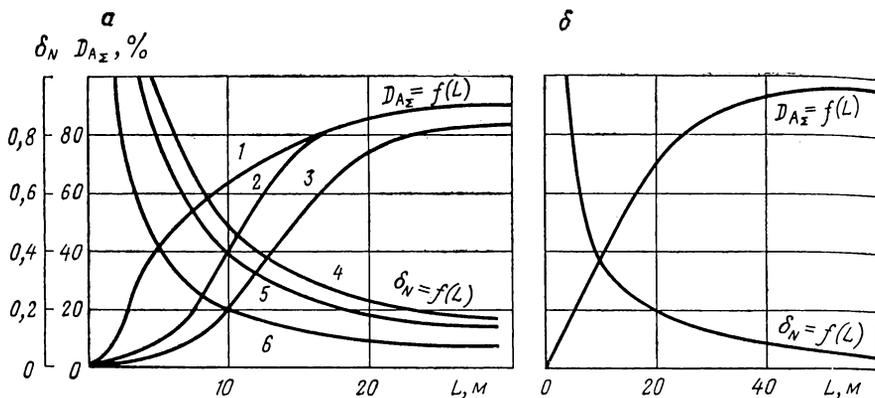


Рис. 1.3.4. Зависимость полноты охвата дисперсии $D_{A_{\Sigma}}$ и погрешности электрических измерений δ_N от длины участка забоя для:

α — калийных руд; 1 — 1БКРУ, пласт Кр. II; 2 — 2БКРУ, пласт Кр. II; 3 — 2БКРУ, пласт АВ; 4, 5 — ПК-8, 2БКРУ, пласт АВ; 6 — «Урал 20КС» 1БКРУ, пласт Кр. II, 6 — угля

В табл. 1.3.6 приведены результаты электрических измерений и параметры корреляционных функций мощности, выраженные через пространственный аргумент, полученные на комбайнах ПК-8, ПК-10 (2БКРУ, пласт АВ) и «Урал 20КС» (1БКРУ, пласт Кр. II).

Таблица 1.3.6

Показатели	ПК-8		ПК-10	«Урал 20КС»
	Буро-вой	Буро-скальыва-ющий		
Средняя мощность N , кВт	129	147	164	105
Среднее квадратическое отклонение σ_N , кВт	26,7	35,4	27	24,3
Коэффициент вариации, %	20,7	24,1	16,5	23
Параметры корреляционных функций				
d_1	0,75	0,6	1	0,3
α_{N_1} , 1/м	-0,65	-0,86	-2,24	-1,39
β_{N_1} , 1/м	1,02	1,0	1,66	4,2
d_2	0,25	0,4	—	0,7
α_{N_2} , 1/м	-0,78	-0,86	—	2,48
Длина реализации по забою, м	11,5	8,7	3,5	10

Из этих данных видно, что параметры корреляционных функций средней мощности электродвигателей $K_N(L)$, измеренной в условиях одного пласта и рудоуправления, колеблются в определенных пределах. Из теории случайных функций известно [85], что в силу конечности интервала интегрирования L (длины реализации) корреляционная функция является случайной функцией, зависящей, в частности, от L . Поэтому для оценки точности корреляционной функции, определяемой на интервале L , принималась дисперсия $K_N(L)$. По существу оценка погрешности $K_N(L)$ сводится к определению такого интервала L , при котором средняя квадратическая ошибка, обусловленная конечностью L , не превосходит бы наперед заданного значения. Зная из табл. 1.3.6 аппроксимирующие выражения $K_N(L)$, можно вычислить погрешность δ_N в зависимости от длины интервала L или, наоборот, задавая величиной δ_N (в относительных единицах), установить длину участка измерения [85]. При этом для корреляционных функций вида

$$K_N(L) = d_1 e^{-\alpha_{N_1} L} \cos \beta_{N_1} L$$

и

$$K_N(L) = d_1 e^{-\alpha_{N_1} L} \cos \beta_{N_1} L + d_2 e^{-\alpha_{N_2} L},$$

величина L определится из выражений соответственно

$$L = \frac{1}{\delta_{N_1}} \left(\frac{1}{\alpha_{N_1}} + \frac{\alpha_{N_1}}{\alpha_{N_1}^2 + \beta_{N_1}^2} \right); \quad (1.3.13)$$

$$L = \frac{1}{\delta_N} \left(\frac{1}{\alpha_{N_1}} + \frac{\alpha_{N_1}}{\alpha_{N_1}^2 + \beta_{N_1}^2} + \frac{2}{\alpha_{N_2}} \right). \quad (1.3.14)$$

По формулам (1.3.13) и (1.3.14) на рис. 1.3.4 построены зависимости $\delta_N = f(L)$, из которых следует, что требуемая протяженность участка электрических измерений (исходя из допустимой средней квадратической ошибки 20%) для пластов АБ и Кр. II не превышает необходимой длины участка забоя из условия полноты охвата доли дисперсии сопротивляемости. Для угольных пластов, например Карагандинского бассейна, существенно отличающихся свойствами от калийных руд, с целью охвата изменчивости сопротивляемости угля с тем же уровнем вероятности измерения нужно вести на участке длиной не менее 40 м. При объеме измерений, проводимых на таких участках, возможная погрешность δ_N будет составлять 10—20%. Такая точность может считаться достаточной для исследований, устанавливающих возможную производительность горных машин или другие технические характеристики.

При планировании объема электрических измерений кроме длины забоя, на котором достигается заданная надежность их результатов, нужно учитывать скорость подачи машины. Это необходимо для получения вариационного ряда, с помощью

которого обрабатывается материал методами математической статистики. При этом шаг дискретизации Δt (участок осреднения записи прибора), равный 30 или 15 с, вполне достаточен для выявления низкочастотной составляющей спектра. Число вариантов ряда (при $\Delta t = 30$ с)

$$n = \frac{L_m 3600}{V_n \Delta T_d} = \frac{60T_d}{\Delta T_d}, \quad (1.3.15)$$

где L_m — длина пути машины при измерениях, м; T_d — длительность измерений, мин.

Для комбайнов, работающих по пластам Кр. II и АБ ($V_n = 4 \div 5$ м/ч), при установленной протяженности участка забоя число вариант равно 450—550, что является достаточным статистическим массивом для обработки методами случайных величин или случайных функций. В то же время при работе угольных комбайнов ($V_n = 1,5 \div 2$ м/мин) число вариант составляет 40—115, что недостаточно, по крайней мере, для пользования методами случайных функций. Из этих соображений в угольных забоях объем измерений необходимо соответственно увеличить по сравнению с данными, приведенными на рис. 1.3.4, 6.

Согласно приведенным исследованиям изменчивости сопротивляемости калийных руд по трем главным взаимно перпендикулярным направлениям установлена количественная оценка этого показателя, необходимая для анализа режимов работы электропривода комбайнов (см. гл. III).

Определенная связь между сопротивляемостью и ее изменчивостью позволила прогнозировать ее величину для условий, где сопротивляемость пластов неизвестна.

Спектральным анализом установлено влияние гипсометрии пласта на изменчивость сопротивляемости. При этом показана возможность возбуждения со стороны забоя колебаний, совпадающих с колебаниями в трансмиссии комбайнов. Благодаря анализу изменчивости с допустимой погрешностью была установлена протяженность участка проведения электрических измерений для определения показателей технического уровня машин.

1.4. Прогнозирование сопротивляемости пластов

Для установления производительности комбайнов и области их применения необходимо сопротивляемость забоя определять в каждом конкретном случае. Выполняемые с этой целью экспериментальные работы, весьма трудоемкие и связанные с большими затратами средств и времени, не всегда своевременно позволяют получить данные по сопротивляемости разрушаемого массива. Задача особенно усложняется для проектируемых и строящихся шахт, где часто и невозможно произвести необходимые эксперименты. Отсюда очевидна актуальность разработки метода ориентировочного прогнозирования ожидаемой сопротивляемости забоя.

Так как с увеличением глубины разработки растет горное давление, под действием которого меняется состояние пород в массиве, то можно предположить, что при этом будет изменяться сопротивляемость, а следовательно, и производительность выемочных машин.

Исследования влияния глубины разработки касались главным образом изучения напряженного состояния горного массива. Отдельные попытки английских исследователей оценить влияние давления на усилия резания [86, 87] ограничены лабораторными исследованиями на угольных образцах. В основном изменения физико-механических свойств в зависимости от глубины залегания изучались на песчаниках, глинистых и песчанистых сланцах [88—91]. Так как на сопротивляемость угля оказывает влияние множество горнотехнологических факторов и ее прогнозирование сопряжено с большими трудностями, то рассматриваемый ниже способ является приближенным.

При изучении влияния глубины разработки на сопротивляемость угля следует учесть основной момент, подлежащий исследованию: изменение сопротивляемости угля в неотжатой и призабойной частях массива, т. е. в зоне работы исполнительных органов выемочных машин.

Можно допустить, что при разной величине горного давления, зависящего от глубины залегания пласта, уплотнение угольного вещества за счет имеющихся трещин будет происходить неодинаково. По-видимому, при уплотнении угольного вещества сопротивляемость его резанию должна возрасти. Подобные результаты были получены английскими исследователями на угольных блоках в лабораторных условиях [86]. Естественно, что процесс уплотнения угольного вещества при определенном давлении прекратится, и при дальнейшем увеличении глубины залегания сопротивляемость угля возрастать не должна. Однако не исключена возможность, что при этом сопротивляемость угля в приповерхностной зоне забоя несколько снизится за счет опорного давления.

Следовательно, на изменение сопротивляемости угля при прочих равных условиях могут оказывать влияние уплотнение угольного вещества и опорное давление. В зависимости от того, что из них на определенной глубине разработки будет превалировать, сопротивляемость угля увеличится или снизится. Этот вывод можно проиллюстрировать на примере (табл. 1.4.1) Промышленного участка Карагандинского бассейна [92].

Из таблицы видно, что предельная глубина залегания, ниже которой сопротивляемость угля не увеличивается, для углей различной сопротивляемости неодинакова.

Можно допустить, что при стабильном значении показателя сопротивляемости \bar{A} , не зависящего от глубины залегания пласта, увеличение горного давления при прочих равных условиях будет оказывать влияние на призабойную часть массива. На рис. 1.4.1

Таблица 1.4.1

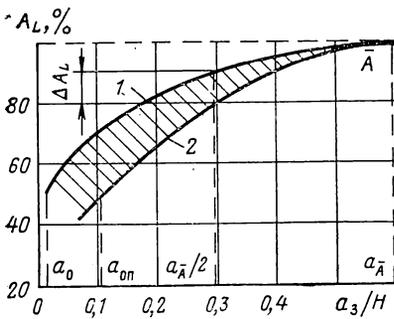


Рис. 1.4.1. Зависимость сопротивления угля A_L в призабойной части массива от глубины разработки:

$$1 - A_L = f(a_3/H) \text{ при } H_{д1};$$

$$2 - A_L = f(a_3/H) \text{ при } H_{д2}$$

Пласт	Глубина разработки $H_{д}$, м	Сопротивляемость, кгс/см
K ₁₂	160	132
K ₁₂	270	230
K ₁₀	160	130
K ₁₀	223	220
K ₁₀	285	208
K ₃	60	154
K ₃	224	153
K ₃	311	163

схематически показано изменение сопротивления A_L от заглубления в массив a_3/H , принятого в долях от мощности пласта. Заштрихованная часть площади численно равна приращению работы горного давления, затраченной на ослабление угольного массива при изменении глубины разработки. Величина горного давления определяется по формуле

$$\sigma_d = \gamma H_d, \text{ кгс/м}^2, \quad (1.4.1)$$

где γ — плотность толщи пород, кг/см³.

Работу горного давления можно определить по произведению σ_d площади выработанного пространства и средней величины опускания кровли

$$A_d = \gamma H_d S_m l_{оп}, \text{ кгс} \cdot \text{м}, \quad (1.4.2)$$

где S_m — площадь выработанного пространства, м²; $l_{оп}$ — средневзвешенное опускание кровли, м.

Площадь выработанного пространства

$$S_m = LB_n, \text{ м}^2, \quad (1.4.3)$$

где L — длина лавы, м; B_n — ширина выработанного пространства, включая зону ослабления массива отжимом до глубины, на которой усилия резания стабилизируются.

Так как усилия резания при заглублении в массив в зоне работы исполнительных органов возрастают по гиперболе [71],

то снижение сопротивляемости ΔA_L под действием горного давления в призабойной части массива можно представить в виде

$$\Delta A_L = \frac{\frac{\bar{a}_A}{2}}{\frac{\bar{a}_A}{2} + a_0} - \frac{\bar{a}_A \frac{\bar{a}_A}{2}}{\frac{\bar{a}_A}{2} + a_{оп}}, \quad (1.4.4)$$

где $\frac{\bar{a}_A}{2}$ — заглубление в массив, на котором определяется ΔA_L , см; a_0 — коэффициент, характеризующий степень проявления отжима, [71] при H_d ; \bar{a}_A — заглубление в массив, на котором усилие резания стабилизируется, см; $a_{оп}$ — коэффициент, характеризующий степень влияния отжима угля на усилия резания при увеличении глубины разработки до H_{d_2} .

Изменение коэффициента $a_{оп}$ от работы горного давления можно определить, исходя из следующих соображений. Допуская, что H_{d_2} численно равна площади $S_{пл_i}$, можно записать

$$A_d = \bar{A} \bar{a}_A - \int_0^{\bar{a}_A} \frac{\bar{A} \bar{a}_A}{\bar{a}_A + a_{оп}} da, \quad \text{кгс} \cdot \text{м}. \quad (1.4.5)$$

Тогда из формул (1.4.2) и (1.4.5) определяется $a_{оп}$ при прочих известных значениях входящих величин. Снижение сопротивляемости ΔA_L пропорционально работе горного давления:

$$\Delta A_L = C A_d, \quad \text{кгс/см} \quad (1.4.6)$$

или

$$C = \frac{\Delta A_L}{A_d}. \quad (1.4.7)$$

Подставив из (1.4.2) и (1.4.4) значения A_d и ΔA_L и придавая различные значения коэффициенту a_0 , можно установить характер изменения коэффициента пропорциональности C .

Изменение усилий резания угля в призабойной части массива в зависимости от глубины разработки нашло экспериментальное подтверждение при определении показателя сопротивляемости по пласту K_3 на глубине 60 и 224 м. При этом на глубине разработки 224 м при одинаковой сопротивляемости угля (154 кгс/см) отжим проявлялся сильнее.

Прогнозирование сопротивляемости калийных руд благодаря ее меньшей относительной изменчивости по сравнению с сопротивляемостью углей и меньшему числу влияющих факторов несколько проще. Основная трудность заключается в определении главного влияющего фактора, непосредственно связанного с показателем сопротивляемости. При сопоставлении сопротивляемости, глубины залегания и содержания нерастворимого осадка

Таблица 1.4.2

Рудоуправление	Содержание Н. О. (%) для пласта		Глубина залегания (м) для пласта		Сопротивляемость (кгс/см) для пласта	
	АБ	Кр. II	АБ	Кр. II	АБ	Кр. II
2СкРУ	1,6	1,3	280	291	785	600
1СкРУ	1,4	1,0	253	262	—	—
1БКРУ	2,1	1,4	276	287	—	524
2БКРУ	6,2	2,5	362	369	454	407
3БКРУ	7,2	3,8	376	385	—	—
4БКРУ и 5БКРУ	1,9	1,9	285	293	—	—

Н.О. (породообразующий компонент калийных руд) между ними была замечена четкая связь. Прогнозирование ожидаемой сопротивляемости выполнено на примере Верхнекамского месторождения. В табл. 1.4.2 приведены экспериментальные данные.

С увеличением глубины залегания возрастает содержание Н. О. и снижается показатель сопротивляемости. При тесной связи влияющих факторов [54, 93] каждый из них может служить основным. Корреляционным анализом была установлена тесная связь между глубиной залегания пластов Кр. II и АБ и содержанием Н. О. Коэффициенты корреляции соответственно составили 0,935 и 0,92 при высокой степени их значимости.

Удобнее всего для прогнозирования сопротивляемости использовать содержание Н. О. — компонент, прямо влияющий на процесс обогащения и определяемый систематически. Экспериментальные данные удовлетворительно аппроксимировались гиперболическими зависимостями, уравнения регрессии которых для пластов Кр. II и АБ составили соответственно:

$$\bar{A} = 195 + \frac{500}{\text{Н. О.}}, \text{ кгс/см}; \quad (1.4.8)$$

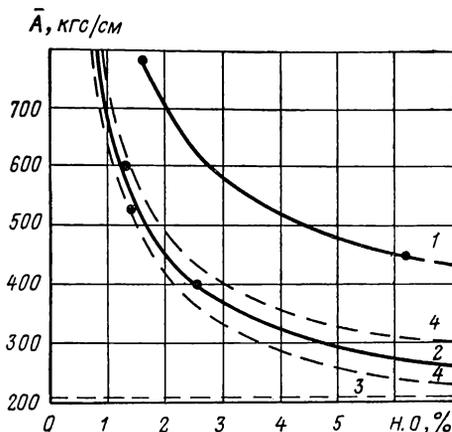
$$\bar{A} = 340 + \frac{710}{\text{Н. О.}}, \text{ кгс/см}. \quad (1.4.9)$$

Зависимость $\bar{A} = f(\text{Н. О.})$, в частности для пласта Кр. II из-за малого числа определений \bar{A} можно рассматривать как отдельную выборку из совокупности, кривая регрессии которой находится в доверительной зоне и является лишь оценкой истинной кривой регрессии. Следовательно, задача сводится к определению доверительной зоны около эмпирической зависимости (1.4.8), попадание в которую истинной регрессии гарантировалось бы с вероятностью $p = 0,9$.

Метод определения границ доверительной зоны сопротивляемости калийных руд резанию с той же целью может быть использован применительно к угольному и любому другому горному

Рис. 1.4.2. Зависимость сопротивления пластов калийной руды от содержания в ней Н. О.:

1 — пласт АВ; 2 — пласт Кр. II; 3 — уровень сопротивления прослойки, полностью замещенного Н. О.; 4 — границы доверительной зоны



массиву. Определение границ доверительной зоны производилось в соответствии с разработанными в математической статистике положениями [94]. Предварительно определялись среднее значение содержания Н. О., составившее 1,98%, и условная дисперсия S_A^2 регрессии (1.4.8) по формуле

$$S_A^2 = \frac{\sum_1^n (\bar{A} - A_{cp})^2}{n-2}, \quad (\text{кгс/см})^2, \quad (1.4.10)$$

где $A_{cp} = \frac{\sum_1^n \bar{A}}{n}$, кгс/см.

Для установления доверительной зоны зависимости (1.4.8) при наиболее вероятной области изменения содержания Н. О. от 1 до 3,8% рассчитывались величины:

$$C_{\text{Н. О.}} = \frac{\text{Н. О.}_{0.1} - \text{Н. О.}_{\text{ср}}}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (\text{Н. О.}_i - \text{Н. О.}_{\text{ср}})}}; \quad (1.4.11)$$

$$D = \frac{\text{Н. О.}_{0.2} - \text{Н. О.}_{\text{ср}}}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (\text{Н. О.}_i - \text{Н. О.}_{\text{ср}})}}; \quad (1.4.12)$$

$$\lambda = \sqrt{\frac{1}{2} \left[1 - \frac{1 + n C_{\text{Н. О.}} D}{\sqrt{(1 + n C_{\text{Н. О.}}^2)(1 + n D^2)}} \right]}. \quad (1.4.13)$$

После подстановки в (1.4.13) значений $C_{\text{Н. О.}}$ и D величина λ получилась равной 0,812.

Таблица 1.4.3

Рудоуправление	Н. О. (%) для пласта		\bar{A} (кгс/см) для пласта	
	АБ	Кр. II	АБ	Кр. II
1СКРУ	1,4	1	850	690
4БКРУ	1,9	1,9	700	450
1БКРУ	2,1	—	600	—
3БКРУ	7,2	3,8	430	325

При доверительной вероятности $p = 0,9$ и числе степеней свободы $m = n - 2 = 4$ по таблице [94] определялось критическое значение $U_{p,m,\lambda}$ для границ доверительной зоны, составившее 2,87. Искомая доверительная зона для (1.4.8) определялась по уравнению

$$A_{\max}^{\min} = 195 + \frac{500}{\text{Н. О.}} \pm U_{(p,m,\lambda)} \frac{S_{\bar{A}}}{\sqrt{n}} C_1', \text{ кгс/см}, \quad (1.4.14)$$

где

$$C_1' = f(\text{Н. О.}) = \frac{1}{S_{\bar{A}}} \sqrt{S_{\bar{A}}^2 + (\text{Н. О.} - 1)^2}.$$

Значение A_{\max}^{\min} для условий пласта Кр. II составило ± 49 кгс/см.

На рис. 1.4.2 пунктиром обозначены границы доверительной зоны. Связь показателя сопротивляемости резанию с Н. О. наиболее интенсивна при увеличении содержания Н. О. до 2,5—3%.

В табл. 1.4.3 на основании выполненного анализа приведены ожидаемые значения показателей сопротивляемости для шахтопластов, вводимых в эксплуатацию рудников, и для условий, где экспериментальные работы не проводились.

Полученные значения сопротивляемости ориентировочные, но ими можно пользоваться для прогноза ожидаемой производительности комбайнов (при известной их энерговооруженности) на вновь вводимых в эксплуатацию рудниках.

ОБОБЩЕНИЕ И АНАЛИЗ ОСНОВНЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ КОМБАЙНОВ

В настоящее время калийная промышленность располагает относительно большой номенклатурой комбайнов проходческого типа, находящихся в промышленном производстве, выпущенных в виде опытных образцов или проектируемых.

Анализ технических параметров комбайнов и выбор объектов исследования целесообразно проводить на основе классификации применяемых типов машин — отличительных признаков, определяемых их функциональным назначением и технологическими особенностями применения. Однако для машин, применяемых в калийной промышленности, такой классификации еще нет. Предложенная классификация [95] недостаточно полная, не содержит всех технологических и конструктивных особенностей комбайнов для выемки калийных руд, а известные классификации проходческих комбайнов по углю нельзя считать вполне приемлемыми для условий калийной промышленности, так как не подразделяют исполнительные органы по виду разрушения забоя (щелевое или с поверхности забоя) и не учитывают формы образующей выработки и ее размеры [96, 97, 98].

В данной книге с учетом некоторых положений [99] предлагается классификация, охватывающая более широкий круг отличительных признаков (рис. 2.1.1). По функциональному назначению комбайны могут быть подразделены на следующие основные группы для валовой добычи при сплошном разрушении забоя в камерах или штреках и для селективной выемки забоя в камерах или лавах*. Комбайны каждой группы по своему рабочему циклу делятся на машины циклического и непрерывного действия. К комбайнам непрерывного действия относятся машины, которые могут осуществлять добычу без перерывов в пределах данного забоя, если это позволяют применяемые в комплексе транспортные средства. Кроме рабочего цикла производительность комбайна определяется также типом исполнительного органа (с учетом способа и параметров разрушения забоя). Наибольшее число вариантов приходится на классификационный признак «Тип исполнительного органа». Например, комбайны I, II и III групп имеют шесть возможных исполнений рабочего

* Для работы в лавах могут применяться и комбайны, осуществляющие валовую добычу.

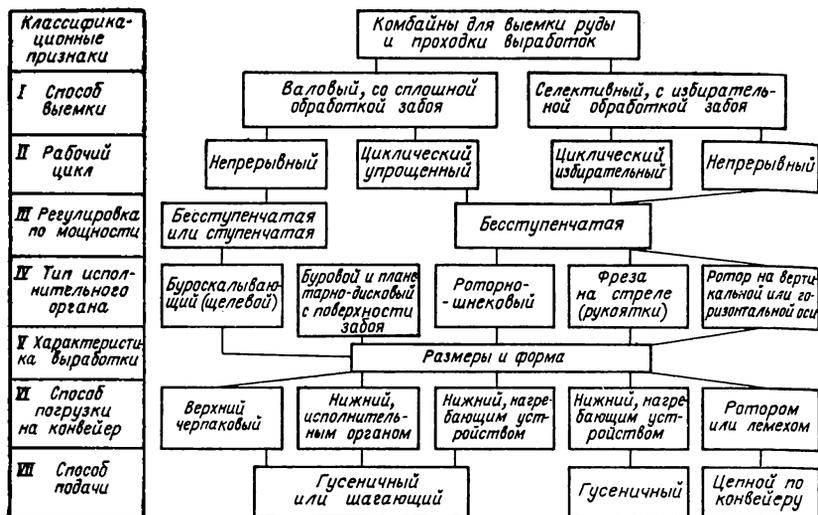


Рис. 2.1.1. Классификация комбайнов для выемки калийных руд

органа: буроскальвующие (щелевые), буровые с поверхности, планетарно-дисковые, цепные (в виде пакета режущих цепей), роторно-шнековые и корончатые на подвижной стреле.

Пользуясь классификацией основных признаков комбайнов для добычи калийных руд, можно определить комбайны, в конструкциях которых отражено большинство существующих направлений в создании машин данного назначения. Для этих целей достаточно ограничиться подразделением комбайнов с учетом их функционального назначения на I, II и IV классификационные признаки (табл. 2.1.1).

Если машины отечественного производства охвачены анализом практически все, эксплуатируемые или проходившие испытания на калийных рудниках, то из числа зарубежных отобраны лишь наиболее характерные аналоги, достаточно представительного характеризующие общие тенденции развития этого класса комбайнов. Перечень зарубежных комбайнов для работы в камерах не исчерпывается указанными в табл. 2.1.1. Однако без ущерба для полноты картины достаточно ограничиться указанными, поскольку машины ряда других наименований являются повторением перечисленных. Данные таблицы также показывают, что не все направления возможного развития нашли отражение в отечественной и американской практике. Так, в американской практике совершенно не находят применения исполнительные органы бурового типа и исполнительные органы в виде коронок.

Основное внимание в настоящей главе уделяется сравнительному анализу технических параметров комбайнов без учета их

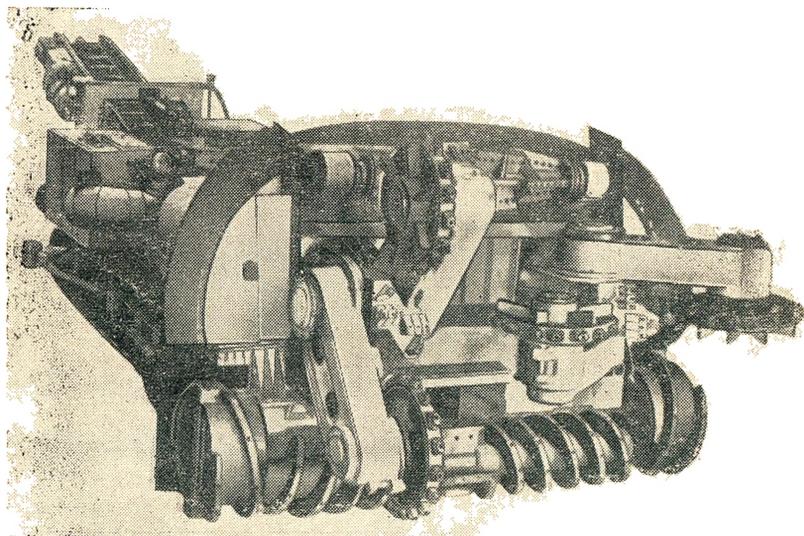
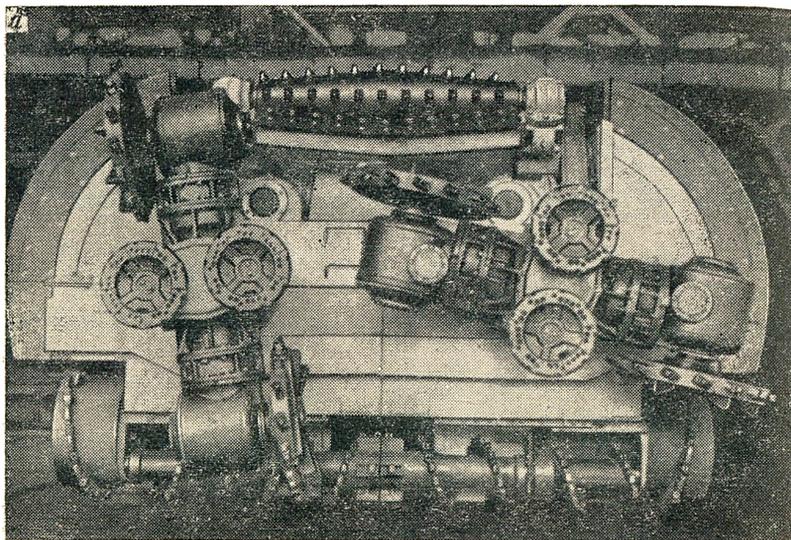
Таблица 2.1.1

Классификационные признаки	I	Валовый, со сплошной обработкой забоя		Селективный, с избирательной обработкой забоя	
	II	Непрерывного действия		Циклического действия	
				Упрощенный	Избирательный
	IV	Буроскаль-вающий	С поверхности забоя		Роторно-шнековый, цепной
Буровой			Планетарный		
Машины отечественного производства	ШБМ ПК-10 ПК-8	ШБМ ПК-10 ПК-8 ПК-8М	«Караганда 7/15С» «Караганда 7/15М» «Урал 10КС» «Урал 20КС»	Проектируются (ПКЦ)	ПК-11; 2КСН
Машины зарубежных фирм (США)	«Джой 2ВТ-6» «Гудмен 426» «Гудмен 526» «Марьетта 1012» «Марьетта 780А» «Марьетта 780А4»	—		6РМ; 2В; 6СМ; 8СМ; 10СМ; СМ45Е; «Марьетта 3080»	—

технической производительности и других эксплуатационных характеристик. Ниже приведены технические данные комбайнов только в объеме, необходимом для этой цели. Подробно эксплуатационные характеристики комбайнов анализируются в 4 и 5 главах.

2.1. Анализ технических параметров комбайнов непрерывного действия

Комбайны непрерывного действия являются наиболее распространенным типом машин, повсеместно применяемых при выемке калийной руды в камерах или проходке подготовительных выработок на калийных рудниках. Комбайны этого назначения изготавливаются практически только в СССР и США. Применение комбайнов в калийной промышленности может быть подразделено на три этапа. На первом этапе испытывались и использовались комбайны, созданные для угольной промышленности (ПК-3, К-56, ШБМ, «Караганда 7/15»). На втором этапе испытывались машины американского производства (6РМ-2В, 2ВТ-6), разрабатывалось



и осваивалось производство машин с буроцелевыми исполнительными органами ПК-8 и ПК-10 с использованием зарубежного опыта. На третьем этапе создавались машины с планетарно-дисковым исполнительным органом («Караганда 7/15С», «Урал 10КС» и «Урал 20КС»). Третий этап, продолжающийся и в настоящее

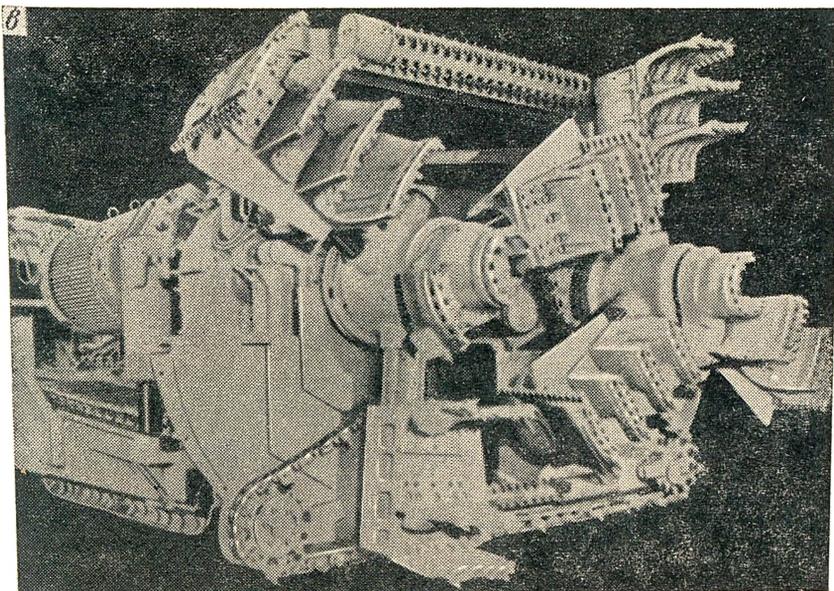


Рис. 2.1.2. Исполнительный орган комбайна:
а — «Урал 20КС»; б — «Урал 10КС»; в — «Маринетта 1012АСД»

время, характеризуется также переходом от щелевых схем разрушения забоя на комбайнах ПК-8 и ПК-10 к сплошным.

Сводные технические данные [1, 10, 14, 15, 17, 19, 22, 23, 26, 98, 100—111] по комбайнам непрерывного действия в объеме, необходимом для выполнения поставленной при анализе задачи, приведены в табл. 2.1.2*. На рис. 2.1.2 показаны общие виды исполнительных органов наиболее характерных комбайнов непрерывного действия.

2.1.1. Характеристики выработок, проходимых комбайнами

Важной технологической характеристикой комбайнов непрерывного действия являются форма и размеры образуемых выработок, так как от них зависят область рационального применения машин при их использовании на очистных работах в камерах, уровень энерговооруженности и возможность применения самоходных вагонов той или иной грузоподъемности.

На рис. 2.1.3 приведены основные размеры и форма проходимых выработок. Эти данные показывают, что при использовании комбайнов непрерывного действия сечение проходимых

* В таблице и далее по тексту приняты следующие сокращения: и. о. — главный исполнительный орган; ц. б. — центральный бур; б. б. — боковой бур; б. о. — бермовый орган; кр. — крестовина.

Комбайны непрерывного действия

Буроскалывающие

Показатели	ШЕМ-2 ШЕМ-3	ПК-8	ПК-10	2ВТ-6 («Джой»)»	«Гудмен»		«Маршета»	
					426	526	1012АСД	780А
Размеры выработок: сечение, м ² ширина, м	7,5 3,0	8; 9 3; 3,2	12—14 5,3	7,6—9,4 3,78; 4,0; 4,2	6,95—8,4 3,5; 3,96	12—16,8 4,9—5,6	15,2—19,2 5,49—6,1	7,4—8,6 3,9—4,2
Высота, м	3,0	3; 3,2	2,5—3,0	2,22—2,42	1,9—2,4	2,7—3,4	3,06—3,66	2,14—2,44
Главный исполнительный орган (исполнение):	Трех- лучевое	Соосно уравнове- шенная, четырёх- лучевая крестовина и двухлу- чевой бур	Двухлучевое	уравновешенное	уравновешенный, уравновешенный,			трехлучевое
число, шт.	1	2	3	2+5	2	2	2	2
сечение, м ²	7,1	7,1; 8,0	11,2	Н. д.	6,7	10,8; 16,1	13,7—18,5	7,3—8,4
диаметр, м	3,0	3,0; 3,2	ц. б. —2,58 б. б. —2,4	2,04; 2,14	2,13	2,7—3,4	3,0—3,7	2,1—2,4
частота вращения, об/мин	6,0	кр. б. 6,25 бур. 12,65	ц. б. 14,12 б. б. 14,96	16,5	15	11	9,3	16,2
число резцов на н. о., шт. в контакте с забоем на н. о., шт.	57 (48) 57	50—65 (81) 60—65	136 (114) 96—136	Н. д. Н. д.	78 (25) 78 (25)	116 (36) 116 (36)	158 (36) 158 (36)	Н. д. Н. д.
удельное число резцов в кон-	8	8,5—8,1	8,6—12,2	Н. д.	11,6	10,6; 7,2	11,5; 8,5	Н. д.

Показатели		Комбайны непрерывного действия					
		С поверхности забоя					
		Буровые		Планетарные		«Урал 20КС»	
		ШЕМ-2 ШЕМ-3	ПК-8	ПК-10	«Урал 40КС»		«Караганда 7/15С»
Размеры выработок:		7,5	8; 9	12—14	7,8; 8,9; 9,8; 10,2	10; 17	13,1; 15,3; 17,9; 20,2
сечение, м ²	ширина, м	3,0	3; 3,2	5,3	3,9; 4,1; 4,3; 4,3	3,5; 5,2	5,0; 5,3; 5,8; 6,1
	высота, м	3,0	3; 3,2	2,5—3,0	2,1; 2,3; 2,5; 2,6	3,3; 3,7	2,8; 3,1; 3,4; 3,7
Главный исполнительный орган (исполнение):		Трехлуче- вое	Соосно- уравнове- шенная четырёх- лучевая крестовина и двухлу- чевый бур	Двухлу- чевое	Двухдиско- вый уравни- тельный новешен- ный	Четырёхдисковый; неуравновешенный	Двухдиско- вый уравни- тельный новешен- ный
число, шт.	сечение, м ²	4	2	3	2	1	2
	диаметр, м	7,1	7,1; 8,0	11,2	6,7; 7,8; 8,98; 8,98	9,6; 16,3	11,6; 13,8; 16,4; 19,2
	частота вращения, об/мин	3,0	3,0; 3,2	ц. б. 2,58 б. б. 2,4	2,1; 2,3; 2,5; 2,5	3,5; 3,7	2,8; 3,1; 3,4; 3,7
		6	кр. 6,25 бур 12,65	ц. б. 14,12 б. б. 14,96	43,9	36	38

число резцов на л. о., шт.	28 (18)	37—40 (64)	74 (69)	48/8**	72/44**	60/12**
в контакте с забоем на л. о., шт.	28	37—40	54—74	24/8**	32** — 22	36** — 22
удельное число резцов в контакте на главном л. о., шт/м ²	3,9	5,2; 5,0	4,8—6,6	4,8; 4,1; 3,6	5,6; 3,6	3,6; 3,0; 2,6; 2,2
ширина щелей, см	—	—	—	—	—	—
глубина щелей, см	—	—	Разрушение забоя с его поверхности	—	—	—
толщина составляемых щелей, мм	—	—	Плавное	Плавное, перемонтаж	Перемонтаж	—
регулировка по мощности пласта	—	Перемонтаж	—	—	—	—
Механизм подачи	Шагающий гусеничный					
скорость подачи, м/ч:	0—12	0—12***	0—12	0—15	0—20	0—20
рабочая		0—15	150	153	120	120
маневровая		30—180	б. о. и б. б.			
способ погрузки горной массы	Верхняя черпаковая				л. о. и б. о.	
Габаритные размеры, мм:						
длина	7000	9400	9890	12240	8970	11200
ширина по гусеницам	2000	2060	2700	2310	2510—3510	3110
высота	2500	2620	2330	2100—2600	2750	2800—3700
Энерговооруженность:						
число электродвигателей	4	4	8	11	7	12

* В скобках число оконтуривающих резцов.

** В знаменателе число резцов на забурнике.

*** В знаменателе данные по ПК-8М.

Показатели		Комбайны непрерывного действия					
		С поверхности забоя					
		Буровые		Планетарные			
ШБМ-2 ШБМ-3	ПК-8	ПК-10	«Урал 10КС»	«Каганда 7/15С»	«Кара- тапа 7/15М»	«Урал 20КС»	
мощность общая, кВт	137			435	244,5	408,5	519
мощность исполнительного органа, кВт	100; 125	$\frac{328}{2 \times 100}^{***}$ $\frac{2 \times 110}{2 \times 110}$	$\frac{544}{2 \times 100}$ $\frac{2 \times 160}{2 \times 160}$	2 × 125	115	2 × 115	2 × 160
напряжение, В	660	660	660	660	1	660	660
число питающих кабелей, шт.	1	1	2	2	1	1	2
Масса, т	40	$\frac{56; 57,5^{***}}{62; 63}$	81	60	44,1; 47,2	45; 54	78—82
Верхнее отбойное устройство	—	—	Отбойный барабан	Отбойный барабан	Отбойный барабан	—	Отбойный барабан
Бермовый орган	Бермовая фреза с отрезными дисками	Бермовая фреза с отрезными дисками	Бермовая фреза	Бермовая фреза с отрезными дисками	Бермовая фреза с отрезными дисками	—	Отбойный барабан
Год разработки	1967	1970	1971	1971	1964 1971	1971	1970

*** В знаменателе данные по ПК-8М.

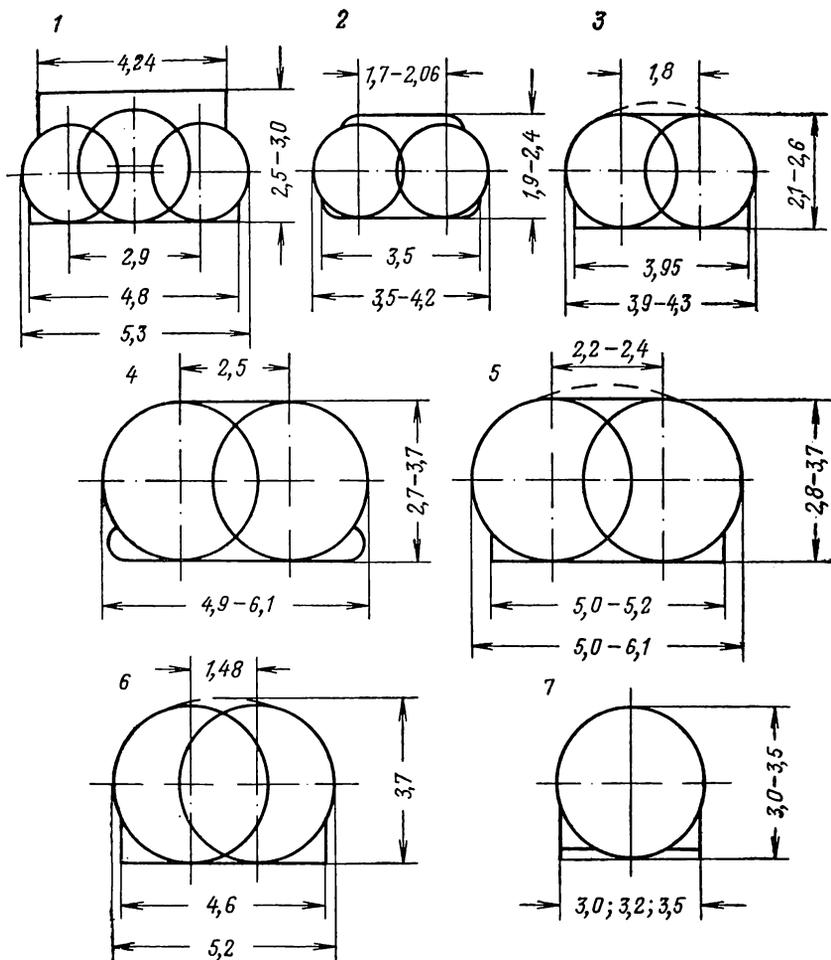


Рис. 2.1.3. Характеристики выработок, проходимых комбайнами:

1 — ПК-10 ($B/H \approx 1,7 \div 2,12$); 2 — 2ВТ-6; «Гудмен 426» ($B/H \approx 1,65 \div 1,8$); 3 — «Урал 10КС» ($B/H \approx 1,65 \div 1,86$); 4 — «Гудмен 526», «Мариятта 1012АСД» ($B/H \approx 1,65 \div 1,8$); 5 — «Урал 20КС» ($B/H \approx 1,65 \div 1,8$); 6 — «Караганда 7/15С»; «Караганда 7/15М» с качением и. о. ($B/H \approx 1,4 \div 1,0$); 7 — ШВМ-2, ШВМ-3, ПК-8, «Караганда 7/15С», «Караганда 7/15М» ($B/H \approx 1$)

выработок в зависимости от типа машин может изменяться в пределах от 6,9 до 20 м², а высота выработок от 1,9 до 3,7 м. Диапазон высот от 2,1 до 3,7 м охватывается двумя типами машин: «Урал 10КС» (2,1—2,6 м) и «Урал 20КС» (2,8—3,7 м).

По форме проходимых выработок комбайны могут быть подразделены на три основные группы (табл. 2.1.3). В таблице приведены также значения показателя формы выработки, т. е. отношение ее ширины B к высоте H .

Таблица 2.1.3

Группа	Комбайны	Характеристика выработки			
		Форма	Размер плоского участка кровли, м	Высота Н, м	Показатель формы В/Н
I	ПК-10	Прямоугольная	4,24	2,5—3,0	1,8—2,1
	а. 2ВТ-6; «Гудмен 526»; «Мариетта 1012»; «Урал 10КС»; «Гудмен 426»; «Урал 20КС»; «Мариетта 840А»	Арочная с плоским участком	1,7—2,5	1,9—3,7	1,6—1,9
II	б. «Караганда 7/15С»; «Караганда 7/15М»	Овальная	Отсутствует	3,7	1,4
III	ШБМ; ПК-8; «Караганда 7/15С»	Арочная	То же	3—3,5	1

II группа наиболее распространенная, к ней относятся все без исключения комбайны американского производства и комбайны отечественного производства с планетарно-дисковым исполнительным органом (группа IIa). Величина плоского участка кровли изменялась в относительно узких пределах и не превышала 2,5 м. Считается, что наряду с увеличением полноты выемки, сопровождаемой улучшением условий обслуживания комбайнов, арочная форма с плоским участком кровли приводит к некоторому снижению устойчивости кровли выработки.

III группа комбайнов не имеет аналогов среди машин американского производства. Основным преимуществом арочной формы выработки, образуемой комбайном, является большая устойчивость кровли. Однако при такой форме выработки ее минимальная высота составляет 3 м, что значительно ограничивает возможную область применения комбайнов, относящихся к III группе, на очистной выемке в камерах.

Кроме того, при использовании таких комбайнов в широких камерах с выемкой несколькими сопряженными заходками в выработке остаются навесы высотой 0,6—0,8 м, что увеличивает потери и снижает устойчивость кровли. В этих условиях преимущественны комбайны группы IIa.

От формы выработки зависит полнота извлечения полезного ископаемого. Величина потерь

$$\Pi = \frac{F_{\text{оп}} - F_{\text{к}}}{F_{\text{оп}}} 100, \% \quad (2.1.1)$$

где $F_{\text{оп}}$ — площадь прямоугольника, описанного вокруг контура выработки, м^2 ; $F_{\text{к}}$ — сечение выработки, м^2 .

На рис. 2.1.4 показана зависимость потерь Π , определенных по выражению (2.1.1), от величины показателя V/H при использовании комбайнов различных типов. Из рисунка видна общая тенденция сокращения потерь руды в процессе очистной выемки при увеличении значений показателя V/H , которая приближенно может быть оценена по выражению $\Pi = 7,5 (V/H - 0,9)^{-1/3}$, %. (2.1.2)

При использовании на комбайне двух главных исполнительных органов величина V/H мало зависит от высоты проходимой выработки и определяется по формуле

$$V/H = 2 - 0,1H. \quad (2.1.3)$$

В американской практике иногда применяются комбайны с четырьмя исполнительными органами, у которых $V = 8$ м и $H = 2,4$ м ($V/H \approx 3,3$). Применение таких комбайнов, например типа «Мариетта 780А4», являющегося аналогом комбайна «Мариетта 780А», в калийных рудниках возможно в силу особо благоприятных горнотехнических условий калийных месторождений Канады [106].

2.1.2. Энерговооруженность и энергоснабжение комбайнов

Энерговооруженность — одна из основных характеристик технического уровня горных машин любого назначения, особенно комбайнов для добычи горных пород с большой сопротивляемостью, например калийной руды. Энерговооруженность комбайнов непрерывного действия зависит от размеров (сечения) проходимой выработки и зазоров между выступающими частями комбайна и соответствующими точками на периметре выработки, так как они определяют габариты и, следовательно, мощность электродвигателей, а также некоторые эксплуатационные качества комбайнов, например ремонтпригодность. В отдельных случаях вертикальные зазоры регламентируются по условиям безопасности.

Горизонтальный зазор ΔL определяется расстоянием между гусеницами машины и выработкой по нижнему бермовому органу

$$\Delta L = \frac{L-l}{2}, \text{ м}, \quad (2.1.4)$$

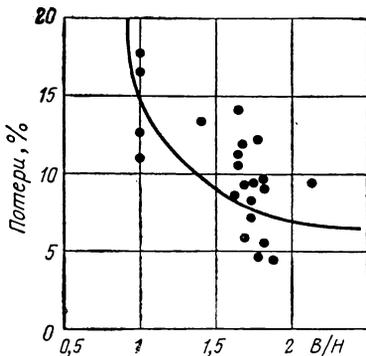


Рис. 2.1.4. Зависимость величины потерь руды от отношения V/H

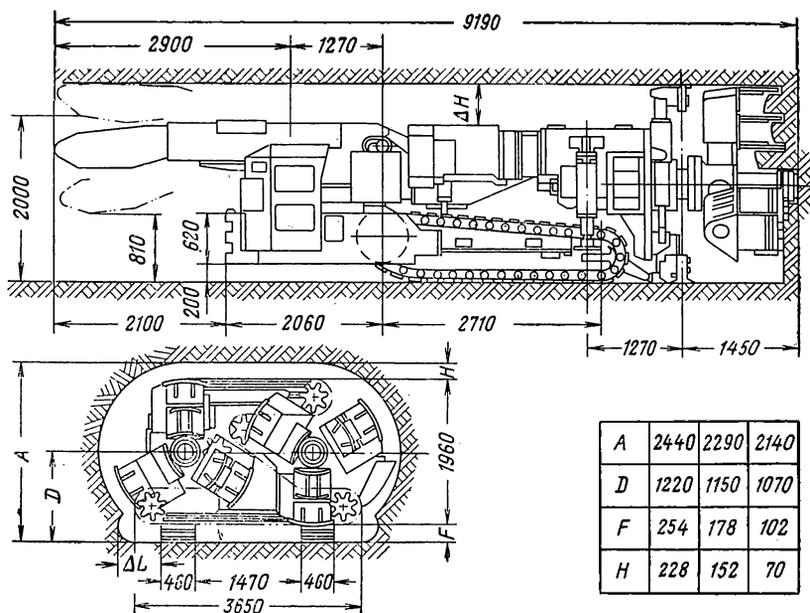


Рис. 2.1.5. Габаритные размеры комбайна «Маршетта 780А»

где L — ширина выработки по нижней берме, м; l — ширина комбайна по гусеницам, м.

Вертикальный зазор ΔH — это расстояние между наиболее высокой частью комбайна и кровлей выработки

$$\Delta H = H - h_{\text{к}}, \text{ м}, \quad (2.1.5)$$

где $h_{\text{к}}$ — высота наиболее выступающей части комбайна, м.

На рис. 2.1.5 показано положение базовых точек для определения зазоров ΔL и ΔH . Величина ΔH определялась положением главного двигателя, магнитной станции или конвейера.

На рис. 2.1.6 показаны зависимости ΔL и ΔH соответственно от ширины L и высоты H образуемой выработки. У комбайнов ПК-10 и «Маршетта 780А» значения ΔH составляли соответственно 0,2 и 0,12 м. Такой зазор для нормальной работы машин недостаточен. Фактическая минимальная высота выработок, проходимых этими комбайнами, должна быть 2,35–2,65 м ($\Delta H \geq 0,35$ м). Практика показывает, что при величине $\Delta H < 0,35$ м комбайны в процессе холостых перегонов после выемки очередной камеры часто расклиниваются в выработке из-за просыпи руды и неровностей почвы, особенно при эксплуатации машин в камерах с податливыми целиками. У комбайна ПК-10 зазор ΔH определялся положением двигателя центрального бура. Поэтому применение

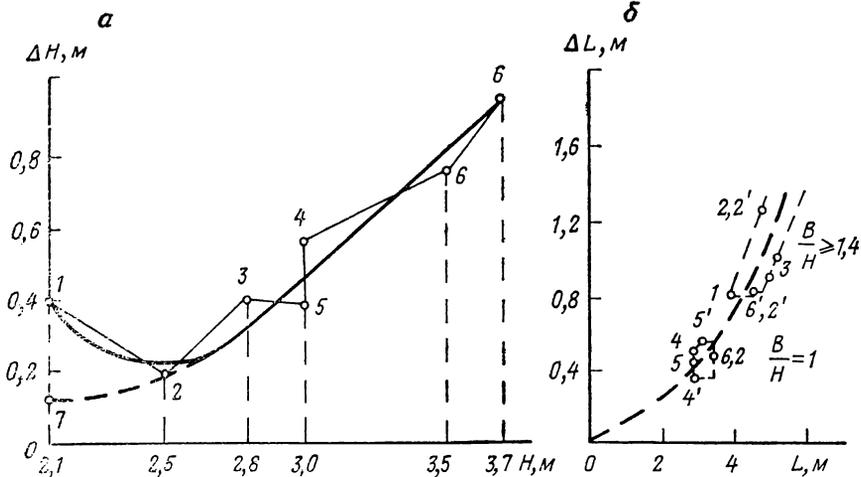


Рис. 2.1.6. Зависимости ΔL от ширины выработки L и ΔH от высоты выработки H :

α — вертикальные зазоры; β — горизонтальные зазоры; 1 — «Урал 10КС»; 2, 2' — ПК-10; 3 — «Урал 20КС»; 4, 4' — ШБМ-2; 5, 5' — ПК-8; 6, 6' — «Караганда 7/15С»; «Караганда 7/15М»; 7 — «Мариетта 780А»

комбайнов с тремя исполнительными органами. нежелательно. Подобная схема приемлема на машинах с $H_{\min} > 2,8$ м.

Вертикальные зазоры практически не зависят от величины B/H , а горизонтальные прямо определяются этим отношением. Например, на комбайнах с $B/H = 1$ горизонтальные зазоры равны 0,35—0,5 м, а при $B/H > 1,4$ увеличиваются до 0,85—1,3 м. Это значительно повышает ремонтпригодность и удобство обслуживания машин с двумя исполнительными органами.

Электропривод комбайнов непрерывного действия для выемки калийной руды осуществляет привод: главных исполнительных органов, разрушающих большую часть забоя, $N_{н.о.}$, вспомогательных исполнительных органов (верхнего отбойного устройства, бермового органа, редуктора переносного вращения) и всех остальных механизмов комбайна $N_{всп.}$. Площадь забоя, разрушаемая вспомогательными органами, невелика и составляет всего 8—9% полного сечения проходимой комбайном выработки.

Так как привод отдельных элементов комбайнов чаще всего производится отдельно, то на мощных машинах непрерывного действия общее число двигателей достигает 8—11. Однако увеличение числа отдельных вспомогательных двигателей связано с недогрузкой некоторых из них и значительным усложнением электрической схемы.

$\frac{N_{всп.}}{N_{и.о}}, \text{отн. ед.}$

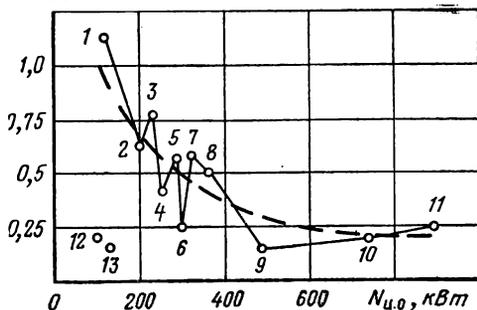


Рис. 2.1.7. Зависимость удельной мощности вспомогательного привода от мощности привода исполнительного органа:

1 — «Караганда 7/15С»; 2 — ПК-8; 3 — «Караганда 7/15М»; 4 — «Гудмен 426»; 5 — «Урал 10КС»; 6 — 2ВТ-6; 7 — «Урал 20КС»; 8 — ПК-10; 9 — «Мариетта 780А»; 10 — «Гудмен 526»; 11 — «Мариетта 1012 АСД»; 12 — ШВМ-2; 13 — ШВМ-3

тельного привода снижается до $(0,4 \div 0,3) N_{и.о.}$. Поэтому для получения данных, дифференцированно характеризующих технические качества машин, в первую очередь необходимо учитывать мощность двигателей привода исполнительных органов. Суммарную установленную мощность комбайна следует использовать только для вспомогательной оценки.

На рис. 2.1.8 приведена зависимость энерговооруженности главного привода комбайнов $N'_{и.о.}$ от минимальной высоты проходимой выработки H . Как видно, высота выработки является фактором, ограничивающим энерговооруженность машин непрерывного действия. Так, благодаря увеличению минимальной высоты выработки до 2,7—3,05 м существенно возросла энерговооруженность комбайнов «Гудмен 526» и «Мариетта 1012АСД». Для группы машин с $H_{мин} = 1,9 \div 2,5$ м повышение питающего напряжения свыше 1,1 кВ, видимо, целесообразно, так как при этом увеличивается габариты двигателей. Изменение относительного объема трехфазных двигателей в зависимости от питающего напряжения хорошо иллюстрируется данными Карагандинской лаборатории горношахтного электропривода и электрооборудования ИГД им. А. А. Скочинского:

Питающее напряжение, кВ	0,7	1,1	3—4
Относительный объем	1	1,05—1,1	1,4

Для энергоснабжения комбайнов с общей энерговооруженностью более 400 кВт при напряжении 0,7 кВ используются два гибких кабеля ГРШЭ $3 \times 95 + 3 \times 4 + 1 \times 10$. Несмотря на

Для определения доли участия привода вспомогательных исполнительных органов на рис. 2.1.7 приведена зависимость $N_{всп.}/N_{и.о.} = f(N_{и.о.})$, аппроксимируемая выражением

$$\frac{N_{всп.}}{N_{и.о.}} = \frac{130}{N_{и.о.}} + 0,05, \text{отн. ед.} \quad (2.1.6)$$

При мощности привода исполнительного органа около 200 кВт относительная мощность вспомогательного привода составляет $(0,5 \div 1,0) N_{и.о.}$, а при его увеличении

доля участия вспомога-

большое сечение токопроводящих жил расстояние от подстанции до машины по условиям допустимого падения напряжения не должно превышать 300—350 м. Поэтому для доведения энерговооруженности машин, например, до 700—1000 кВт при напряжении 0,7 кВ потребуется прокладка 3—4 кабелей, что недопустимо. Поэтому вторым критерием, определяющим возможный уровень энерговооруженности, служат число и сечение кабелей. Необходимо, однако, стремиться к обеспечению комбайна питанием по одному кабелю.

В табл. 2.1.4 приведен ориентировочный ряд для трех групп условий возможной энерговооруженности комбайнов непрерывного действия при $V/\dot{H}=1,65 \div 1,85$, учитывающий высоту выработки, величину вертикальных зазоров и уровень питающего напряжения.

Следовательно, при использовании напряжения 0,7 кВ и суммарной установленной мощности двигателей комбайна порядка

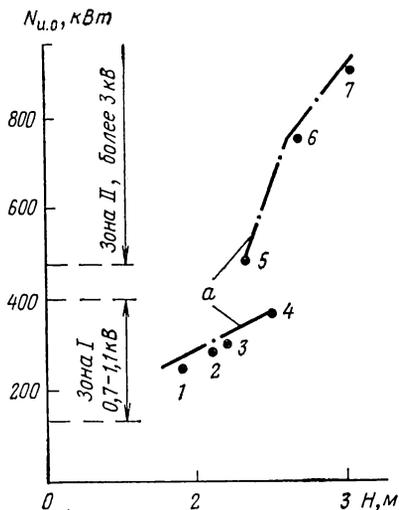


Рис. 2.1.8. Зависимость энерговооруженности главного привода от минимальной высоты проходимой выработки;

а — ограничение энерговооруженности высотой выработки, проходимой комбайнами: 1 — «Гудмен 426»; 2 — «Урал 10КС»; 3 — 2ВТ-6; 4 — ПК-6; 5 — «Мариятта 780А» 6 — «Гудмен 526»; 7 — «Мариятта 1012АСФ»

Таблица 2.1.4

Показатели	Группы условий					
	I		II		III	
Характеристика выработки (комбайна):						
высота H , м	2—2,5		2,6—3,1		3,1—3,7	
сечение F_k , м ²	7—10		12—16		16—20	
зазор ΔH_{\min} , м	0,35		0,6		0,6	
Энерговооруженность, кВт:						
общая	350—450		560—750		850—1000	
исполнительного органа	200—300		400—600		700—900	
Энергопитание:						
напряжение, кВ	0,7	1,1	1,1	3	3	4
ток, А	350	250	335	135	180	135
Число и сечение кабеля, мм ²	2×50	1×70	2×50	1×35	1×50	1×35
Допустимая длина кабеля, км:						
при $\Delta U = 5\%$	0,2	0,4	0,4	1,1	0,9	1,1
при $\Delta U = 10\%$	0,5	1,1	1,0	3,0	2,3	3,0

$N_{z_{уд}}, \text{кВт/шт}$

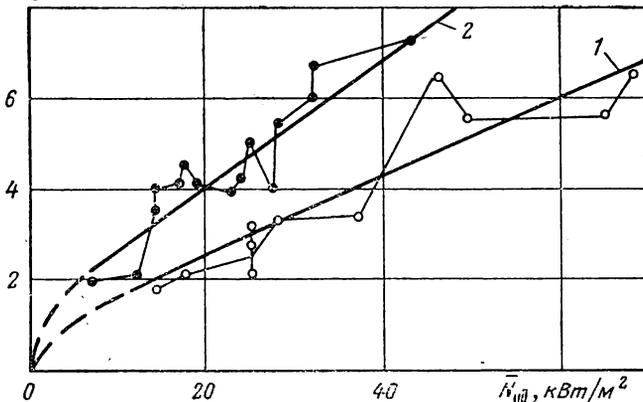


Рис. 2.1.9. Удельные нагрузки на резец в контакте с забоем на исполнительных органах:

1 — буроскальвающих; 2 — буровых и планетарных

550 кВт необходимо применение двух кабелей. Для дальнейшего совершенствования электропривода комбайнов с энерговооруженностью примерно до 600 кВт необходим переход на напряжение 1,1 кВ. При увеличении установленной мощности свыше этого уровня следует переходить на напряжение не ниже 3 кВ. В этом случае ограничения по допустимой длине гибкого кабеля практически снимаются.

Для сравнения различных исполнительных органов по их удельной энерговооруженности на рис. 2.1.9 приведены зависимости $N_{z_{уд}} = f(N_{уд})$:

$$N_{z_{уд}} = \frac{\sum N_{и.о}}{n_{zk}}, \text{ кВт/шт}; \quad N_{уд} = \frac{\sum N_{и.о}}{F_{и.о}}, \text{ кВт/м}^2,$$

где n_{zk} — число резцов в контакте с забоем; $F_{и.о}$ — площадь и. о., м².

Между этими показателями существует линейная связь:

а) для буроскальвающих органов

$$N_{z_{уд}} = 0,8 + 0,87N_{уд}, \text{ кВт/шт}; \quad (2.1.7)$$

б) для буровых и планетарных органов

$$N_{z_{уд}} = 1,3 + 1,14N_{уд}, \text{ кВт/шт}. \quad (2.1.8)$$

Степень связи величин в (2.1.7) и (2.1.8), оцениваемая коэффициентом корреляции r , высокая — 0,9.

Показатель удельной энерговооруженности и нагрузка на резец меняются в широких пределах. Так, удельная энерговоору-

женность исполнительных органов машин рассматриваемого класса $N_{уд}$ изменялась от 14 до 65 кВт/м², а удельная нагрузка на резец $N_{зуд}$ — от 1,8 до 7,8 кВт/шт. При одинаковой удельной энерговооруженности исполнительных органов при переходе на разрушение забоя с поверхности удельная нагрузка на резец значительно повышается. Повышение нагрузки на инструмент при неизменной установленной мощности привода способствовало увеличению производительности комбайнов ШБМ, ПК-8 и ПК-10 при переходе с щелевой на сплошную схему разрушения забоя. Эти же преимущества сплошной схемы позволили довести на комбайнах типа «Урал» удельную нагрузку на резец до 7—8 кВт/шт, т. е. до уровня наиболее мощных американских машин.

Следует также отметить, что удельная нагрузка на резец более дифференцированно оценивает особенности исполнительных органов, чем обычно используемый для этого показатель удельной энерговооруженности исполнительных органов или комбайна в целом. Поэтому целесообразно принимать показатель удельной нагрузки на резец как один из критериев при оценке технического уровня машин.

2.1.3. Характеристики исполнительных органов.

Параметры разрушения забоя

Анализ приведенных в табл. 2.1.2 данных позволил выявить основные особенности компоновочных схем исполнительных органов комбайнов непрерывного действия, дать оценку их оснащенности режущим инструментом и установить основные параметры разрушения забоя.

Схемы исполнительных органов

Буроскальвающие комбайны американского производства оснащаются только фронтально расположенными двухроторными исполнительными органами обычно с трехлучевыми режущими головками. В отечественной же практике применяются комбайны, оснащенные исполнительными органами с одним или тремя роторами, имеющими двухлучевые режущие коронки. На трехроторной машине ПК-10, чтобы не устанавливать применяемых на комбайнах с фронтальным расположением исполнительных органов специальных синхронизаторов между ними, центральный ротор расположен впереди боковых. Наибольшее распространение в американской практике получил отбойный орган в виде цилиндрического барабана, положение которого регулируется по мощности пласта. Этот принцип применен на комбайнах ПК-10 и типа «Урал». В качестве бермового (нижнего) органа в американских машинах используются вертикально замкнутые режущие цепи. На комбайнах ШБМ, ПК-10, ПК-8 и типа «Урал» оформление низа выработки осуществляется бермовыми фрезами.

Буровые комбайны ШБМ, ПК-8 и ПК-10 отличаются от буроскальвающих этого же типа только конструкцией державок для

резцов и отсутствием скальвателей на лучах исполнительного органа. Кроме того, применявшиеся ранее резцы типа ШБМ 2-1-1-04 заменены тангенциальными типа Д6.22. Благодаря этому целевое разрушение заменено разрушением забоя с поверхности.

Планетарно-дисковые комбайны оснащаются двумя или одним рабочим органом. Регулировка исполнительных органов по мощности пласта, как правило, осуществляется сменой деталей (специальных проставок на лучах). Бесступенчатая регулировка с промежуточной фиксацией применяется только на комбайне «Урал 10КС». При одном исполнительном органе сечением $10,7 \text{ м}^2$ («Караганда 7/15С» и «Караганда 7/15М») выемка забоя площадью 17 м^2 осуществляется за счет качания исполнительного органа меньшего сечения в поперечном направлении. Каждый рабочий орган оснащен двумя (типа «Урал») или четырьмя (типа «Караганда») планетарными дисками. Переносное вращение рабочим органам сообщается от отдельного двигателя с редукторами. Этот же редуктор используется для синхронизации частоты вращения фронтально расположенных исполнительных органов. Верхний отбойный барабан совмещен с механизмом синхронизации («Урал 20КС») или приводится от отдельного редуктора («Урал 10КС»). Нижний бермовый орган на всех комбайнах состоит из горизонтальной фрезы с отрезными барабанами. Привод бермового органа осуществлялся от двух кинематически не связанных двигателей (комбайны типа «Урал») или привода погружного конвейера через скребковую цепь (комбайн «Караганда 7/15С»). На всех комбайнах с планетарно-дисковыми органами в контакте с забоем находится около 50%, а на комбайнах бурового типа — 100% установленных на них резцов.

Оснащенность режущим инструментом

В табл. 2.1.5 приведены основные характеристики резцов, применяемых на комбайнах непрерывного действия. Из этих данных следует, что все многообразие типов резцов может быть сведено к трем: по переднему углу, ширине режущей кромки и вылету. Новым инструментом по этим признакам является тангенциальный резец Д6.22, в котором передний угол резания по сравнению с аналогами уменьшен примерно до 70° . После отказа от щелевых схем разрушения забоя резец Д6.22 стал основным режущим инструментом комбайнов непрерывного действия и номенклатура резцов, используемых в калийной промышленности, резко сокращена. В качестве вспомогательного (оконтуривающего) инструмента на комбайнах бурового типа применяется резец ШБМ2-1-1-0,6. Более подробно о конструкции резцов, приведенных в табл. 2.1.5, см. в [112].

Для характеристики оснащенности исполнительных органов режущим инструментом удобен показатель $n_{уд} = n_{зк}/F_{и.о}$ (шт/м²). Корреляционный анализ зависимости $n_{уд} = f(F_{и.о})$, выполненный

Резцы	Геометрия реза				Вылет реза, мм	Объект установки
	Группа	Угол резания, градус		Ширина кромки, мм		
		передний	задний			
ШБМ2-1-1-0,4 ШБМ2-1-1-0,4А	I	90		8	30—40	ШБМ-2; ШБМ-3; ПК-8; ПК-10; «Урал 10КС»; «Караганда 7/15С»; «Караганда 7/15М»; «Урал 20КС»
ШБМ2-1-1-03 И-80 И-90, БИ-90 И-79	II	80—85	5—10	8—10	50—90	ШБМ-2; ШБМ-3; ПК-10; «Урал 10КС», «Караганда 7/15С»; «Караганда 7/15М»; «Урал 20КС»
Д6.22	III	70		14	20 (радиальный)	ШБМ-2; ШБМ-3; ПК-8; ПК-10; «Урал 10КС»; «Урал 20КС»

по данным табл. 2.1.2, позволил определить следующие удельные характеристики анализируемых типов исполнительных органов по оснащенности их режущим инструментом:

а) буроскалывающих

$$n_{уд} = 10,3 - 0,07F_{н.о.}, \text{ шт/м}^2 \quad (2.1.9)$$

$$(r = -0,17; \quad t_n = 0,54);$$

б) буровых

$$n_{уд} = 4,3 + 0,05F_{н.о.}, \text{ шт/м}^2 \quad (2.1.10)$$

$$(r = 0,16; \quad t_n = 0,33);$$

в) планетарных

$$n_{уд} = 6,1 - 0,2F_{н.о.}, \text{ шт/м}^2 \quad (2.1.11)$$

$$(r = -0,78; \quad t_n = 6).$$

Невысокие значения коэффициентов корреляции говорят о слабой зависимости $n_{уд}$ от площади забоя, разрушаемой буроскалывающими или буровыми исполнительными органами в исследованных границах изменения $F_{н.о.}$ (от 7 до 20 м²). При этом удельное число резцов в контакте в среднем для исследованного диапазона сечений исполнительных органов составило: для буроскалывающих органов 9,35, буровых 5,1 и планетарных 3,7 шт/м². Следовательно, удельное число резцов на рассматриваемых типах

исполнительных органов относилось как 1 : 0,55 : 0,4. Следует иметь в виду, что при прочих равных условиях сокращение числа резцов в контакте с забоем связано не только со снижением затрат энергии на разрушение забоя, но и с изменением напорных усилий, необходимых для нормальной работы комбайнов без пробуковки гусеничного полотна.

П а р а м е т р ы р а з р у ш е н и я з а б о я

Параметры разрушения забоя являются важной характеристикой машины, так как почти полностью определяют энергоемкость процесса и, следовательно, с учетом характеристики установленных двигателей, техническую производительность комбайна. Параметры разрушения забоя можно характеризовать рядом показателей: глубиной срезов h , шагом резания t , длиной пути резания на единицу разрушенного объема $L_{уд}$, средним сечением срезов в установившемся режиме s . Удельный путь резания $L_{уд}$ и среднее сечение срезов s являются наиболее удобными показателями для сравнения параметров исполнительных органов разных конструкций, так как сравнение по глубине стружки h или отношению t/h затруднительно и может дать большие погрешности. Удельный путь резания и среднее сечение срезов хорошо коррелируют с удельными затратами энергии на разрушение забоя или расходом резцов [113], являющимися одними из основных показателей технического совершенства любой машины.

В настоящей работе в качестве интегрального показателя, оценивающего параметры разрушения, принят удельный путь резания — показатель, удобный для определения сечения среза s :

$$s = \frac{10}{L_{уд}}, \text{ см}^2. \quad (2.1.12)$$

Удельный путь резания буровых и бурильных исполнительных органов определялся по формуле

$$L_{уд} = \frac{0,06\pi D_{ср} n_z n_{об}}{F_{и. о} V_{п}}, \text{ км/м}^3, \quad (2.1.13)$$

где $D_{ср}$ — средний диаметр исполнительного органа, м; $n_{об}$ — частота вращения исполнительного органа, об/мин; $V_{п}$ — скорость подачи, м/ч; n_z — число резцов на одном исполнительном органе или диске.

При вращении отдельных элементов исполнительного органа с различной угловой скоростью, как например у комбайна ПК-8, средневзвешенный удельный путь резания равен

$$L_{уд} = \frac{\sum_i^n L_{уд_i} F_i}{\sum_i^n F_i}, \text{ км/м}^3, \quad (2.1.14)$$

где $L_{уд i}$ — удельный путь резания исполнительного органа, разрушающего площадь F_i с данной угловой скоростью; ΣF_i — суммарная площадь забоя, м².

Удельный путь резания планетарных исполнительных органов [99, 114]

$$L_{уд} = \frac{0,06 L_p n_z P_{i_0 n_b}}{F_d V_p}, \text{ км/м}^3, \quad (2.1.15)$$

где P_d — число дисков на исполнительном органе; n_b — частота вращения водила (переносное вращение), об/мин; $i_0 = n_d/n_b$ (n_d — частота вращения диска, об/мин); F_d — площадь забоя, обрабатываемая дисками, м²; $L_p = r_d \phi$ — длина контакта резца за один оборот диска, м; r_d — радиус диска, м; ϕ — угол, на котором резец контактирует с забоем, рад.

Для сравнения различных исполнительных органов удобен показатель $L_{отн}$, определяемый по формуле

$$L_{отн} = \frac{L_{уд}}{F_{и.о}}, \frac{\text{км} \cdot \text{м}^2}{\text{м}^3}. \quad (2.1.16)$$

Т а б л и ц а 2.1.6

Тип исполнительного органа	Комбайн	Удельный путь резания $L_{уд}$, км/м ³	Шаг резания t , см	Примечание
Бурошелевой	«Гудмен 426»	26,3	—	б. б. ц. б.
	ПК-10	30,0	—	
	То же	27,8	—	
	ПК-8	26,3	—	
	«Мариятта 780А»	40,0	—	
	«Гудмен 526»	26,5	—	
	«Мариятта 1012 АСД»	26,5	—	
Буровой	ПК-8	12,5	4	б. б. ц. б.
	ПК-10	17,8	5,1	
	То же	16,4	5,1	
Планетарно-дисковый	«Караганда 7/15С»	14,0	4,0	Сечение выработки, м ² —10
	То же	8,0	—	
	«Караганда 7/15М»	8,0	4,0	То же, 17
	«Урал 20КС»	13,3	4,0	Число резцов на одном диске, шт. — 18
	То же	11,6	4,0	
	«Урал 10КС»	15,8	—	
	То же	20,0	—	
		4,8	То же 15	
		6,3	» 8	
		4,2	» 12	

Глубина срезов для исполнительных органов:
роторных

$$h = \frac{100V_{\text{п}}}{60n_{\text{об}}m_{\text{р}}}, \text{ см.} \quad (2.1.17)$$

где $m_{\text{р}}$ — число резцов в линии резания;
планетарных

$$h_{\text{ср}} = (0,64 \div 0,75) \frac{100V_{\text{п}}}{60P_{\text{д}}n_{\text{в}}}, \text{ см.} \quad (2.1.18)$$

Результаты расчета удельного пути резания по формулам (2.1.13)—(2.1.15) в виде, удобном для использования при анализе результатов измерений (гл. 4), приведены в табл. 2.1.6.

Совместный анализ параметров разрушения забоя и данных электрических измерений позволяет оценить эффективность исполнительных органов в основном режиме по разрушению забоя без учета других их особенностей (эффективности погрузки отбитой горной массы, наличия дополнительных поверхностей трения элементов исполнительных органов и оконтуривающего режущего инструмента о забой), которые вносят определенные поправки в параметры работы.

2.1.4. Способы погрузки горной массы. Поверхности трения

Способ погрузки в определенной степени ограничивает область применения комбайнов по углам наклона проходимых выработок и с учетом потерь на трение исполнительных органов о забой влияет на энергоемкость разрушения забоя. Комбайны, разрушающие забой по сплошной или щелевой схеме, имеют в основном три способа погрузки горной массы на конвейер (табл. 2.1.7).

Схемы погрузки горной массы, применяемые на машинах различного исполнения, приведены на рис. 2.1.10, из которого видно, что у исполнительных органов планетарного типа (схема погрузки III) подача отбитой горной массы в зону работы конвейера более совершенна, чем у исполнительных органов бурового типа.

Т а б л и ц а 2.1.7

Схема погрузки	Характеристика схемы	На каких комбайнах применяется
I	Верхняя черпаковая ($B/H = 1$)	ШБМ-2; ШБМ-3; ПК-8 «Джой»; «Гудмен»; «Мариста»; ПК-10 «Караганда 7/15»; «Караганда 7/15С»; «Караганда 7/15М»; «Урал 20КС»; «Урал 10КС»
II	Нижняя, подрезным баром или фрезам ($B/H = 1,6 \div 2,1$)	
III	Нижняя, бермовыми фрезами и дисками исполнительного органа ($B/H = 1,65 \div 1,85$)	

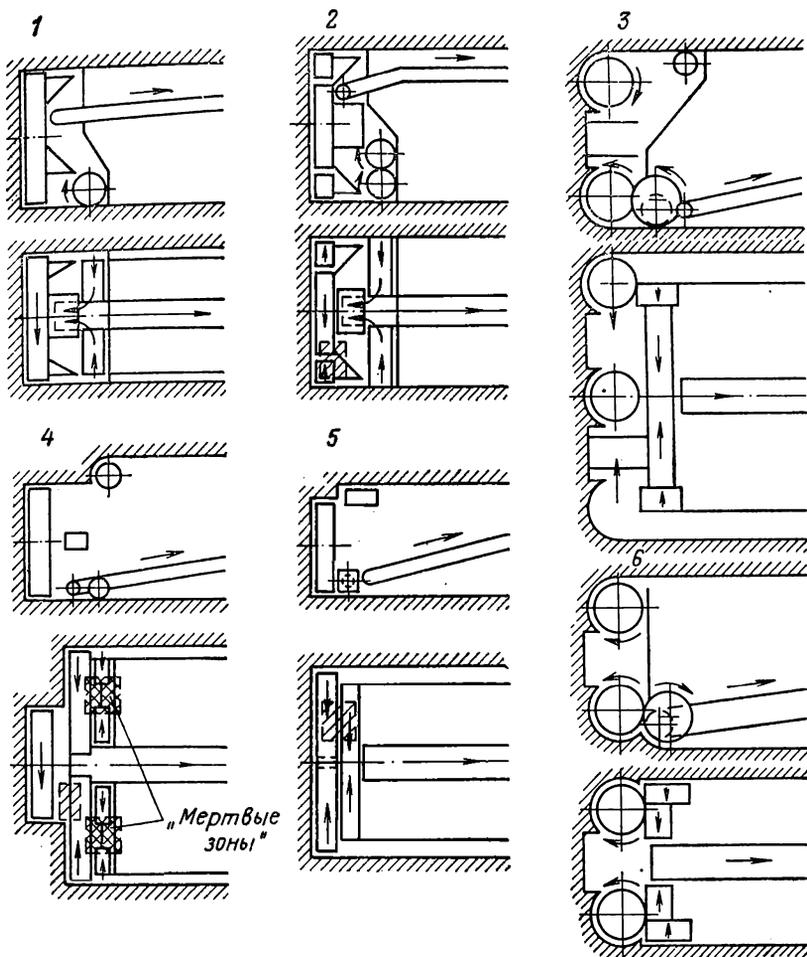


Рис. 2.1.10. Схемы погрузки, применяемые на комбайнах непрерывного действия (направление потока руды показано относительно почвы):

1 — ШБМ-2; ШБМ-3; 2 — ПК-8 (схема I $V/H = 1$); 3 — «Урал 20КС»; «Урал 10КС» ($V/H = 1,6 \div 1,9$); 4 — ПК-10; 5 — 2ВТ-6, «Гудмен», «Маринетта» (схема II $V/H = 1,6 \div 2,12$); 6 — «Нараганда 7/15С» (схема III $V/H = 1$); заштрихованная часть — зона изменения направления потока руды

Резцы и диски планетарных органов отбрасывают руду в зону работы конвейера и бермового органа, резцы же буровых органов направляют ее в сторону от места погрузки, т. е. изменяется направление потока руды, возникают дополнительные затраты мощности и ухудшается гранулометрический состав руды (схемы погрузки I и II). На комбайнах со схемой погрузки I отбитая руда зачерпывается в нижней части забоя ковшами, закрепленными на дополнительном органе, и выгружается на конвейер в верхнем

Таблица 2.1.8

Комбайн	F _{и.о.} , м ²	Поверхность трения F _{уд}		Число резцов n _{уд}		Коэффициент K _{н.з}
		м ²	отн. ед.	шт/м ²	отн. ед.	
<i>Бурицевые</i>						
ПК-10	11,3	1,7	1	10,1	1	1
ПК-8	7,5	1,1	0,65	4,4	0,44	0,55
ШБМ	7,1	0,72	0,43	2,1	0,21	0,32
<i>С поверхности</i>						
ПК-10	11,3	0,28	0,16	6,1	0,61	0,38
ПК-8	7,5	0,28	0,16	4,1	0,41	0,29
ШБМ	7,1	0,06	0,04	Нет	—	0,02

положении, отчего также ухудшается гранулометрический состав руды. У комбайнов «Джой», «Гудмен» и «Мариетта» погрузка руды на конвейер осуществляется совместно исполнительными органами, штангами и подрезными цепями (см. рис. 2.1.2, в).

Для интенсификации перегрузки руды от бермовой фрезы на конвейер комбайна (схема погрузки III) бермовый орган в центральной его части оснащали специальными лопатками. Динамическую нагруженность элементов бермового органа комбайнов «Урал 20КС», «Урал 10КС» и «Караганда 7/15М», первоначально имеющих по два кинематически соединенных привода, снижали разделением приводов на бермовом органе.

Комбайны бурового типа имеют оконтуривающие резцы и значительные площади поверхностей трения элементов исполнительных органов о забой или периметр выработки. Дополнительные затраты энергии, обусловленные поверхностями трения и оконтуривающими резцами, могут быть оценены с помощью коэффициента непроезводительных затрат энергии K_{н.з} (табл. 2.1.8).

Благодаря переходу со щелевых на сплошные схемы разрушения забоя значительно снизились удельные площади поверхностей трения или удельное число оконтуривающих резцов. Например, на комбайне ПК-8 удельная площадь поверхностей трения снизилась в четыре раза, а общее число оконтуривающих резцов, установленных на лучах и погрузочных ковшах, сократилось с 81 до 64. На комбайне ПК-10 общее число этих резцов уменьшилось еще больше — со 114 до 69. Оконтуривающие резцы или поверхности трения на исполнительных органах планетарного типа отсутствуют.

2.1.5. Связи между энерговооруженностью исполнительных органов, массой комбайнов и сечением выработок.

Цена комбайнов

Знание зависимостей между энерговооруженностью исполнительных органов, массой комбайна и сечением проходимых выработок нужно, прежде всего, для обоснованного прогнозирования стоимости комбайнов на стадиях их проектирования. Весовые и стоимостные характеристики необходимы для определения технического уровня или экономически целесообразного уровня технической производительности (гл. 4).

По данным табл. 2.1.2 на рис. 2.1.11 построены зависимости $G = f(N_{и.о.})$ и $G_{уд} = f(N_{и.о.})$. Зависимость массы комбайнов G от энерговооруженности исполнительных органов может быть аппроксимирована выражением

$$G = 20,5 + 0,16N_{и.о.}, \text{ т} \quad (2.1.19)$$

при высокой тесноте связи между этими параметрами ($r = 0,95$ при надежности $t_n = 38$).

Связь между металлоемкостью $G_{уд}$ и энерговооруженностью комбайнов нелинейная. При этом верхняя граница поля корреляции достаточно точно соответствует комбайнам с $F_k = 12 \div 20 \text{ м}^2$, а нижняя $F = 7,5 \div 10 \text{ м}^2$.

При этих значениях F_k характеристики удельной металлоемкости будут соответственно

$$G_{уд} = \frac{28}{N_{и.о.}} + 0,14, \text{ т/кВт} \text{ и } G_{уд} = \frac{28}{N_{и.о.}} + 0,1, \text{ т/кВт}. \quad (2.1.20)$$

В зоне стабильных значений $G_{уд}$ (при $N_{и.о.} = 400 \div 500 \text{ кВт}$) ее величина для комбайнов с $F_k = 7,5 \div 10 \text{ м}^2$ примерно на 25%

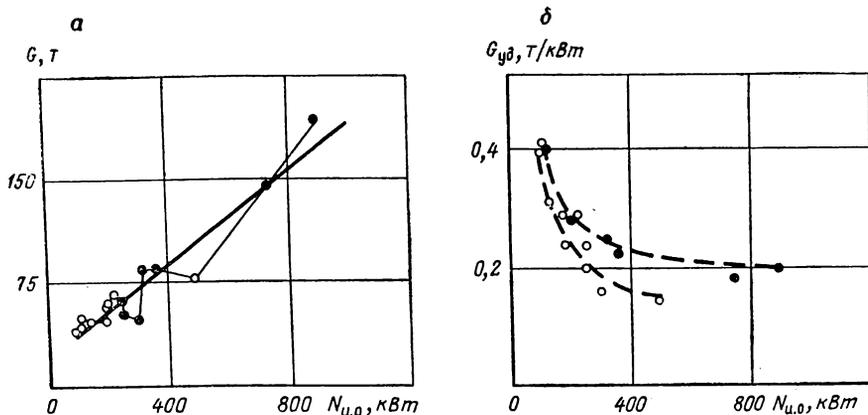


Рис. 2.1.11. Зависимость весовых характеристик от энерговооруженности и. о. комбайнов по значениям:

а — абсолютным; б — удельным; ● — при $F_k = 12 \div 20 \text{ м}^2$; ○ — при $F_k = 7,5 \div 10 \text{ м}^2$

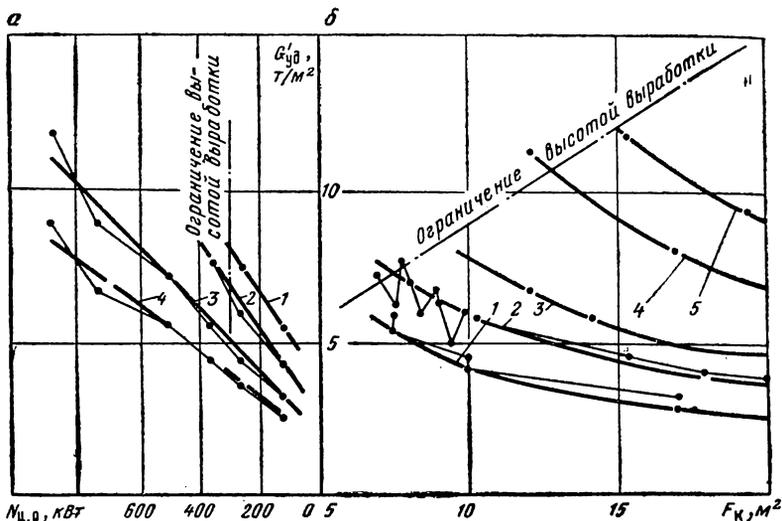


Рис. 2.1.12. Зависимость массы комбайна от сечения выработки и энерговооруженности и. о:

а — $G'_{уд} = f(N_{н.о})$ при F_k , равном: 1 — 7,5; 2 — 10; 3 — 15; 4 — 20 м²; б — $G'_{уд} = f(F_k)$ при $N_{н.о}$, равной: 1 — 115; 2 — 260; 3 — 360; 4 — 470; 5 — 890 кВт

ниже, чем у комбайнов с $F_k = 12 \div 20$ м². При сравнении между собой показателей технического уровня комбайнов, относящихся к разным классификационным группам, неизбежны существенные погрешности при сравнительной оценке их удельных характеристик. Поэтому при сравнении комбайнов их необходимо подразделять на группы по сечениям (высоте) исполнительных органов.

На рис. 2.1.12 с использованием данных табл. 2.1.2 показаны зависимости массы комбайна G , отнесенной к сечению выработки F_k ($G'_{уд} = G/F_k$), от энерговооруженности исполнительного органа и сечения выработки. Зависимость между $G'_{уд}$ и сечением выработки нелинейная.

Значения зависимости $G'_{уд}$ (т/м²) от энерговооруженности $N_{н.о}$ определялись при F_k , равном 7,5; 10; 15 и 20 (м²), и соответственно составили:

$$G'_{уд} = 4,8 + 0,012N_{н.о.};$$

$$G'_{уд} = 2,8 + 0,011N_{н.о.};$$

$$G'_{уд} = 2,0 + 0,0103N_{н.о.};$$

$$G'_{уд} = 1,6 + 0,008N_{н.о.};$$

(2.1.21)

Таблица 2.1.9

Комбайн	Сечение выработки, м ²	Цена, тыс. руб.	Масса, т	Удельная цена (по массе), тыс. руб/т
ПК-8 «Караганда 7/15С»	8—9	107,3	58	2,03
	10	81,5	44,3	1,84
	17	86,5	50,4	1,72

С помощью этих данных можно определять цены комбайнов различной энерговооруженности и работающих при разных сечениях выработок:

$$C = F_k G'_{уд} C_{уд}, \text{ тыс. руб.}, \quad (2.1.22)$$

где $G'_{уд}$ (т/м²) определяется по (2.1.21) для дискретных значений сечений F_k и энерговооруженности $N_{н.о.}$

При определении $C_{уд}$ за исходную цену комбайна по данным [115] принималась цена находящаяся в промышленном производстве комбайнов двух типов — ПК-8 и «Караганда 7/15С». Определявшаяся средняя базовая удельная цена продукции учитывала сложившуюся технологию изготовления машин с энерговооруженностью исполнительных органов 115—200 кВт (табл. 2.1.9).

В среднем удельная цена комбайнов составила около 1,9 тыс. руб/т. Так как увеличение энерговооруженности и применение в некоторых случаях повышенного питающего напряжения сопровождаются повышением относительной стоимости изготовления, то нельзя принимать полученную среднюю удельную стоимость изготовления при увеличении энерговооруженности. Поэтому удорожание производства оценивалось следующими коэффициентами:

Энерговооруженность главных исполнительных органов, кВт	Коэффициент удорожания	$C_{уд}$, тыс. руб/т
До 260	1	1,9
260—360	1,1	2,1
361 и более	1,25	2,4

Расчеты оптовой цены комбайнов показали, что цена машины мало зависит от сечения проходимой выработки, а определяется главным образом энерговооруженностью исполнительных органов. Цена машин, оснащенных средствами автоматизации управления, увеличивается на 4—5 тыс. руб. независимо от энерговооруженности машин.

Определенная по этой методике на стадии проектирования оптовая цена комбайнов «Урал 10КС» и «Урал 20КС» округленно составила 140 тыс. и 160 тыс. руб. соответственно. Государственный

комитет цен позже установил оптовые цены: для «Урал 10КС» — 145 тыс. руб. (с 1978 г.) и для «Урал 20КС» — 154—159 тыс. руб. (в зависимости от типоразмера). Это позволяет использовать методику для целей прогнозирования стоимости комбайнов, нужной, например, при определении уровня рациональной производительности рассматриваемого класса машин (гл. 4).

Таким образом, анализ основных технических особенностей комбайнов непрерывного действия позволил выявить эмпирические связи между их основными параметрами, учет которых необходим при оптимизации параметров конструкции или режимов работы машин рассматриваемого класса.

2.2. Анализ технических параметров комбайнов циклического действия

Основным технологическим отличием комбайнов циклического действия от комбайнов непрерывного действия является возможность значительного изменения в процессе проходки высоты проходимой выработки без переналадки или ремонта элементов исполнительного органа. По рабочему циклу или схемам работы комбайны циклического действия разделяют в основном на комбайны избирательного действия и комбайны с упрощенным рабочим циклом.

Комбайнами первой группы возможно проведение выработок практически любой формы, поэтому они получили широкое распространение в угольной промышленности ряда стран для проведения подготовительных выработок. Комбайны этого типа технологически универсальны благодаря стреловому исполнительному органу с двумя степенями свободы (в горизонтальной и вертикальной плоскостях). Однако такие комбайны, используемые преимущественно в подготовительных выработках с небольшой сопротивляемостью пластов, имеют невысокую энерговооруженность исполнительных органов, обычно не превышающую 100 кВт. Кроме того, две степени свободы стрелового органа усложняют процесс управления машиной и снижают удельный вес производительных операций по разрушению забоя.

При использовании камерных систем разработки, в частности при очистной выемке руды на калийных рудниках, стремясь уменьшить потери или разубоживание руды в процессе добычи, форму сечений камер и других выработок максимально приближают к прямоугольной. При этом основными требованиями, предъявляемыми к общей компоновочной схеме комбайна, являются повышение энерговооруженности и упрощение процесса управления, что было воплощено в конструкции комбайнов циклического действия (второй группы).

В комбайнах второй группы используют роторно-шnekовые исполнительные органы с одной степенью свободы (в вертикальной

плоскости). Эта особенность за счет некоторой потери технологической универсальности позволила значительно повысить энерговооруженность исполнительных органов таких машин. С 1974 г. комбайны циклического действия с упрощенным рабочим циклом, до этого нашедшие применение в США на очистной выемке в угольных шахтах при камерной системе разработки, начинают получать распространение в таких же условиях в калийных рудниках Канады.

В табл. 2.2.1 приведены технические данные по некоторым моделям комбайнов циклического действия, в которых отражены характеристики наиболее мощных машин первой и второй групп.

Данные для таблицы заимствованы из работ [10, 14, 96, 98, 100, 101, 116, 117] и дополнены проектными по комбайну ПКЦ, разработка которого осуществляется Гипроуглегормашем совместно с СКБ Копейского машиностроительного завода им. С. М. Кирова.

2.2.1. Особенности схем обработки забоя

На рис. 2.2.1 в обобщенном виде показаны схемы обработки забоя при проходке комбайнами выработок прямоугольного сечения (камер). При работе комбайнов избирательного действия забой обрабатывается послойно при горизонтальном движении стрелового (одного или двух) исполнительного органа. По вертикали исполнительный орган движется обычно при переходе к выемке очередного слоя. Такая схема обработки забоя чаще всего используется, когда ширина выработки больше ее высоты. При этом много времени затрачивается на внедрение исполнительных органов в начале цикла, а управление ими требует постоянного внимания машиниста. Технологические возможности комбайнов избирательного действия при проходке выработок прямоугольной формы используются не полностью.

Комбайны с упрощенным рабочим циклом производят обработку забоя сразу на всю ширину заходки качанием роторно-шнекового исполнительного органа с горизонтальной осью

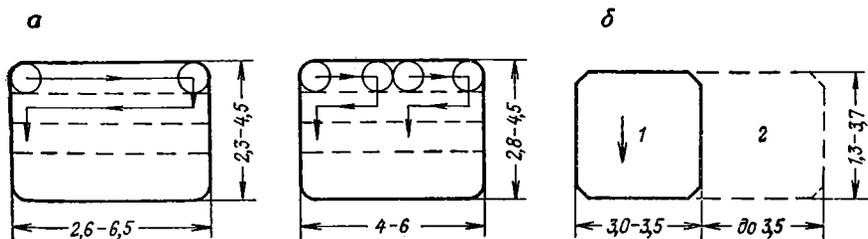


Рис. 2.2.1. Схемы обработки забоя комбайнами циклического действия: а — комбайнами избирательного действия; б — комбайнами с упрощенным рабочим циклом; 1, 2 — последовательность выемки заходок (стрелками показано направление движения исполнительного органа при отбойке)

Показатели	Комбайны избирательного действия			
	ПК-9Р	4ПП-2	ПК-11	2КСК
Размеры выработки: сечение, м ²	7—16	9—18	8,8—29	11,2—27
ширина, м	3—5,8	3,6—6	3,8—6,5	4—6
высота, м	2,2—3,9	2,6—4	2,3—4,5	2,8—4,5
Исполнительный орган: схема	Коронка на стреле			Две коронки на стреле
число диаметр, м	0,8	1 0,9	0,9; 1,05	2 0,9; 1,05; 0,95
ширина, м	—	—	—	—
длина коронки, м	—	0,6	—	0,95
длина рукоятки или и. о., м	—	4,2	—	4,8
угол поворота, градус	—	42	36	Н. д.
раздвижность, м в сторону проходки	—	0,6	—	0,65
по ширине захвата	Нет	—	—	—
направление отбойки	—	Вертикальное и горизонтальное		—
частота вращения, об/мин	60; 98	29, 46	—	39
число резов на и. о. общее	28	Н. д.	35	30×2
в контакте с забоем	14	Н. д.	14—16	(14—16) 2
Погрузочный орган: выдвижение в сторо- ну проходки, м	Стол с нагребающими лапами			—
угол поворота, градус	25	Отсутствует		0,7
Механизм подачи: тип	Гусеничный нерегулируемый			
скорость подачи, м/ч	—	120	—	252 (186)
Привод: мощность общая, кВт	163	188	272	454
исполнительного ор- гана шт. × кВт	1 × 96 *	105	1 × 150 *	2 × 143 *
число двигателей	6	8	—	9
число питающих кабе- лей	—	1	—	2
напряжение, В	660	660	660	660
Габаритные размеры, мм:				
длина	7860	8200	12300—13050	12 300
ширина	2400	2400	3200	3200
высота	1830	2000	2050	2500
Масса, т	31	35	60	80
Год или период разработ- ки	1963—1965	1972	1970	1970

* Часовая мощность.

Таблица 2.2.1

Комбайны с упрощенным рабочим циклом				
8СМ («Джой») СМ-45Е	10СМ («Джой») «Мариятта 3080»	«Мариятта 3080»	ПКЦ	
			I сборка	II сборка
5—10 3,15 1,6—3,1	4,7—9,0 2,9 1,6—3,05	4,3—8,5; 5,7—12,8 3,36 1,29—2,54; 1,7—3,8	4,8—13,3 3,0 1,6—3,7	6,6—21,6 3,6 2,2—6,0
Дисковый	Шнеково-цепной		Шнековый	
6—10 0,81	0,91	1 0,91		0,9
3,15	3,0	3,36	3,0—3,6	
Н. д.	Н. д.	2,44	3,4	
	Нет			
	Нет			
Колебательное движение	0,57	0,43		До 0,6
Сверху вниз				58
120	Н. д.	56,48 26		65 16
				Шнековый
Отсутствует				
Отсутствует				
Гусеничный регулируемый				
0—1480 259; 335 2 × 74; 2 × 112 4	0—1260 397 2 × 130	420, 840, 1680 456; 380 2 × 147 7 1		188 или 377 330; 430 2 × 110; 2 × 160 8
	550/950			660; 1140
9850; 11 700 2790 1127 33; 35 1964—1965	9750 2340 1170 38 1968—1969	10 130 2500 1350 45 1973—1974		10 500 3000—3600 1350 40 1900 45
			1973—1976	

вращения в направлении от кровли к почве выработки. При необходимости проведения выработки шириной больше исполнительного органа проходку ведут двумя последовательными заходками. Поэтому ширина проходимой выработки может достигать удвоенной длины исполнительного органа. Длина чередующихся заходок 1, 2 примерно равна удвоенной длине комбайна. При такой схеме обработки забоя управление движением исполнительных органов в плоскости забоя значительно облегчается, в частности работа машиниста требует меньшего внимания. При этом создаются предпосылки заметного увеличения энерговооруженности исполнительных органов. Для характеристики рабочего цикла рассмотренных групп комбайнов циклического действия целесообразно использовать отношение П. Ц. (показатель рабочего цикла)

$$\text{П. Ц.} = \frac{F_{\text{вр}}}{F_{\text{выр}}}, \quad (2.2.1)$$

где $F_{\text{вр}}$ — сечение исполнительного органа, м²; $F_{\text{выр}}$ — полное сечение проходимой выработки или заходки, м².

При помощи П. Ц. характеризуется степень избирательности или относительное число управляющих воздействий, необходимое для обработки забоя исполнительными органами рассматриваемых групп комбайнов, а от рабочего цикла, в свою очередь (избирательного или упрощенного), зависит также конструктивная сложность рассматриваемых групп комбайнов циклического действия. Это видно, например, из сопоставления числа гидроцилиндров, применяемых на исполнительных органах или погрузчиках этих машин для обеспечения требуемого по схеме работы числа степеней свободы (табл. 2.2.2).

Т а б л и ц а 2.2.2

Место установки гидроцилиндров	Расположение и назначение гидроцилиндров	Число гидроцилиндров при рабочем цикле	
		избирательном	упрощенном
На исполнительном органе	Горизонтальное рабочее	2	Нет
	Вертикальное рабочее	2	2
	По оси и. о., рабочее	2	Нет
	Раздвижность и. о.	Нет	2
На погрузчике	Поперечное оперативное.	2	Нет
	По оси комбайна оперативное	2	Нет
	Вертикальное оперативное	2	2
	Итого гидроцилиндров	12	6

Показатель рабочего цикла П. Ц. (избирательного и упрощенного) составил соответственно $\frac{0,09 \div 0,2^*}{0,14 \div 0,6}$ и $0,7 \div 0,25$.

Число гидроцилиндров снижалось с увеличением показателя рабочего цикла, величина которого, в свою очередь, прямо зависела от группы (рабочего цикла) комбайнов. Поскольку управление каждой парой гидроцилиндров осуществляется с помощью отдельных независимых гидрозолотников, то управление комбайнами с упрощенным рабочим циклом несколько легче, чем комбайнами избирательного действия. Ориентировочно можно считать, что число управляющих воздействий, осуществляемых машинистом в процессе работы, пропорционально показателю рабочего цикла.

2.2.2. Принципиальные особенности исполнительных органов комбайнов

Из-за особенностей схемы обработки забоя проходимой выработки на комбайнах циклического действия разных групп применяются принципиально различные исполнительные органы (рис. 2.2.2). Для удобства анализа на рисунке также показаны их символы работы [118], с помощью которых определяются число степеней свободы и направление движения рассматриваемых элементов комбайна.

К о м б а й н ы и з б и р а т е л ь н о г о д е й с т в и я

Комбайны избирательного действия оснащаются одним типом исполнительного органа — конической режущей головкой, расположенной на конце стрелы (рукоятки), которая с помощью двух групп гидроцилиндров осуществляет обработку забоя выра-

* Числитель — п. о. с одной режущей коронкой, знаменатель — с двумя режущими коронками.

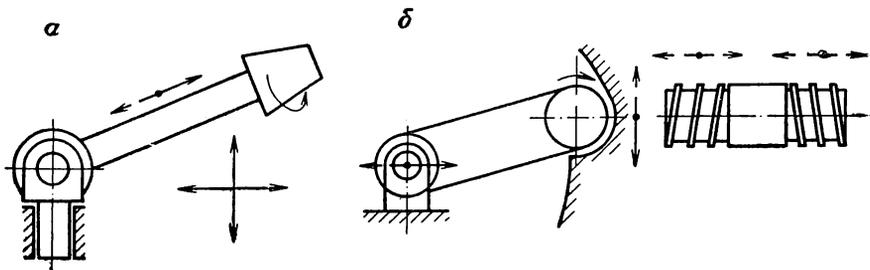


Рис. 2.2.2. Схемы исполнительных органов комбайнов циклического действия:

а — избирательного действия; б — с упрощенным рабочим циклом; — — рабочее движение; — — — оперативное движение

ботки сложной конфигурации. Для внедрения коронки в забой перед началом очередного цикла работы стрела может раздвигаться вдоль своей оси специальными гидроцилиндрами. Для возможности перемещения коронки в двух плоскостях (по ширине и высоте выработки) стрела, конструктивно объединяющая в один функциональный узел приводной электродвигатель, редуктор, режущую коронку и гидроцилиндры раздвижности, установлена на мощных горизонтальной и вертикальной опорах, воспринимающих реакции от сил резания, которые возникают на коронке при работе комбайна. Наличие вертикальной опоры является одной из причин увеличения высоты комбайнов избирательного действия. По данным табл. 2.2.1 определены следующие осредненные характеристики комбайнов:

Параметры	Комбайны	
	I группы	II группы
Высота комбайна, м	2,1	1,4
Высота выработки, м	2,5	1,7
Мощность двигателей и. о., кВт	159	245

Для увеличения производительности комбайнов рассматриваемой группы в некоторых отечественных и зарубежных конструкциях используются две режущие коронки с приводом от отдельных двигателей, размещаемых на двух параллельных стрелах.

Многолетний опыт эксплуатации комбайнов избирательного действия показал, что движение стрелы исполнительного органа при отбойке в горизонтальной плоскости сопровождается потерей устойчивости комбайна (его разворотом), особенно заметной при мощности привода коронок свыше 50 кВт. Поэтому мощные комбайны избирательного действия в ряде случаев оснащаются распорными устройствами или аутригерами, эффективность работы которых не всегда удовлетворительна.

К о м б а й н ы с у п р о щ е н н ы м р а б о ч и м ц и к л о м

Комбайны циклического действия с упрощенным рабочим циклом оснащаются исполнительными органами роторного типа с горизонтальной осью вращения. Длина (или ширина) ротора равна ширине проходимой выработки. В известных конструкциях комбайнов этого типа длина ротора изменялась от 2,9 до 3,6 м.

Применялись роторные исполнительные органы следующих основных типов:

1. Дисковый с четным числом (6—10) режущих дисков при колебательном движении их вдоль оси ротора. Колебательное перемещение дисков на 300—400 мм использовалось для разрушения остающихся между ними целиков угля (комбайны фирмы «Джой»).

2. Шнеково-цепной с приводом ротора и разрушением части забоя одной или двумя режущими цепями (комбайны фирм «Джой»)

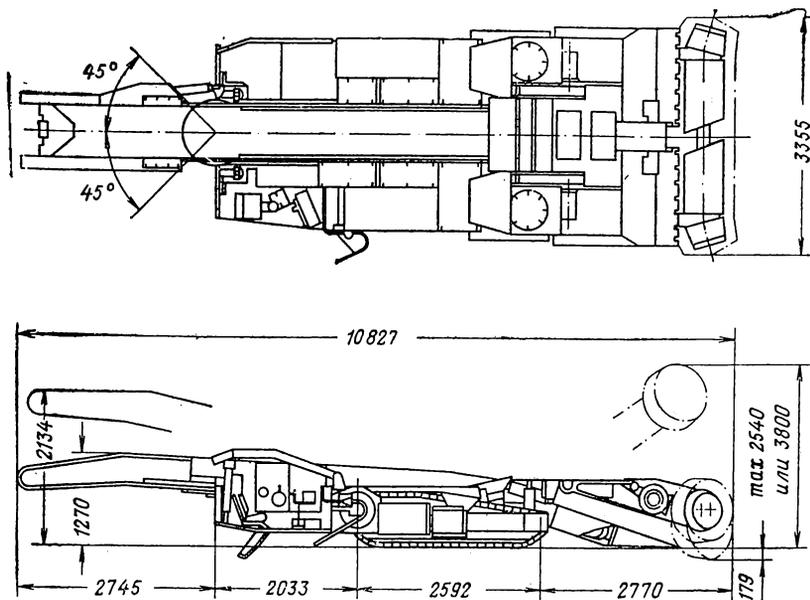


Рис. 2.2.3. Комбайн «Мариетта 3080»

и «Джеффри»). Одну из последних конструкций комбайнов этой группы представляет комбайн «Мариетта 3080» (рис. 2.2.3) с исполнительным органом шнекового типа (фирма «National mine service company»), для привода которого использованы два двигателя мощностью до 147 кВт.

Во всех рассмотренных конструкциях зарубка исполнительного органа в начале цикла отработки забоя осуществляется только с помощью гусеничной подачи комбайна. При использовании шнекового исполнительного органа с правой и левой спиралью и движении его при обработке забоя только в направлении сверху вниз. В нижнем положении (после очередного цикла обработки забоя) отбитая горная масса активно транспортируется шнеками к оси комбайна. Благодаря этому значительно облегчаются условия работы погрузочных устройств комбайна. Как и в комбайнах первой группы, отбойный орган комбайнов второй группы конструктивно объединен в функциональный узел с исполнительным органом, двумя приводными электродвигателями и их редукторами. Так как отбойный орган обрабатывает забой сверху вниз, а исполнительные органы оснащаются уравновешенным набором режущего инструмента, то реакции от сил резания направлены вертикально, а реакции в горизонтальной плоскости практически отсутствуют. Благодаря этому устойчивость таких комбайнов существенно выше, чем комбайнов избирательного действия, а масса отбойного органа в значительной мере компенсирует

реакции, возникающие на резах при разрушении забоя от сил ΣP_y .

На всех модификациях комбайнов циклического действия обычно применяется один тип погрузочного органа — наклонный погрузочный стол с нагребными лапами, имеющими привод чаще всего от отдельных электродвигателей. Схемы привязки погрузочных столов к комбайнам различных групп имеют существенные особенности. Так, на комбайнах избирательного действия погрузочный стол может совершать до трех видов оперативных движений: поворот в горизонтальной плоскости для погрузки горной массы по всей ширине выработки, подачу на забой при отключенном гусеничном ходе и изменение положения стола относительно почвы выработки. На комбайнах второй группы погрузочный стол совершает только один вид оперативного перемещения — для изменения положения стола по вертикали.

На всех комбайнах циклического действия применяется один вид разрушения — сплошное разрушение забоя с поверхности, осуществляемое последовательными заходками исполнительных органов. При этом используется одна схема резания — параллельные срезы серповидной формы. Параметры разрушения $L_{уд}$, h_{max} и h_{cp} определяются по формулам:

удельного пути резания

$$L_{уд} = \frac{V_p n_z n}{b l_3 V_k}, \text{ км/м}^3, \quad (2.2.2)$$

где L_p — длина пути контакта реза с забоем, равная $L_p = r\varphi$ (φ — угол контакта инструмента с забоем, рад); V_k — скорость качания исполнительного органа, м/мин; b — ширина зарубки (захват), м; l_3 — длина органа, м;

максимальной глубины срезов

$$h_{max} = \frac{v_s 100}{nm}, \text{ см}; \quad (2.2.3)$$

средней глубины срезов (при $b = d$, где d — диаметр ротора или режущей коронки)

$$h_{cp} = \frac{2h_{max}}{\pi}, \text{ см}. \quad (2.2.4)$$

2.2.3. Энерговооруженность и ее связь с массовыми характеристиками комбайнов. Цена комбайнов

Энерговооруженность — один из основных показателей технического уровня, определяющий массу и цену комбайнов. Анализ этих показателей имеет особое значение для машин циклического действия, влияние энерговооруженности на массу которых, выполненных по различным схемам, неодинаково.

Данные для выполнения такого анализа приведены в табл. 2.2.3. Сведения об энерговооруженности и массе отдельных

Таблица 2.2.3

Комбайн	Точки на рис. 2.2.4 и 2.2.5	Схема и символ и. о. *	Выработка, м		Масса, т	Энергоооруженность, кВт		G/Н.п.о., т/кВт
			Высота Н	Ширина В		и. о.	Общая	
Илбирательного действия:	4ПУ (ПК-7)		1,5-2,8	2,6-3,3	10,7	22	94	0,49
	VS-1		0,9-2	4	11,5	26	50	0,44
	ПКЗМ		2,1-3,2	2,8-4,0	10,8	32	114	0,34
	MR2 «Доско»		1,8-4,1	3-4,6	23	48	105	0,48
	ПК		1,5-3,6	2,6-3,7	17,5	50	76	0,35
	ПК-9Р		2,2-3,9	3-6,3	30	93/65	201	0,32/0,46
	Доско		1,4-2,9	5,33	25	48 × 2	172	0,26
	EW100		3,3-5	4,2-6	45	100/130	218	0,45/0,35
	4ПН2		2,6-4,0	3,6-6,0	35	105	188	0,33
	EWR120		3,1-5	4,7-6,2	70	120	282	0,38
	EWR160		3,1-5	4,7-6,2	70	160	332	0,44
	ПК-11		2,3-4,5	3,8-6,5	60	145/105	272	0,41/0,47
2КСК	2,8-4,5	4-6	80	290/210	454	0,28/0,38		
Супрощенный рабочий пикетаж:	13		1,9-3	3,3-6,7	38	147	328	0,26
	14		1,6-3	3,6-6	34	147	246	0,23
	15		1,3-3,1	3,15	33	148	260	0,22
	16		1,3-3	2,9	38	130 × 2	397	0,15
	17		1,3-3,8	3,36	46	149 × 2	462	0,15
	18; 18'		1,6-3,7	3,4	40	220	300	0,18/0,13
	19; 19'		2,2-6	3,4	45	320	400	0,2/0,14

Движение: ● → рабоче; ● → оперативное.

$\frac{N_{всп.}, \text{отн. ед.}}{N_{и.о}}$

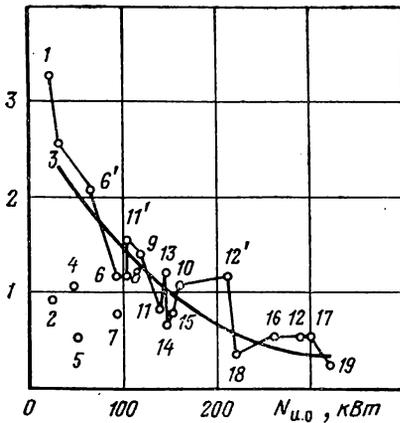
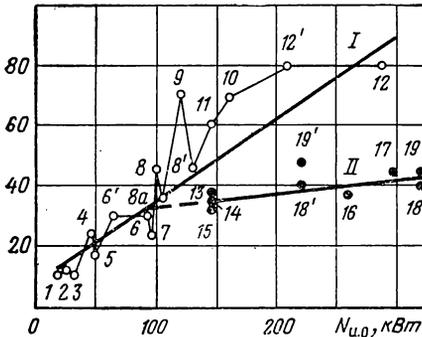


Рис. 2.2.4. Зависимость удельной мощности вспомогательного привода от мощности привода исполнительного органа

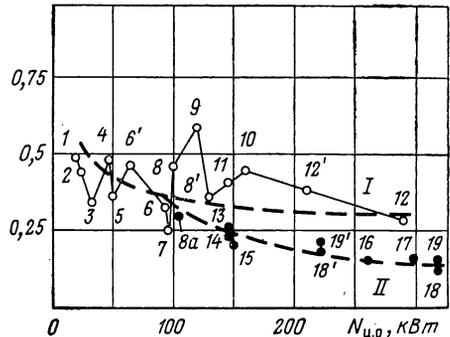
Рис. 2.2.5. Зависимость весовых характеристик машин от энерговооруженности исполнительного органа:

I — машины избирательного действия;
II — машины с упрощенным рабочим циклом

G, τ



$G_{уд}, \tau/\text{кВт}$



машин циклического действия сгруппированы по применяемым схемам работы (избирательной или упрощенной).

Поскольку электропривод комбайнов циклического действия, как и машин непрерывного действия, осуществляет две функции, то сначала устанавливается зависимость $N_{всп}/N_{и.о} = f(N_{и.о})$ (рис. 2.2.4), которая с некоторым приближением аппроксимируется выражением

$$\frac{N_{всп}}{N_{и.о}} = \frac{80}{N_{и.о}} + 0,3, \text{отн. ед.} \quad (2.2.5)$$

Следовательно, для получения данных, правильно характеризующих машины циклического действия, следует учитывать мощность двигателей только их исполнительных органов.

На рис. 2.2.5 показаны зависимости массы комбайнов G и их удельной металлоемкости $G_{уд}$ от мощности привода исполнитель-

ных органов, которые в определенных границах аппроксимировались следующими зависимостями:

для комбайнов избирательного действия при $N_{н.о} = 20 \div 300$ кВт

$$G = 8,4 + 0,3N_{н.о}, \text{ т} \\ (r = 0,89; \quad t_n = 8); \quad (2.2.6)$$

и

$$G_{уд} = \frac{9}{N_{н.о}} + 0,3, \text{ т/кВт}; \quad (2.2.7)$$

для комбайнов с упрощенным рабочим циклом при $N_{н.о} = 100 \div 300$ кВт:

$$G = 27,6 + 0,045N_{н.о}, \text{ т} \\ (r = 0,88; \quad t_n = 11); \quad (2.2.8)$$

$$G_{уд} = \frac{28}{N_{н.о}} + 0,05, \text{ т/кВт}. \quad (2.2.9)$$

Из формул (2.2.6)—(2.2.9) видно, что при мощности двигателей исполнительных органов свыше 100 кВт схема комбайнов с упрощенным рабочим циклом обеспечивает снижение массы по сравнению с машинами избирательного действия. Это преимущество особенно заметно при энерговооруженности исполнительных органов более 200 кВт. Сопоставление данных (2.1.20) с (2.2.7) и (2.2.9) показывает, что при $N_{н.о}$ около 250 кВт схема комбайнов с упрощенным рабочим циклом наиболее экономична из всех ранее рассмотренных, так как обеспечивает минимальную массу и стоимость этого типа комбайнов. По уровню удельной металлоемкости на единицу энерговооруженности рассмотренные в этой главе типы комбайнов располагались в такой последовательности: избирательного действия — 1, непрерывного действия — 0,7, с упрощенным рабочим циклом — около 0,5.

Имея данные о связи весовых характеристик машин с их энерговооруженностью, можно с помощью следующих выражений перейти к определению цены машин:

$$Ц = G\Pi_{уд}, \text{ тыс. руб.} \quad (2.2.10)$$

или

$$Ц = G_{уд}N_{н.о}\Pi_{уд}, \text{ тыс. руб.}, \quad (2.2.11)$$

где $\Pi_{уд}$ — базовая цена машин.

Базовая удельная цена определялась исходя из массы и цены комбайнов аналогичного класса, находящихся в промышленном производстве [115].

Комбайн	Цена, тыс. руб.	Масса, т	Базовая удельная цена, тыс. руб/т
ПК-3М	18,65	10,84	1,72
ПК9Р	60	30,55	1,96
ГПК	43,5	17,5	2,5

В среднем базовая удельная цена составила примерно 2,1 тыс. руб/т.

Увеличение энерговооруженности в сравнении с машинами, по которым определялась базовая удельная цена, учитывается следующими коэффициентами:

Энерговооруженность исполнительного органа, кВт	Коэффициент удорожания	Ц _{уд} * тыс. руб/т
До 120	1	2,1
121—200	1,1	2,3
Более 201	1,25	2,6

Определенные по изложенной методике цены комбайнов избирательного действия и с упрощенным рабочим циклом при $N_{н.о} = 250$ кВт составили 196 тыс. и 102 тыс. руб. соответственно. Следовательно, для калийной промышленности преимущественны комбайны с упрощенным рабочим циклом.

В результате можно сделать вывод о том, что:

применение комбайнов непрерывного действия и комбайнов циклического действия с упрощенным рабочим циклом целесообразно при камерных системах разработки, в которых предпочтительна близкая к прямоугольной форма сечения очистных или подготовительных выработок. При этом основным требованием, предъявляемым к комбайну, является большая энерговооруженность при минимально возможной массе;

в тех условиях, где основой успешного применения проходческих машин является их повышенная технологическая универсальность, т. е. способность проведения подготовительных выработок любой формы, а энерговооруженность является подчиненным фактором, при небольшой сопротивляемости полезного ископаемого целесообразно использование комбайнов избирательного действия.

РЕЖИМЫ РАБОТЫ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ
КОМБАЙНОВ

От правильного выбора электродвигателя и соответствия его характеристик внешнему сопротивлению со стороны забоя зависит эффективность работы комбайнов и, в первую очередь, их техническая производительность в конкретных условиях эксплуатации. Значительное влияние на неравномерность работы электродвигателей комбайнов при многодвигательном приводе оказывает кинематическая связь между двигателями. Вместе с тем режимы работы электродвигателей машин для выемки калийных руд изучены еще недостаточно и поэтому производительность комбайнов бывает ниже ожидаемой, а аварийность двигателей из-за их перегрузки сверх допустимого уровня повышается.

В настоящей главе приведены данные исследований режимов работ асинхронных двигателей, используемых для привода комбайнов при камерной выемке калийных руд. Рассмотрены вопросы: методологии определения нагрузки электродвигателя и разработки на ее основе способов инженерного расчета допустимой средней устойчивой мощности при случайном характере внешней нагрузки; влияния жесткости сети на моментные характеристики; исследования закономерностей распределения нагрузок при многодвигательных схемах привода и динамических свойств исполнительных органов с двухдвигательным приводом.

В отдельных случаях использованы данные по режимам работы электропривода на угольных комбайнах.

3.1. Математическое описание нагрузки электродвигателей при случайном характере внешнего воздействия

Мощность электродвигателей комбайнов, работающих в угольных забоях и на калийных рудниках [7, 16, 77, 78, 80, 119—134 и др.], колеблется с переменной амплитудой и частотой, так как исполнительный орган разрушает неоднородный массив и, кроме того, влияют внешние и внутренние периодические возмущения, обусловленные неравномерностью скорости подачи, колебаниями корпуса комбайна, кинематическими возмущениями и т. д. Поэтому если при расчете производительности и выборе параметров электродвигателей комбайнов исходят из предположения постоянной нагрузки с чередующимися циклами включений (режим S₄, ГОСТ 16565—71), то определенные характеристики

двигателей, как правило, не соответствуют работе комбайна с номинальной производительностью, а сроки службы двигателей составляют не более 1000—1300 ч вместо 15 000 ч, рекомендуемых стандартом.

Для определения математического ожидания мощности электродвигателя $N(t)$ и показателей ее изменчивости проходческий или очистный комбайн представляется как объект, на исполнительный орган и механизм передвижения которого действуют случайные функции сил сопротивления забоя резанию и сил сопротивления движению.

Нагрузку двигателя формируют в основном сопротивляемость пласта $A(t)$ и скорость подачи $V_n(t)$. При заданном конструктивном исполнении комбайна силы сопротивления резанию $P_z(t)$ определяются произведением функций $A(t)$ и толщины среза $h(t)$, функционально зависящей от скорости подачи $V_n(t)$. Механическая мощность на резание $N_p(t)$, в свою очередь, определяется силами $P_z(t)$ и скоростью резания $V_p(t)$.

С учетом изложенного

$$N_p(t) = \xi_{тр} [A(t) V_n(t) K_{нр} V_p(t)], \text{ кВт}, \quad (3.1.1)$$

где $\xi_{тр}$ — оператор, в общем виде учитывающий динамические свойства трансмиссии и электропривода, принятые параметры инструмента и схемы резания, а также систему единиц измерения; $K_{нр}$ — коэффициент пропорциональности, характеризующий отношение толщины среза к скорости подачи.

Так как скорость резания на комбайнах с асинхронным электромеханическим приводом в первом приближении можно считать постоянной, то функцию $V_p(t)$ и коэффициент $K_{нр}$ можно отнести к постоянным сомножителям и включить в общий оператор

$$N_p(t) = \xi_f [A(t) V_n(t)], \text{ кВт}. \quad (3.1.2)$$

Мощность на подачу формируется случайными функциями напорного или тягового усилия $F(t)$ и скорости подачи $V_n(t)$:

$$N_n(t) = \lambda_f [F(t) V_n(t)], \text{ кВт}, \quad (3.1.3)$$

где $F(t)$ — случайная функция напорного или тягового усилия подачи комбайна; λ_f — оператор, учитывающий динамические свойства системы подачи и другие постоянные параметры, характерные для данного типа комбайна, а также систему единиц измерения.

При работе очистных или проходческих комбайнов в первом приближении в зависимости от режима работы могут иметь место два варианта формирования мощности. При работе в режиме постоянной производительности случайные функции $A(t)$ и $V_n(t)$ (без учета пробуксовки траковой цепи и ее вытяжки) являются независимыми, а при автоматическом или ручном регулировании скорости подачи — взаимозависимыми.

В первом случае математическое ожидание и корреляционная функция мощности на резание могут быть определены по формулам:

$$\begin{aligned}\bar{N}_p &= \xi_t [\bar{A}\bar{V}_n]; \\ K_p(\tau) &= \xi_t^2 [K_A(\tau) K_V(\tau)],\end{aligned}\tag{3.1.4}$$

где N_p , \bar{A} , \bar{V}_n — математические ожидания случайных функций соответственно мощности, сопротивляемости пласта и скорости подачи; $K_p(\tau)$, $K_A(\tau)$, $K_V(\tau)$ — корреляционные функции мощности на резание, сопротивляемости пласта и скорости подачи.

Во втором случае, когда скорость подачи комбайна регулируется в зависимости от нагрузки электродвигателя авторегулятором или оператором, например по условию $N = \text{const}$, $\bar{V}_p = \text{const}$, $V_n = \text{var}$, математическое ожидание и корреляционная функция мощности должны определяться с учетом взаимной коррелированности скорости подачи и сопротивляемости*:

$$\begin{aligned}N_p(t) &= \xi_t [\bar{A}\bar{V}_n - D_{AV}]; \\ K_p(\tau) &= \xi_t^2 \{K_A(\tau) K_V(\tau) - K_{AV}(\tau) K_{VA}(\tau)\}\end{aligned}\tag{3.1.5}$$

или

$$K_p(\tau) = \xi_t^2 \{K_A(\tau) K_V(\tau) [1 - \eta_{AV}^2]\},$$

где D_{AV} — взаимная дисперсия сопротивляемости пласта и скорости подачи; $K_{AV}(\tau)$, $K_{VA}(\tau)$ — взаимные корреляционные функции этих параметров; η_{AV} — коэффициент взаимной корреляции сопротивляемости пласта и скорости подачи.

При приводе механизма подачи от главного электродвигателя общая мощность равна сумме мощностей резания, подачи и холостого хода $N_{x,x}$:

$$\bar{N} = N_{x,x} + \bar{N}_p + \bar{N}_n, \text{ кВт.}\tag{3.1.6}$$

Мощность холостого хода при этом целесообразно принимать постоянной.

Корреляционная функция общей мощности

$$K_N(\tau) = K_p(\tau) + K_n(\tau) + K_{pn}(\tau) K_{np}(\tau),\tag{3.1.7}$$

где $K_{pn}(\tau)$, $K_{np}(\tau)$ — взаимные корреляционные функции мощностей резания и подачи.

Анализ осциллограмм мощности показывает, что корреляционные функции мощности главного привода комбайнов, работающих

* Характеристику сопротивляемости пласта \bar{A} и $K_A(\tau)$ см. в гл. 1.

на угольных и калийных пластах, удовлетворительно аппроксимируются зависимостью

$$K_N(\tau) = c_1 e^{-\alpha_1 |\tau|} + c_2 \sum_1^i e^{-\alpha_i |\tau|} \cos \omega_i \tau, \quad (3.1.8)$$

где c_1, c_2 — удельные дисперсии случайной функции мощности; i — число слагаемых аппроксимирующего выражения корреляционной функции; α_1, α_i — коэффициенты, характеризующие интенсивность затухания процесса, $1/c$; ω_i — круговая частота, $1/c$.

Случайный характер нагрузки определяет способ установления допустимой средней устойчивой мощности двигателя, исходя из требуемой механической перегрузочной способности и предельной температуры перегрева корпуса.

При принятой гипотезе о нормальном распределении случайной нагрузки устойчивая мощность вычисляется по формуле

$$N_{уст} = N_{\max \phi} - K_N \sqrt{\overline{K_N(\tau)}} \Big|_{\tau=0}, \text{ кВт}, \quad (3.1.9)$$

где $N_{\max \phi}$ — максимальная мощность, эквивалентная опрокидному моменту в условиях шахтной сети, кВт; K_N — коэффициент, характеризующий относительное отклонение мощности.

Если $N_{\max \phi}$ принять за пороговую величину, а превышение текущего значения N_i выше уровня $N_{\max \phi}$ за выброс, то на основании данных [135] вероятность работы без выбросов

$$P = \exp \left\{ -\frac{T}{2\pi} \sqrt{\frac{\ddot{K}_N(0)}{K_N(0)}} \exp \left[-\frac{(N_{\max \phi} - N_{уст})^2}{2K_N(0)} \right] \right\}, \quad (3.1.10)$$

где P — вероятность работы без выбросов (опрокидываний); $K_N(0), \ddot{K}_N(0)$ — корреляционная функция мощности и ее вторая производная при $\tau = 0$; T — интервал наблюдений.

При заданной вероятности ожидаемое число выбросов

$$n_T = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{\ddot{K}_N(0)}{K_N(0)}} \exp \left[-\frac{(N_{\max \phi} - N_{уст})^2}{2K_N(0)} \right]. \quad (3.1.11)$$

От изменчивости процесса зависит также средняя длительность выброса

$$\bar{t}_в = \pi \sqrt{\frac{\overline{K_N(\tau)}}{\ddot{K}_N(0)}} \exp \left[\frac{(N_{\max \phi} - N_{уст})^2}{2\sigma_N^2} \right] \left[1 - \Phi \left(\frac{N_{\max \phi} - N_{уст}}{\sigma_N} \right) \right],$$

где Φ — функция Лапласа для нормального распределения.

Расчитанная по такому методу мощность с заданной вероятностью будет обеспечивать работу двигателя комбайна с допустимым уровнем механических перегрузок.

Для расчетов по формулам (3.1.10)—(3.1.12) аппроксимирующие выражения корреляционных функций потребляемой мощности электродвигателя комбайна должны иметь вторые производные при $\tau = 0$. Так как полный спектр нагрузок горных машин складывается из случайных и регулярных (периодических) составляющих, то корреляционные функции потребляемой мощности аппроксимируются выражениями [80, 135], имеющими вторые производные:

$$K_N(\tau) = \sigma_N^2 e^{-\alpha |\tau|} (1 + \alpha |\tau|); \quad \ddot{K}_N(0) = \sigma_N^2 \alpha^2; \quad (3.1.13)$$

$$K_N(\tau) = \sigma_N^2 e^{-\alpha |\tau|} \left(\cos \beta \tau + \frac{\alpha}{\beta} \sin \beta |\tau| \right); \quad \ddot{K}_N(0) = \sigma_N^2 (\alpha^2 + \beta^2); \quad (3.1.14)$$

$$K_N(\tau) = \sigma_N^2 \cos \beta \tau; \quad \ddot{K}_N(0) = \sigma_N^2 \beta^2. \quad (3.1.15)$$

Формулы (3.1.13) и (3.1.14) соответствуют случайным, а формула (3.1.15) — периодическим составляющим нагрузок электропривода горных комбайнов.

Используя вероятностное описание нагрузки электродвигателей, можно рассчитать их устойчивую мощность, но для практического применения выражения (3.1.9) предварительно необходимо установить влияние жесткости шахтной сети на моментные характеристики электродвигателей.

3.2. Влияние жесткости шахтной сети на моментные характеристики электродвигателей

При создании проходческо-добычных комбайнов для выемки угля и особенно калийных руд предусматривается дальнейшее увеличение установленной мощности их главного электропривода. Преимущественное применение получили короткозамкнутые асинхронные электродвигатели как наиболее надежные. При обосновании и выборе установленной мощности привода, способного в условиях случайного внешнего воздействия обеспечить заданную производительность комбайнов, необходимо прежде всего выявить реальные (с учетом влияния жесткости шахтной сети) статические и динамические параметры приводных двигателей.

Допустимая средняя нагрузка на электродвигатель, как это следует из выражения (3.1.9), в значительной мере определяется величиной фактического максимального момента, который у одного и того же двигателя, в зависимости от параметров сети, может быть различным. Обычно величину максимального момента M_{\max} принимают по каталожным данным двигателя, определенным в заводских условиях на стенде с жесткой сетью, когда сопротивление питающей сети бесконечно мало, а мощность трансформатора намного больше мощности двигателя. В реальных шахтных условиях

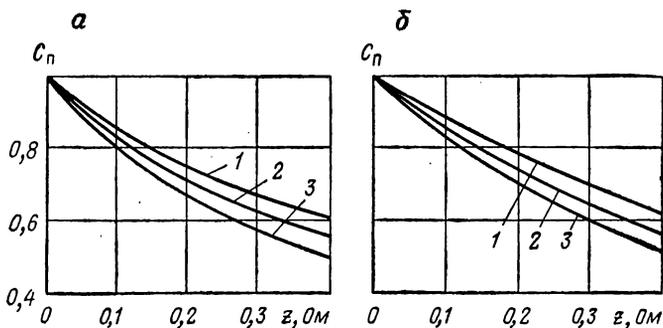


Рис. 3.2.1. Зависимость коэффициента C_n от сопротивления шахтной сети:

а — трансформатор ТКШВП 240/6; б — трансформатор ТКШВП 320/6;
 1 — $M_{\max} = 150 \div 175$ кгс·м; 2 — $M_{\max} = 200$ кгс·м; 3 — $M_{\max} = 240$ кгс·м

сопротивление питающей сети значительно больше, а мощность подстанций лишь несколько больше суммарной мощности двигателей. Поэтому механические характеристики двигателей, особенно мощностью свыше 100 кВт, заметно ухудшаются. Установлено, что максимальный фактический момент двигателя в шахтных условиях прямо зависит от сопротивления сети и может определяться по формуле [136, 137]

$$M_{\max \phi} = C_n M_{\max}, \text{ кгс} \cdot \text{м}, \quad (3.2.1)$$

где C_n — коэффициент, учитывающий снижение паспортного момента в условиях шахтной сети.

Величина коэффициента C_n зависит от длины и сечения питающего кабеля, напряжения сети и мощности трансформатора. На рис. 3.2.1, составленном по данным [127, 136], показана зависимость коэффициента C_n от полного сопротивления шахтной сети. Сопротивление шахтной участковой сети (трансформатор — комбайн) в условиях калийных рудников, хотя и существенно ниже, чем на угольных шахтах, по имеющимся данным всегда больше 0,1 Ом (табл. 3.2.1) и в среднем из 9 случаев составило 0,12 Ом. Значения фактического максимального момента некоторых типов двигателей (при среднем значении сопротивления сети в условиях калийных рудников 0,12 Ом) приведены в табл. 3.2.2.

Приведенные значения максимального фактического момента электродвигателей получены при длине питающего кабеля 250—300 м, допускающей работу комбайнов в камерах длиной не более 200—250 м. При большой длине камер напряжение на зажимах двигателя чрезмерно падает, а фактический момент значительно снижается.

Для установления характера воздействия случайных нагрузок на элементы привода горных комбайнов важное значение имеют

Таблица 3.2.1

Место-рождение	Комбайн	Число фиде-ров	Трансформатор	Кабель		Полное сопротивление сети, Ом
				Марка	Дли-на, м	
Верхне-камское	ПК-10	2	ТКШВП 320 ТКШВП 320	СБЗ×95 ГРШЭЗ×95	240 200	0,14
	ПК-8 № 30	2	ТКШВП 320	СБЗ×150 ГРШЭЗ×95	150 300	0,10
	ПК-8 № 43	2	ТКШВП 320	СБЗ×120 ГРШЭЗ×70	300 165	0,12
	ПК-8 № 58	2	ТКШВП 320	ГРШЭЗ×70 ГРШЭЗ×95	250 250	0,12
	«Урал 20КС»	2	ТКШВП 320	ГРШЭЗ×95	350	0,11
Старо-бинское	«Караганда 7/15»	2	ТСШВК 240	СБЗ×95 ГРШЭЗ×70	40 200	0,09
	«Караганда 7/15»	1	ТСШВК 240	СБЗ×95 ГРШЭЗ×70	40 400	0,15
	ПК-10 № 3	2	ТКШВП 320	ГРШЭЗ×95	200	0,13
	ПК-8 № 92	2	ТКШВП 320	ГРШЭЗ×95	150 400	0,13
	Среднее				404	0,12

собственные частотные характеристики исследуемой линейной или сведенной к линейной динамической системы привода. Зная, например, амплитудно-частотные характеристики (АЧХ) двигателей, значительно легче выбрать рациональные параметры трансмиссии и исполнительного органа комбайнов, обеспечивающие снижение динамических нагрузок их приводов. АЧХ привода

Таблица 3.2.2

Двигатель	N_{\max} , кВт	M_{\max} по каталогу, кгс·м	$\frac{M_{\max}}{M_{\text{ном}}}$	Коэффициент C_p	$M_{\max} \varphi$, кгс·м
ЭДКО 4-2л	212	153	2,1	0,9	138
ЭДКО 4-4м	270	200	2,6	0,86	172
1ЭДКО5Р	310	230	2,3	0,84	193
ВАОПК101-4	300	220	2,5	0,84	185
ВАОПК102-4	360	265	2,5	0,81	214

Показатели	Электродвигатели						
	ЭДКО4-2М	ЭДКО4-4М	ЭКВ-4	ЭДКО5-Р	ЭДКО6 41-4	ЭДКО6 51-4	ЭДКО6 52-4
Номинальная мощность $N_{\text{ном}}$, кВт	105	115	120	150	100	125	160
Момент номинальный $M_{\text{ном}}$, кгс·м	70,2	76,5	79,9	100	65,9	82,3	105
Момент критический M_c , кгс·м	130	195	210	230	164,8	205,7	262
Перегрузочная способность $M/M_{\text{ном}}$	1,8	2,55	2,6	2,3	2,5	2,5	2,5
Скольжение номинальное $S_{\text{ном}}$	0,0266	0,02	0,0233	0,0178	0,0133	0,0133	0,01
Скольжение критическое $S_{\text{к}}$	0,088	0,098	0,166	0,078	0,064	0,064	0,048
Маховый момент ротора $G D^2$, кгс·м ²	4,3	4,3	4,4	10,5	13,6	24,9	29,3
Момент инерции ротора J , кгс × м × м ²	0,11	0,11	0,112	0,268	0,346	0,635	0,74
Электро механическая постоянная $T_{\text{м}}$, с	0,0065	0,0043	0,0051	0,007	0,0124	0,0161	0,0106
Электро магнитная постоянная $T_{\text{э}}$, с	0,0362	0,0325	0,0274	0,045	0,0498	0,05	0,0665
Собственная частота f_0 , Гц	11,5	13,4	13,8	8,93	6,41	5,77	6,0
Коэффициент динамичности λ	2,6	2,75	2,38	2,58	2,08	1,82	2,5
Резонансная зона колебаний, Гц	10,4—12,6	12,0—14,8	12,4—15,3	8,05—9,8	5,75—7,05	5,2—6,35	5,4—6,6
Предельная частота усиления $f_{\text{пр}}$, Гц	15,5	18,4	18,6	12,1	8,45	7,5	8,1

имеют особое значение при работе электропривода, испытывающего периодические возмущения различной частоты со стороны трансмиссии. Внутренние возмущения в элементах трансмиссии также носят периодический характер из-за наличия кинематических погрешностей зубчатых зацеплений. Так как на стадии проектирования горной машины жесткости валопроводов, величины и распределения маховых масс и т. д. неизвестны, то расчет динамических характеристик электромеханической системы привода в целом довольно труден.

Ориентировочные значения амплитудно-частотных характеристик привода можно определить, пользуясь данными работ [128, 129], по формуле

$$\lambda(\omega) = \frac{1}{\sqrt{\left[1 - \left(\frac{\omega}{\omega_0}\right)^2\right]^2 + \left(\frac{\omega}{\omega_0}\right)^2 \frac{T_m}{T_s}}}, \quad (3.2.2)$$

где ω — круговая частота изменения нагрузки, $1/c$; $\omega_0 = \sqrt{2l_n M_k / J} = = 1/\sqrt{T_s T_m}$ — круговая частота собственных колебаний электродвигателя, $1/c$; $T_m = \omega_c S_k J / 2l_n M_k$ — электромеханическая постоянная времени привода, c ; $T_s = 1/\omega_c S_k$ — электромагнитная постоянная времени, c ; $J = GD^2/4g$ — момент инерции ротора электродвигателя и приведенных к нему вращающихся частей трансмиссии, $\text{кгс} \cdot \text{м} \cdot \text{с}^2$; l_n — число пар полюсов; M_k — максимальный (опрокидной) момент электродвигателя, $\text{кгс} \cdot \text{м}$; ω_c — круговая частота сети, $1/c$; S_k — критическое скольжение электродвигателя; GD^2 — маховый момент ротора, $\text{кгс} \cdot \text{м}^2$.

Необходимые для определения АЧХ привода каталожные и расчетные значения параметров электродвигателей, применяемых в настоящее время на исполнительных органах комбайнов, приведены в табл. 3.2.3. Построенные по этим данным графики АЧХ привода исполнительных органов комбайнов для добычи угля и калийных руд показаны на рис. 3.2.2. Резонансные зоны рассмотренных двигателей находятся в диапазоне частот 5—14 Гц, а коэффициент динамичности λ_d находится в пределах 1,8—3,0.

Коэффициент динамичности максимален при $\omega/\omega_0 = 1$. В этом случае формулу для λ_{max} можно получить из выражения (3.2.2)

$$\lambda_{\text{max}} = \frac{1}{\omega_c S_k} \sqrt{\frac{2l_n M_k}{J}} = T_s \omega_0. \quad (3.2.3)$$

Выражение (3.2.3) позволяет выбрать сочетания параметров электродвигателя M_k , J и S_k , обеспечивающие минимальное значение коэффициента динамичности. На формирование нагрузок привода кроме коэффициента динамичности оказывают влияние также величина частот внутренних кинематических возмущений и их отношение к собственным частотам электромеханической системы. Экспериментальные исследования, проведенные на комбайнах с различной схемой привода, показали, что в спектре

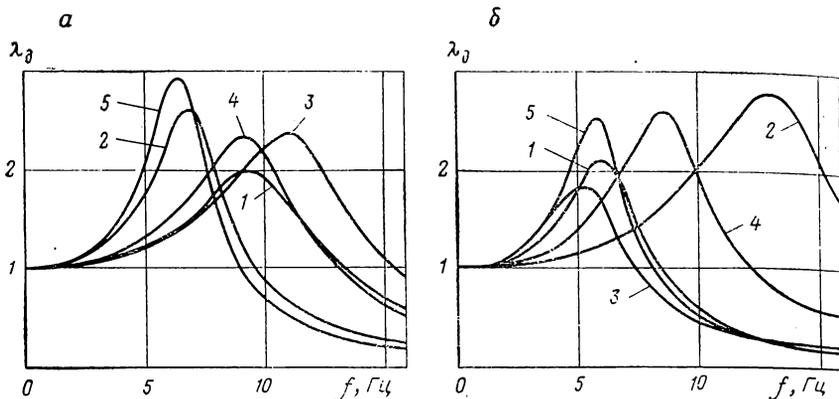


Рис. 3.2.2. Амплитудно-частотные характеристики электропривода комбайнов:

а — угольных: 1 — ВАО72-4, $N = 30$ кВт; 2 — КОФ32-4, $N = 32$ кВт; 3 — ЭДКОФ41-4, $N = 37$ кВт; 4 — ВАО81-4, $N = 40$ кВт; 5 — КОФ41-4, $N = 40$ кВт; **б** — калийных: 1 — МА36-41-4, $N = 100$ кВт; 2 — ЭДКО4-4м, $N = 115$ кВт; 3 — МА36-51-4, $N = 125$ кВт; 4 — ЭДКО5-Р, $N = 145$ кВт; 5 — МА36-52-4, $N = 160$ кВт

нагрузки двухдвигательного привода проявляются кинематические возмущения частотой от 2—4 Гц до предельной частоты усиления, а в спектре однодвигательного привода — кинематические возмущения, совпадающие с резонансной зоной колебаний электропривода [16]. Из формулы (3.2.2) при $\lambda(\omega) = 1$ может быть получена предельная частота усиления

$$\omega_{\Pi} = \omega_0 \sqrt{2 - T_m/T_s} \approx 1,36\omega_0. \quad (3.2.4)$$

Величина предельных частот для электродвигателей очистных и проходческих комбайнов, а также их резонансные зоны ($0,9 \div \div 1,1f_0$) приведены в табл. 3.2.3. Таким образом, частоты кинематических возмущений должны удовлетворять следующим условиям при схеме привода:

однодвигательной

$$0,9\omega_0 < \omega_k < 1,1\omega_0; \quad (3.2.5)$$

двухдвигательной

$$0,64\omega_0 < \omega_k < 1,36\omega_0. \quad (3.2.6)$$

Аналитические выражения (3.2.2)—(3.2.4) определены для электропривода, представленного в виде одномассовой системы, без учета сил демпфирования и жесткости связей. Влияние этих факторов на АЧХ привода может быть установлено решением или математическим моделированием дифференциальных уравнений, описывающих работу привода в установившемся и переходном режимах по известным методам [80, 128, 130, 131].

Из данных таблицы следует также, что при одинаковой номинальной мощности частотные характеристики комбайновых двигателей серий ЭДКО (ЭКВ) и МАЗ6 существенно различны.

На очистных угольных комбайнах для привода исполнительного органа используются в основном электродвигатели типа ЭДКО и ЭКВ, а на проходческо-добычных комбайнах для калийной промышленности — электродвигатели типа МАЗ6. Первая группа двигателей по сравнению со второй имеет значительно меньшую величину махового момента ротора и более широкий диапазон частот усиления, так как из-за стесненности выемочного пространства габариты двигателей ограничивались по высоте. Кроме того, при наличии в угольных пластах включений колчеданов и твердых прослоек песчаника возможны случаи экстренного торможения исполнительного органа. Поэтому применение комбайновых двигателей с большой маховой массой увеличивало в этих условиях вероятность поломок деталей трансмиссии.

Пласты калийной руды не имеют твердых включений и прослоек, но обладают более высокой средней сопротивляемостью и меньшей вариацией физико-механических свойств по сравнению с угольными пластами. Поэтому режим работы двигателей, работающих по калийной руде, и продолжительность их включений (ПВ) также существенно отличаются от принятых на угольных комбайнах и, следовательно, должны быть скорректированы. Как показал опыт применения комбайновых двигателей типа ЭДКО, их надежность и долговечность значительно снижаются при эксплуатации комбайнов по пластам калийной руды. Это значит, что для оценки особенностей режима нагружения электропривода в конкретных горнотехнических условиях эксплуатации необходимо определить устойчивую мощность электродвигателей с учетом статистических характеристик законов распределения нагрузки.

3.3. Инженерный метод расчета устойчивости мощности электродвигателей

Одновременное влияние изменчивости свойств массива (внешнего сопротивления), разрушаемого исполнительным органом комбайна, и неравномерности скорости подачи (управляющего воздействия) на нагрузку приводных двигателей обуславливает некоторый разброс, существенно ограничивающий допустимый электромагнитный момент двигателя [122, 134], а следовательно, его устойчивую мощность. Кроме того, на устойчивую электромагнитную мощность электродвигателей могут быть наложены ограничения, обусловленные его тепловым режимом. Поэтому при случайной внешней нагрузке необходимо установить величину тепловой мощности и с ее учетом произвести проверку рассчитанной устойчивой электромагнитной мощности двигателей.

3.3.1. Устойчивая электромагнитная мощность электродвигателей

Условия работы электропривода рациональны, если электромагнитный момент с принятой вероятностью отклонения не превышает максимального значения. С учетом этого и формулы (3.1.9) величина среднего электромагнитного момента

$$M_{уст} = M_{\max \phi} - K_m \sqrt{\overline{K_m(\tau)}} / \tau = 0, \text{ кгс} \cdot \text{м}, \quad (3.3.1)$$

где $K_m(\tau)$ — корреляционная функция момента двигателя при $\tau = 0$, которая будет обеспечивать устойчивую работу асинхронного двигателя в производственных условиях.

Согласно выражению (3.3.1), устойчивому моменту соответствует устойчивая мощность — предельная средняя мощность для данного двигателя в конкретной сети, при которой не происходит опрокидывания,

$$N_{уст} = \frac{M_{уст} n_{дв}}{975}, \text{ кВт}. \quad (3.3.2)$$

Наиболее четкие, неискаженные представления о действующих нагрузках можно получить при непосредственных измерениях сил и моментов в элементах исполнительного органа и привода комбайна. Однако тензомерические исследования нагрузок в рабочем режиме в шахтных условиях сопряжены с большими трудностями, связанными с взрывоопасностью рудничной атмосферы, ограниченностью рабочего пространства, подвижностью объектов наблюдения, несовершенством измерительных датчиков, невозможностью длительных наблюдений нагрузок из-за низкой виброустойчивости и нестабильности работы тензомерической аппаратуры и т. д. В большинстве случаев [80, 128] нагрузки в элементах привода могут быть достаточно точно определены не прямым тензометрированием, а косвенно, на основании значения динамической характеристики нагрузки только в одном, наиболее удобном для наблюдения элементе привода.

Исследованиями, выполненными ИГД им. А. А. Скочинского совместно с Гипроуглемашем [133], установлено, что полный спектр нагрузок может быть разбит на три частотных диапазона: инфранизкочастотный ($5 \cdot 10^{-3}$ — 10^{-5} Гц); низкочастотный (10^{-1} — $5 \cdot 10^{-2}$ Гц) и высокочастотный (10^{-1} — 10 Гц). В работах [77, 78, 119, 121—123] показано, что для получения достоверных оценок статистических характеристик можно ограничиться измерением только низко- и высокочастотной составляющих нагрузок, что обеспечивает 90% всей изменчивости свойств разрушаемого массива и описание динамических процессов в приводе с достаточной для инженерных расчетов точностью. Поэтому для горных комбайнов с асинхронным приводом можно исследовать нагрузки отдельных элементов по средней и мгновенной мощностям двигателей, описыв-

вающим соответственно низко- и высокочастотную составляющие нагрузки. Учитывая, что трансмиссия и асинхронный короткозамкнутый электродвигатель могут быть, с некоторым приближением, приведены к стационарной линейной системе, то дальнейшее определение нагрузок в любом элементе затруднений не представит.

При установлении характера зависимости мощности от производительности комбайнов и сравнительном анализе различных комбайнов и типов привода принимаются во внимание скорость подачи комбайна и сопротивляемость пласта.

Электрические параметры исследовали в две стадии, регистрируя процессы приборами с различными частотными характеристиками. Среднюю потребляемую мощность измеряли однофазными ваттметрами И-350 с применением трансформаторов тока УТТ-5, которые подключались ко всем электродвигателям исполнительного органа для обеспечения синхронной записи мощности. С помощью полученных диаграмм определяли: математическое ожидание, дисперсию и корреляционные функции по низкочастотной составляющей спектра нагрузок в пределах 0—0,2 Гц. Мгновенная мощность двигателей также измерялась одновременно на всех двигателях исполнительного органа при различных режимах работы с помощью осциллографов и датчиков Холла, что позволило получить статистические характеристики высокочастотных составляющих спектра нагрузок в пределах 0,2—25 Гц. Более высокие частоты, связанные с процессом резания забоя, в привод не передаются [128, 132].

Изменение низкочастотной составляющей мощности можно рассматривать в качестве математического ожидания $\bar{N}(t)$ для высокочастотной составляющей, так как на функцию средней мощности $\bar{N}(t)$ накладываются случайные и периодические колебания мгновенной мощности. Поэтому в предельном случае при $\bar{N}(t) = N_{\max}(t)$ расчет устойчивой мощности должен производиться с учетом одновременного влияния дисперсий средней и мгновенной мощностей

$$N_{\text{уст}} = N_{\max \phi} - \sqrt{(K_{N_1} \sigma_1 + K_{N_2} \sigma_2)^2} \quad (3.3.3)$$

или, в соответствии с [77, 121] и ОСТ 24.070.16,

$$N_{\text{уст}} = N_{\text{пр}} - K_{N_1} \sigma_1, \text{ кВт.} \quad (3.3.4)$$

При этом

$$N_{\text{пр}} = N_{\max \phi} - K_{N_2} \sigma_2, \text{ кВт.} \quad (3.3.5)$$

В формулах (3.3.3)—(3.3.5): $N_{\text{пр}}$ — предельно допустимая электромагнитная мощность двигателя в условиях шахтной сети, кВт; K_{N_1} , K_{N_2} — относительные отклонения соответственно средней и мгновенной мощности, принимаемые в зависимости от требуемой надежности; σ_1 и σ_2 — средние квадратические отклонения средней и мгновенной мощности, кВт.

Таблица 3.3.1

Месторождение	Комбайн, элемент исполнительного органа	Место и время проведения эксперимента	Сопротивляемость, кгс/см		Экспериментальные характеристики режима работы комбайна							Характеристики, приведенные к $V_{II}=6$ м/ч и сечению $F=9,5$ м ²		
			A _p	σ _p	\bar{N} , кВт	σ _N , кВт	V _{II} , м/ч	σ _V , м/ч	τ _{N/V}	S _N , кВт	\bar{N} , кВт	σ _N , кВт	S _N , кВт	
														454
Верхнекамское	ПК-8 № 30, левый + правый	2БКРУ, пл. АБ, V 1970 г.	454	118	129	26,7	4,6	1,96	0,9	11,6	179	35,6	16,1	
	ПК-8 № 43, левый + правый	2БКРУ, пл. АБ, X 1969 г.	454	118	147	35,4	4,2	1,63	0,96	10,0	224	53,6	15,2	
	ПК-10 левый + правый	4БКРУ, пл. Кр. II VIII 1972 г.	454	118	122	18,7	4,03	4,2	0,77	12,0	240	36,9	23,6	
	«Урал 20КС» № 1, правый	2БКРУ, пл. Кр. II IX 1974 г.	450	81	90	24,1	3,63	4,3	0,83	13,2	149	36	18,9	
Старобинское	«Урал 20КС» № 1, левый	4БКРУ, пл. Кр. II VIII 1972 г.	450	81	105	24,3	3,63	4,3	0,84	13,2	154	36,1	19,8	
	«Урал 20КС» № 2, правый		450	81	121,7	18,2	5,45	1,61	0,91	7,6	155	23	—	
	«Урал 20КС» № 2, левый		450	81	106,0	16,6	5,48	1,6	0,89	7,6	135	21	—	
	ПК-10 № 3, левый + правый		4ГРУ, пл. II гор., IX 1972 г.	330	55	121	11,7	7,42	1,49	0,43	10,4	175	16,9	15,1
Старобинское	ПК-8 № 92, левый + правый	4ГРУ, пл. III гор., IX 1972 г.	360	34	110	12,6	6,03	1,5	0,75	8,4	140	17,1	12,1	
	«Урал 10КС» № 2, левый	4ГРУ, пл. II гор., VI 1973 г.	330	55	74	6,5	7,84	1,01	0,54	5,5	68	6,2	5,3	
	«Урал 10КС» № 2, левый + правый	4ГРУ, пл. II гор., VI 1973 г.	330	55	145	9,3	—	—	—	8,0	136	8,7	8,2	
	«Урал 10КС» № 7, правый	4ГРУ, пл. II к. г., IV 1975 г.	330	55	98,5	8,9	11,64	2,4	0,23	8,5	—	—	—	

Величины средних квадратических отклонений устанавливаются по результатам экспериментального исследования. В табл. 3.3.1 приведены основные результаты измерений.

На величину дисперсии средней мощности электродвигателя оказывают влияние в основном изменение сопротивляемости и скорости подачи комбайна. Перед анализом зависимости дисперсии мощности от изменчивости сопротивляемости мощность приводили к постоянной скорости подачи. В этом случае можно определить среднее квадратическое отклонение мощности S_{NA} двигателя, обусловленное влиянием лишь одного фактора — изменчивости сопротивляемости забоя резанию:

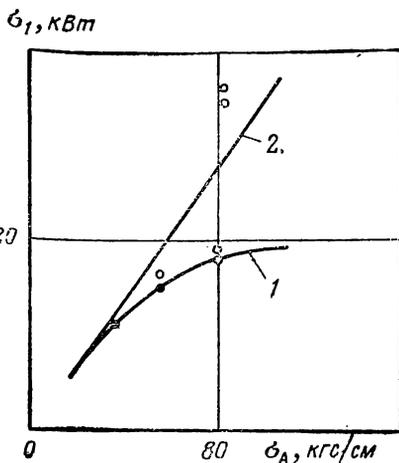


Рис. 3.3.1. Зависимость S_{NA} (1) и σ_1 (2) от σ_A

$$S_{NA} = \left| \sigma_1 \sqrt{1 - r_{N/V}^2} \right|_{V_n = \bar{V}_n}, \quad (3.3.6)$$

где σ_1 — среднее квадратическое отклонение мощности, обусловленное изменчивостью сопротивляемости и неравномерностью скорости подачи; $r_{N/V}$ — коэффициент корреляции мощности и скорости подачи.

Вычисленные значения S_{NA} при $V_n = \bar{V}_n$ для различных типов комбайнов с целью облегчения сравнительного анализа приведены к скорости подачи 6 м/ч и одному сечению забоя (табл. 3.3.1).

По данным таблицы получена нелинейная зависимость (рис. 3.3.1), показывающая, что с увеличением изменчивости сопротивляемости σ_A увеличивается и разброс средней мощности двигателей S_{NA} .

На величину среднего квадратического отклонения мощности двигателей значительное влияние оказывают также частоты изменения сопротивляемости и скорости подачи.

Для определения частотного спектра средней мощности и влияния на него изменения сопротивляемости и скорости подачи по экспериментальным данным были рассчитаны нормированные корреляционные функции, которые удовлетворительно аппроксимируются аналитическими выражениями вида

$$K(\tau) = \sum_1^n c_i e^{-\alpha_i |\tau|} \cos \beta_i \tau, \quad (3.3.7)$$

Объединение	Комбайн, пласт	Элементы исполнительного органа	\bar{N} , кВт	σ_{N_i} , кВт
«Уралкалий»	ПК-8 № 30, АБ ПК-8 № 43, АБ ПК-10, АБ «Урал 20КС», Кр. II	$D_1 + D_2^*$	129	26,7
		$D_1 + D_2^*$	147	35,4
		ц. б.	164	27
		Левый н. о.	105	24,3
«Белорускалий»	ПК-10 № 3, пл. II к. г. ПК-8 № 92, пл. III к. г.	ц. б.	120	12,9
		$D_1 + D_2^*$	110	10,3

* $D_1 + D_2$ — левый и правый двигатели исполнительного органа.

где c_i — удельная дисперсия составляющих; α_i , β_i — коэффициенты корреляционных функций, характеризующие затухание и преобладающие частоты их составляющих.

Коэффициенты корреляционных функций α_i , β_i , c_i средней мощности двигателей для различных типов комбайнов при $V_n = \text{var}$ и $V_n = \text{const} = 6$ м/ч приведены в табл. 3.3.2. При $V_n = \text{const}$ разброс мощности зависит только от изменчивости сопротивляемости. Среднее квадратическое отклонение приведенной мощности, определенное из корреляционной функции при $\tau = 0$, будет равно S_{NA} , полученному по формуле (3.3.6). Как видно из таблицы, во всех случаях корреляционные функции мощности при $V_n = \text{var}$ двигателя содержат экспоненциально-косинусные составляющие с преобладающей частотой $\beta = (1,05 \div \div 4,2) 10^{-3}$ рад/с, обусловленные изменчивостью сопротивляемости и процессом регулирования скорости подачи.

Среднее квадратическое отклонение S_{NA} средней мощности характеризует максимальный ее разброс, определяемый изменчивостью сопротивляемости при полном отсутствии регулирования скорости подачи комбайна. Улучшая регулирование (например, автоматизируя), величину S_{NA} можно значительно уменьшить, обеспечив, однако, условие обратной зависимости скорости подачи и от сопротивляемости.

Основные результаты измерений и краткая характеристика условий эксплуатации комбайнов для добычи угля в различных горно-геологических условиях приведены в табл. 3.3.3. При решении методических вопросов о влиянии изменчивости сопротивляемости и скорости подачи на режим работы привода тип

По экспериментальным данным						Приведенные к $V_n = \text{const}$					
I			II			I			II		
c_1	$\frac{\alpha_1}{10^{-3}}$	$\frac{\beta_1}{10^{-3}}$	c_2	$\frac{\alpha_2}{10^{-3}}$	$\frac{\beta_2}{10^{-3}}$	S_N	c_1	$\frac{\alpha_1}{10^{-2}}$	c_2	$\frac{\alpha_2}{10^{-3}}$	$\frac{\beta_2}{10^{-3}}$
0,75	0,5	1,3	0,25	1,0	—	21,8	0,73	2,8	0,27	2	1,0
0,6	1,0	1,16	0,4	1,0	7,5	23,5	0,71	2,45	0,29	2,4	4
1,0	2,5	1,87	—	—	—	—	—	—	—	—	—
0,3	1,4	4,2	0,7	2,5	—	18,7	0,94	15	0,06	1,6	7,5
0,27	1,4	1,05	0,73	60	—	12,3	0,85	9	0,15	2	20
0,9	1,2	1,4	0,1	1,6	3,6	10,6	0,82	4,9	0,18	3,1	2,6

комбайна существенного значения не имеет, поэтому в таблице приведены также результаты измерений по комбайнам, в настоящее время уже снятых с производства.

Как было отмечено выше, вероятностные связи между показателями изменчивости мощности двигателя, скорости подачи и сопротивляемости должны устанавливаться с учетом взаимокоррелированности V_n и A . Анализ режимов работы угледобывающих комбайнов показал, что максимальный коэффициент взаимной корреляции между этими параметрами в большинстве случаев, как и на калийных пластах, имел отрицательное значение, поскольку с увеличением сопротивляемости скорость подачи комбайна уменьшалась. При этом среднее квадратическое отклонение мощности двигателя можно определить по эмпирической зависимости

$$\bar{\sigma}_1 = \xi_p \sigma_A \sigma_V \sqrt{1 - r_{AV}^2}, \quad (3.3.8)$$

где ξ_p — коэффициент, учитывающий систему единиц измерения; r_{AV} — коэффициент взаимной корреляции сопротивляемости и скорости подачи.

Таким образом, изменчивость средней мощности электродвигателей комбайнов для добычи угля и калийных руд зависит от изменчивости возмущающих факторов и коэффициента их взаимной корреляции. При идеальном регулировании ($r_{AV} = -1$) дисперсия средней мощности равна нулю. Возмущения, вызываемые изменчивостью средней сопротивляемости при регулировании по условию $V_p = \text{const}$, $N = \text{const}$ и $V_n = \text{var}$, должны компенсироваться противоположными изменениями скорости подачи. Но так как регулирование скорости подачи с коэффициентом

Таблица 3.3.3

Комбайн	Электродвигатель	Шахта	Плат	Сопротивляемость		Максимальный момент двигателя, кгс·м	Мощность двигателя, кВт				Скорость подачи, м/мин	
				А	сА		по каталогу	потребляемая		Vп	сV	
								Л	сL			
1К-52М	ЭДКО4-2с	№ 70	К ₄	130	32	108	97	75	68,2	14,9	1,57	0,43
1К-52Ш	ЭДКО4-2л	№ 122	К ₁₂	90	30	108	97	75	70,2	10,0	1,71	0,34
1К-52МК	ЭДК4-4	№ 47/49	К ₂	150	34	152	112	45	71,4	15,0	0,84	0,32
1К-52Ш	ЭДКО4-4л	№ 23	К ₁₀	156	34	153	112	80	70,7	14,2	1,69	0,28
К-2	ЭДК5-5	№ 122	К ₁₀	118	64	203	145	61	121,0	19,5	0,82	0,19
К-58М	ЭДКО5-Р	№ 122	К ₁₀	105	69	220	145	105	99,4	18,3	1,05	0,33
КШ-2	ЭДКО4-2м	№ 19	К ₁	112	65	130	105	80	70,8	16,7	1,04	0,28
АГ-1К	ЭДКО5-Р	«Полысаевская»	«Байкальский»	114	—	220	145	105	97,3	20,0	1,44	0,39
1КУ-60	ЭДКО4-2м	То же	То же	52	—	130	105	80	80,8	11,8	1,27	0,25
АТК-1К	ЭДКО5-Р	№ 14	Д ₆	90	35	220	145	105	122,1	20,3	1,56	0,54

Таблица 3.3.4

Разрабатываемые пласты	Комбайн, рудник	Привод	Результат	L _р , м ²	D _р (кв. м)	I		II		III		
						c ₁	Р ₁	c ₂	α ₂	β ₂	c ₃	α ₃
Калийные	ПК-8, 2БКРУ	Исполнительный орган	1	88	450	0,46	31,4	0,24	0,2	3,65	0,30	2,0
			2	103	646	0,42	31,4	0,28	—	3,50	0,30	2,0
	ПК-8 1СГРУ	Буровой	1	64	125	0,7	40,0	0,3	0,8	4,8	—	—
			2	96	182	0,5	40,0	0,5	0,4	4,8	—	—
			1	118	495	—	—	0,45	2,0	4,0	0,55	1,2
	Угольные	1КУ-60	Исполнительный орган	1	30,0	29	0,25	55	0,3	1,0	5,2	0,45
2				30,8	36	0,2	55	0,36	1,0	5,0	0,45	14,0
1К-52М		Исполнительный орган	1	68,5	321	—	—	0,6	0,4	6,1	0,4	6,0
			2	80,8	231	—	—	0,6	0,3	4,6	0,4	5,0
К-2	Исполнительный орган	1	60,0	256	—	—	0,5	0,5	9,6	0,5	4,5	
		2	77,6	246	—	—	0,5	0,45	9,2	0,5	6,0	
1К-58М	Исполнительный орган	1	126	570	—	—	0,7	0,6	6,28	0,3	6,0	
		2	146	636	—	—	0,5	0,4	6,28	0,5	4,0	
			1	101,6	1024	—	—	0,4	0,6	2,6	0,6	4,0
			2	127	660	—	—	0,5	0,3	2,5	0,5	4,0

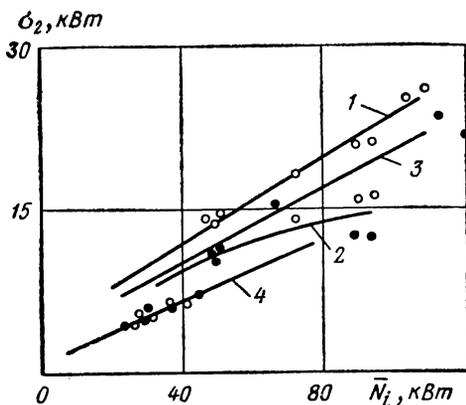


Рис. 3.3.2. Зависимость σ_2 от мгновенной мощности N_i :

1 — двигатель и. о., 2 — в том числе регулярная составляющая (комбайн ПК-8); 3 — двигатель и. о.; 4 — двигатель, бермового органа (комбайн «Урал 20КС»)

взаимной корреляции $r_{Ax} = -1$ практически невозможно, то даже при автоматическом регулировании на реальных машинах устойчивая мощность будет меньше предельной. Если предельную мощность принять за вероятный максимум средних величин, то устойчивая мощность, в соответствии с нормальным законом распределения, должна определяться по выражению (3.3.4). Для определения величины предельной мощности $N_{пр}$, входящей в эту формулу, необходимо исследовать характер изменения вы-

сокочастотной составляющей нагрузки по результатам измерений мгновенной мощности электродвигателей комбайна.

Разброс мгновенной мощности двигателя в общем случае определяется неравномерностью скорости подачи, изменчивостью сопротивляемости, параметрами исполнительного органа и привода, схемой их расположения и соединения. Для оценки частоты изменения нагрузки, которая также оказывает непосредственное влияние на динамический и тепловой режимы работы привода, рассчитывались корреляционные функции мгновенной мощности двигателей и соответствующие им спектральные плотности. Построенные по экспериментальным данным графики корреляционных функций аппроксимировались аналитическими выражениями вида

$$K(\tau) = c_1 \cos \beta_1 \tau + c_2 e^{-\alpha_1 |\tau|} \cos \beta_1 \tau + c_3 e^{-\alpha_2 |\tau|}. \quad (3.3.9)$$

Удельные дисперсии и коэффициенты наиболее характерных режимов работы различных типов комбайнов для добычи калийных руд и угля приведены в табл. 3.3.4. Аналитическое выражение корреляционных функций характеризует влияние на изменчивость мгновенной мощности двигателей следующих факторов:

- а) колебательного процесса, обусловленного кинематическими возмущениями, частота которых близка к собственной частоте привода (I составляющая);
- б) периодических возмущений от вращения исполнительных органов (II составляющая);
- в) случайных изменений сопротивляемости и скорости подачи. (III составляющая).

На рис. 3.3.2 показана зависимость σ_2 от мгновенной мощности электродвигателей комбайнов для добычи калийных руд. С учетом необходимого уровня мгновенной мощности по графику находится значение σ_2 для различных типов привода, которое затем подставляется в формулы (3.3.5) и (3.3.4) для расчета устойчивой мощности.

Среднее квадратическое отклонение мгновенной мощности угледобывающих комбайнов почти не зависит от уровня нагрузки привода [77, 121] и в первом приближении при расчете устойчивой мощности двигателя может быть определено следующим образом:

$$\sigma_2 = \begin{cases} 0,14N_{\max\phi} & \text{при } GD^2 = 5 \div 6 \text{ кгс} \cdot \text{м}^2; \\ 0,1N_{\max\phi} & \text{при } GD^2 = 10 \div 15 \text{ кгс} \cdot \text{м}^2. \end{cases} \quad (3.3.10)$$

Для расчета предельной мощности можно пользоваться эмпирическими зависимостями

$$N_{\text{пр}} = \begin{cases} 0,57N_{\max\phi} & \text{при } GD^2 = 5 \div 6 \text{ кгс} \cdot \text{м}^2; \\ 0,69N_{\max\phi} & \text{при } GD^2 = 10 \div 15 \text{ кгс} \cdot \text{м}^2. \end{cases} \quad (3.3.11)$$

За показатель технологической надежности принята вероятность работы электродвигателя без опрокидов. Для характеристики степени загрузки двигателя может быть принято относительное отклонение K_N , определяемое по требуемой вероятности p из функции Лапласа для нормального распределения:

$$p = \Phi(K_N). \quad (3.3.12)$$

Учитывая, что частота изменения мгновенной мощности двигателей на 2—3 порядка больше частоты изменения средней мощности, на основании формул (3.1.10) и (3.1.11) при вероятности работы двигателя без опрокида, близкой к единице, относительное отклонение K_{N_2} должно удовлетворять условию $K_{N_2} \geq 3,0 \div 3,5$. Относительное отклонение K_{N_1} для низкочастотной составляющей нагрузки (средней мощности) двигателя при ручном управлении комбайном по данным работ [7, 77, 119, 121—124] может при $p = 0,9 \div 0,95$ быть принято равным 1,65—1,96, а при автоматическом управлении ($p = 0,98 \div 0,99$) 2,35—2,6.

Расчет устойчивой мощности по экспериментальным данным был выполнен для двигателей исполнительного органа при двух различных значениях изменчивости сопротивляемости калийных пласток: $\sigma_A = 40 \div 60$ и $\sigma_A = 100 \div 120$ кгс/см (табл. 3.3.5).

Так как средние квадратические отклонения мощности являются функцией ее математического ожидания, рассчитывать

Таблица 3.3.5

Способ разрушения забоя	$N_{\text{ном}}$, кВт	Мгновенная мощность, кВт			Показатели надежности		Средняя мощность, кВт			
		$N_{\text{max } \phi}$	σ_z	$N_{\text{пр}}$	p	K_N	$\sigma_A = 40 \div 60$ кгс/см		$\sigma_A = 100 \div 120$ кгс/см	
							σ_1	$N_{\text{уст}}$	σ_1	$N_{\text{уст}}$
Щелевой	100	200	25	125	0,95	1,96	15,2	95	21,0	84
	160	322	40	202	0,99	2,6	14,1	88	19,0	76
					0,95	1,96	24,6	154	35,8	143
	С поверхности	100	200	22,0	135	0,99	2,6	22,9	143	30,5
115		232	26,0	155	0,95	1,96	11,3	113	15,6	104
					0,99	2,6	10,7	107	14,6	97
125		252	27,8	168	0,95	1,96	13,0	130	18,0	120
					0,99	2,6	12,3	123	16,5	110
					0,95	1,96	14,0	140	19,5	130
	0,99				2,6	13,3	132	18,8	121	
145	260	28,8	173	0,95	1,96	14,5	145	20,7	133	
				0,99	2,6	13,7	137	19,4	124	
160	322	39,5	215	0,95	1,96	18,0	180	24,8	165	
				0,99	2,6	17,0	170	23,8	154	

устойчивую мощность удобнее с использованием коэффициентов вариации:

$$N_{\text{пр}} = \frac{N_{\text{max } \phi}}{1 + K_{N_z} v_{N_z}}; \quad (3.3.13)$$

$$N_{\text{уст}} = \frac{N_{\text{пр}}}{1 + K_{N_1} v_{N_1}}, \quad (3.3.14)$$

где v_{N_1} и v_{N_z} — коэффициенты вариации соответственно средней и мгновенной мощности двигателей.

Величины коэффициентов вариации, установленные экспериментально, приведены в табл. 3.3.6.

Из табл. 3.3.5 видно, что устойчивая мощность двигателя при $\sigma_A = 40 \div 60$ кгс/см на 10—15% выше соответствующего показателя

Таблица 3.3.6

Способ разрушения забоя	v_{N_1} при σ_A		v_{N_z}
	40—60 кгс/см	100—120 кгс/см	
Щелевой	0,16	0,25	0,20
С поверхности	0,10	0,15	0,165

теля при $\sigma_A = 100 \div 120$ кгс/см. В зависимости от показателя технологической надежности $N_{уст}$ изменялась на 25—30%. При расчете возможной производительности $N_{уст}$ следует принимать с высокой степенью надежности работы комбайна ($p = 0,99 \div 0,997$), тогда устойчивая мощность двигателя при незначительной изменчивости сопротивляемости будет ниже его номинальной мощности.

3.3.2. Проверка устойчивой мощности электродвигателей по допустимому тепловому режиму

Допустимая по нагреву мощность комбайновых электродвигателей обычно рассчитывается [137] по часовой и длительной мощностям, устанавливаемым на стенде при неизменной нагрузке в течение одного цикла.

Если реальная нагрузка и продолжительность включений отличаются от принятых стандартных, то для оценки нагрузки двигателя по теплу определяют эквивалентную (среднюю квадратическую) мощность [138]

$$N_s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n N_i^2 t_p}{\sum_{i=1}^n (t_p + t_k)}}, \text{ кВт}, \quad (3.3.15)$$

где N_i — текущее значение мощности, кВт; t_p и t_k — время работы и паузы, мин; n — число циклов.

Обычно предполагают, что значения N_i , t_p и t_k постоянны, и поэтому выражение (3.3.15) символически можно записать в виде

$$N_s^2 = [MN_i r_b]^2 = m_N^2, \quad (3.3.16)$$

где r_b — коэффициент, характеризующий относительную продолжительность включений; M — оператор математического ожидания; m_N — математическое ожидание мощности, кВт.

Однако из-за значительной протяженности сети характеристики двигателей в шахтных условиях ухудшаются, нагрузка носит случайный характер, а интервалы времени работы и пауз распределены в течение смены и суток случайным образом. Поэтому величины N_i , t_p и t_k являются в этом случае переменными и

$$N_s^2(t) = MN_i^2(t). \quad (3.3.17)$$

Из теории вероятности известно, что разность между величинами N_s^2 в формулах (3.3.16) и (3.3.17) равна дисперсии случайной функции [66]

$$N_s^2(t) - m_N^2 = MN_i(t) - [MN_i r_b]^2 = D_N. \quad (3.3.18)$$

Поэтому эквивалентная мощность при случайной нагрузке должна рассчитываться по формуле [120]

$$N_3 = \sqrt{m_N^2 + D_N}, \text{ кВт.} \quad (3.3.19)$$

При математическом ожидании нагрузки $m_N = N_{\text{уст}}$ необходимая эквивалентная по теплу мощность двигателя

$$N_3 = \sqrt{N_{\text{уст}}^2 + D_N}, \text{ кВт.} \quad (3.3.20)$$

Из формул (3.3.4), (3.3.5) и (3.3.20) видно, что чем больше дисперсия D_N и относительные отклонения K_{N_1} и K_{N_2} , определяемые согласно [7] по параметрам корреляционной функции, тем меньше устойчивая мощность электродвигателя и, следовательно, его тепловая нагрузка. Дополнительное количество тепла Q_T , выделяемое двигателем по сравнению со статистической нагрузкой,

$$Q_T = (N_3 - \bar{N})t. \quad (3.3.21)$$

На основании изложенного выше можно сформулировать понятие «устойчивой мощности электродвигателя, допустимой по его тепловому режиму при случайной внешней нагрузке». Ее величину можно определить из выражения (3.3.20), принимая во внимание, что эквивалентная мощность не должна превышать номинальную мощность двигателя из условия его нагрева:

$$N_{\text{уст}}^3 = \varepsilon_{\text{ПВ}} \sqrt{N_{\text{ном}}^2 - D_N}, \quad (3.3.22)$$

где $\varepsilon_{\text{ПВ}}$ — оператор, учитывающий изменение $N_{\text{уст}}^3$ при нестандартной продолжительности включений (ПВ).

Дисперсия D_N , входящая в формулу (3.3.22) при двухстадийном методе измерений, определяется как сумма дисперсий низко- и высокочастотной составляющих нагрузки двигателя (см. табл. 3.3.5):

$$D_N = D_1 + D_2. \quad (3.3.23)$$

В табл. 3.3.7 приведены расчетные значения эквивалентной мощности двигателей различных типов комбайнов для двух уровней изменчивости r : при σ_A равной 40—60 и 100—120 кгс/см. Эквивалентная мощность двигателя во всех случаях больше устойчивой мощности на 5—15%. Эта часть мощности, обусловленная переменным характером нагрузки двигателя при случайных возмущениях, полностью превращается в тепло, которое идет на дополнительный нагрев его обмотки до предельной температуры, а иногда (в зависимости от длительности выброса) и выше.

Таблица 3.3.7

Схема разрушения забоя	Номинальная мощность электродвигателя $N_{\text{ном}}$, кВт	Мощность (кВт) при												
		$\sigma_A = 40 \div 60$ кгс/см					$\sigma_A = 100 \div 120$ кгс/см							
		D_N	$N_{\text{уст}}$	N_9	$N_{\text{уст}}^9$	N_D	N_C	D_N	$N_{\text{уст}}$	N_9	$N_{\text{уст}}^9$	N_D	N_C	
Ще- л- с- в- ая	100	0,95	856	95	99	95,5	4,5	7,6	1065	84	90	94	6,0	6,7
		0,99	824	88	92,2	95,5	4,5	7,05	985	76	82	94,5	5,5	6,1
	160	0,95	2205	154	161	153	7,0	12,2	2880	143	153	151	9,0	11,4
		0,99	2125	145	150	153	7,0	11,4	2530	122	132	152	8,0	9,8
С по- верхности	100	0,95	612	113	116	96,6	3,4	7,7	728	104	107,5	96	4,0	7,7
		0,99	600	107	110	96,6	3,4	7,7	700	97	101	96,2	3,8	7,7
	115	0,95	845	130	133	111	4,0	8,8	1000	120	124	111	4,0	8,8
		0,99	827	123	126	111,5	3,5	8,8	948	110	114,3	111	4,0	8,8
	125	0,95	970	140	144	121	4,0	9,7	1153	130	134	120	5,0	9,6
		0,99	950	133	136,5	121	4,0	9,7	1126	121	125,5	120,4	4,6	9,6
	145	0,95	1040	145	149	141	4,0	11,3	1230	133	137,5	140	5,0	11,2
		0,99	1018	137	141	141	4,0	11,3	1206	124	129	140	5,0	9,9
	160	0,95	1584	180	184	155	5,0	12,4	1875	165	170	154	6,0	12,3
		0,99	1550	170	174	155	5,0	12,4	1800	154	160	154	6,0	12,3

Поэтому при выборе мощности двигателя, кроме тепловой энергии при статической нагрузке, равной

$$Q_c = N\eta t, \text{ кВт} \cdot \text{ч}, \quad (3.3.24)$$

где η — к. п. д., необходимо учитывать дополнительный нагрев двигателя за счет колебаний его мощности $Q_T = (N_9 - \bar{N}) t$.

Отношение Q_T/Q_c , характеризующее интенсивность дополнительного нагрева двигателя при переменной его нагрузке, составило $0,6 \div 2,0$.

Выделение тепловой энергии зависит не только от переменного характера нагрузки двигателя, но и от величины дисперсии мощности. Так, например, при увеличении σ_A от 40 до 100—120 кгс/см, при котором растет дисперсия мощности, потери на нагрев обмотки двигателя также возрастают в среднем с 8—9 до 12—14 кВт.

Связи между изменчивостью свойств забоя σ_A и разбросом мощности σ_1 , а также между σ_1 и нагревом двигателей делают необходимым (наряду с интенсификацией охлаждения) применение регулирования по условию $N = \text{const}$, $V_n = \text{var}$ и $r_{VA} \rightarrow (-1)$, так как при этом существенно снижается часть дисперсии, обусловленная изменчивостью свойств забоя, т. е. S_{NA} в этом случае будет стремиться к нулю.

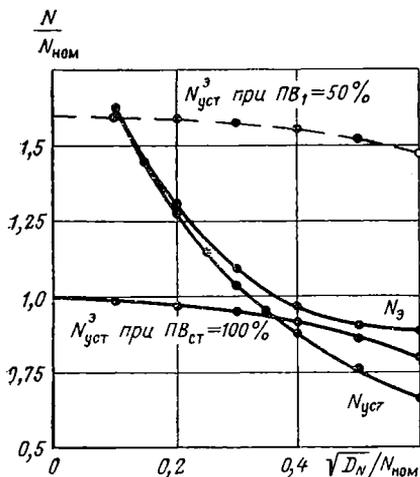


Рис. 3.3.3. Зависимость допустимой нагрузки электродвигателей ($N_{мах}/N_{ном} = 2,5$) комбайнов от соотношения $\sqrt{DN}/N_{ном}$ (при $v_2 = 0,15$; $v_1 = var$; $K_N = 2,6$ и $K_{N_2} = 3,0$)

должительность включений следует принимать около 50%. В этом случае устойчивая мощность двигателя ограничивается в основном его моментными характеристиками. Только при $\sqrt{DN}/N_{ном} < 0,1$ наступает ограничение по тепловому режиму двигателя. Применение автоматического управления позволит полностью снять ограничения по моментным характеристикам и значительно больше использовать установленную мощность привода. Дополнительный эффект от автоматического регулирования может быть получен при устранении «порога нечувствительности», имеющего место при ручном управлении:

σ_A , кгс/см	$N_{уст}$, кВт	$N_{факт}$, кВт	$N_{уст} - N_{факт}$, кВт
40—60	196	143	53
100—120	233	167	66

Устойчивая и фактически потребляемая мощности привода исполнительного органа определены как средние по различным комбайнам для добычи калийных руд. Величина «порога нечувствительности» $N_{уст} - N_{факт}$ составляет 37—39% от величины $N_{факт}$ и определяется в основном инженерно-психологическими факторами.

Таким образом, при установлении допустимой нагрузки электропривода исполнительных органов и расчете возможной произ-

В зависимости от величины среднего квадратического отклонения допустимая нагрузка электродвигателя ограничивается по моментной характеристике ($N_{уст}$) или по тепловому режиму ($N_{уст}^3$). Область действия этих факторов показана на рис. 3.3.3 в виде зависимостей мощности от дисперсии при $PВ_{ст} = 100\%$ и $PВ_1 = 50\%$. При $PВ_{ст} = 100\%$ ограничение по тепловому режиму двигателя имеет место при $\sqrt{DN}/N_{ном} < 0,35$, а при $\sqrt{DN}/N_{ном} > 0,35$ устойчивая мощность двигателя ограничивается его моментными характеристиками. Однако, как показывает опыт эксплуатации комбайнов для угля и калийной руды, коэффициенты их использования редко превышают 0,3—0,4. Поэтому про-

водительности комбайнов необходимо сначала определить устойчивую электромагнитную мощность электродвигателя по формулам (3.3.3)—(3.3.5) или (3.3.13), (3.3.14), а затем — устойчивую мощность, допустимую по тепловому режиму двигателя по формуле (3.3.22). В расчет должна приниматься меньшая из двух полученных величин.

Изложенный метод позволяет определить устойчивую мощность при известных (мгновенных и средних) статистических характеристиках возмущающих факторов и установить действительные режимы работы комбайновых электродвигателей при различных показателях сопротивляемости и технологической надежности.

3.4. Исследование распределения средних нагрузок двухдвигательного привода комбайнов

3.4.1. Кинематически не связанный привод

Кинематически не связанный многодвигательный привод исполнительных органов благодаря относительной простоте конструктивного исполнения в настоящее время получил довольно широкое распространение. При такой схеме привода, несмотря на значительные увеличения установленной мощности, сравнительно просто достигают желаемой механической прочности всех элементов привода — от двигателя до исполнительного органа. Существующее представление, что мощность, расходуемая на полезную работу по разрушению забоя, увеличивается пропорционально числу установленных двигателей [139], не подтверждается измерениями, выполняемыми в производственных условиях. Некоторые практические данные показывают, что достигаемое увеличение полезной мощности намного ниже [125]. Поэтому нельзя сравнивать между собой машины с целью определения их технического уровня, учитывая лишь суммарную мощность привода исполнительных органов.

При исследовании комбайнов с несколькими исполнительными органами установлено, что нагрузка между ними распределяется пропорционально площади забоя, обрабатываемой каждым органом [80, 128], и зависит от его конструкции, а также от изменчивости сопротивляемости забоя. Кроме того, на режим нагрузки привода влияют: совершенство процесса погрузки, наличие дополнительных обнаженных плоскостей забоя, явление отжима от забоя и пр. Так как количественная оценка этих факторов аналитически довольно трудна, то она определяется по результатам экспериментальных исследований.

Возможные граничные нагружения независимого двухдвигательного привода показаны на рис. 3.4.1. Принципиальная схема многодвигательного привода отличается от приведенной только числом приводов, поэтому в целях упрощения дальнейший анализ выполняется для схемы двухдвигательного привода.

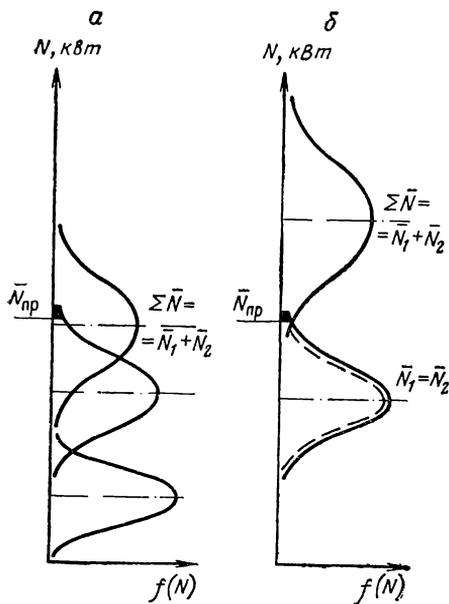


Рис. 3.4.1. Распределения потребляемой мощности в двухдвигательном приводе при нагрузке:

а — различной; б — одинаковой

Два граничных режима нагружения могут быть охарактеризованы следующими условиями:

режим, при котором двигатели нагружены неодинаково,

при $\bar{N}_1 \neq \bar{N}_2$ и $\bar{M}_1 \neq \bar{M}_2$

$$\sum N = \bar{N}_1 + \bar{N}_2 \quad (3.4.1)$$

или $\sum M = \bar{M}_1 + \bar{M}_2$;

$D_{N_1} \neq D_{N_2}$;

режим с примерно равной нагрузкой двигателей

при $\bar{N}_1 \approx \bar{N}_2$ и $\bar{M}_1 \approx \bar{M}_2$

$$\sum N = \bar{N}_1 + \bar{N}_2 \quad (3.4.2)$$

или $\sum M = \bar{M}_1 + \bar{M}_2$,

$D_{N_1} \approx D_{N_2}$;

где \bar{N} , \bar{M} , D_N — соответственно средняя потребляемая мощность, средний электромагнитный момент и дисперсии этих показателей для каждого из двигателей, участвующих в работе.

Так как режимы, характеризуемые уравнениями (3.4.1) и (3.4.2), являются граничными, то, независимо от конкретных условий, фактические режимы нагружения могут принимать в этих границах любые вероятные значения. Случай нагружения по уравнению (3.4.2), лучший с точки зрения использования установленной мощности, для кинематически не связанного привода может иметь место при идентичных показателях свойств массива, разрушаемого исполнительными органами с одинаковыми их размерами. При большой относительной изменчивости свойств забоя, особенно на угольных пластах, следует ожидать значительной разницы в уровне загрузки электродвигателей; установленных на комбайнах.

Математическое ожидание суммарной мощности двухдвигательного, кинематически не связанного привода исполнительного органа на основании изложенных соображений и выражения (3.1.4) определяется по формуле

$$\bar{N}_\Sigma = \varepsilon_1 F_1 \bar{A}_1 \bar{V}_\Pi + \varepsilon_2 F_2 K_{\Pi} \bar{A}_2 \bar{V}_\Pi, \text{ кВт}, \quad (3.4.3)$$

где F_1 и F_2 — площади забоя, обрабатываемые отдельными исполнительными органами, м²; \bar{A}_1 и \bar{A}_2 — сопротивляемость забоя в зоне работ элементов исполнительных органов, кгс/см; K_n — коэффициент, учитывающий изменение нагрузки второго двигателя, вызванное изменением условий работы его исполнительного органа по сравнению с первым.

Для оценки входящих в формулу (3.4.3) величин по сравниваемым элементам исполнительного органа эту формулу при $\varepsilon_1 = \varepsilon_2$ можно представить в виде

$$\bar{N}_\Sigma = \bar{N}_1 \left(1 + \frac{\bar{A}_2}{\bar{A}_1} \frac{F_2}{F_1} K_n \right), \text{ кВт.} \quad (3.4.4)$$

Соотношения, входящие в выражение (3.4.4), целесообразно рассчитывать в определенной последовательности [125]. Сначала найти коэффициент различия сопротивляемости

$$K_A = \frac{\bar{A}_2}{\bar{A}_1} \quad (3.4.5)$$

Затем по конструктивным размерам элементов исполнительного органа и величине захвата определить коэффициент площади забоя

$$K_F = \frac{F_2}{F_1} \quad (3.4.6)$$

Далее, используя данные синхронных измерений потребляемой мощности двигателей \bar{N}_1 и \bar{N}_2 , установить коэффициент различия условий работы

$$K_n = \frac{\bar{N}_2}{\bar{N}_1 K_A K_F} \quad (3.4.7)$$

Общий коэффициент неравномерности распределения нагрузки равен

$$K_{2n\Sigma} = K_A K_n K_F, \quad (3.4.8)$$

а суммарная потребляемая мощность электродвигателей исполнительного органа комбайна с учетом общего коэффициента неравномерности нагрузки

$$\bar{N}_\Sigma = \bar{N}_1 + \bar{N}_1 K_{2n\Sigma} = (1 + K_{2n\Sigma}) \bar{N}_1, \text{ кВт.} \quad (3.4.9)$$

Количественная оценка коэффициентов неравномерности нагрузки производилась по результатам экспериментального исследования режимов работы угольного комбайна КШ-3 и комбайна для добычи калийных руд ПК-10, схемы расположения элементов исполнительных органов которых показаны на рис. 3.4.2. При определении коэффициентов K_A , K_n и K_F попарно сравнивались

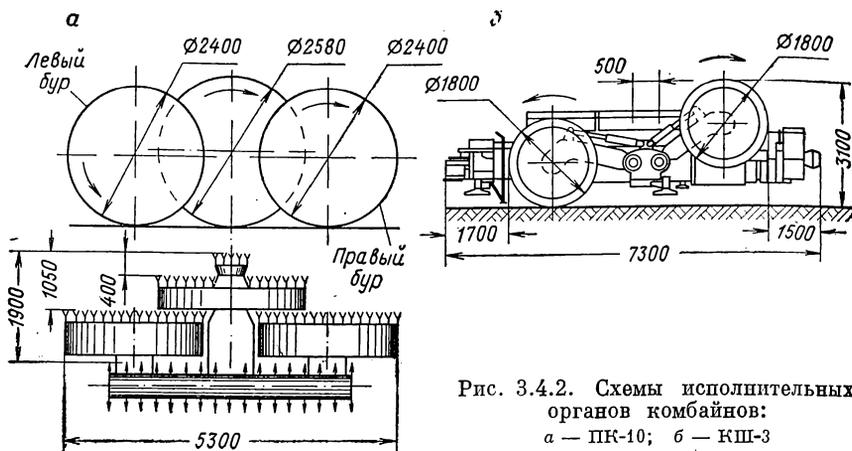


Рис. 3.4.2. Схемы исполнительных органов комбайнов:
 а — ПК-10; б — КШ-3

режимы работы следующих исполнительных органов и их электродвигателей:

для комбайна КШ-3 — опережающий и отстающий шнеки;

для комбайна ПК-10 — центральный и левый буры; левый и правый буры.

На рис. 3.4.3 показаны экспериментальные и теоретические распределения коэффициентов неравномерности нагружения приводов комбайнов. Так как относительная изменчивость сопротивления резанию калийных руд меньше, чем углей, то среднее квадратическое отклонение σ_k коэффициента $K_{2F\Sigma}$ для комбайна ПК-10 было значительно ниже, чем для комбайна КШ-3. Достижение высоких значений коэффициента условий работы возможно при симметричном расположении элементов исполнительного органа. Так, симметричное фронтальное расположение правого и левого исполнительных органов, идентичность условий их работы, а также равенство обрабатываемых площадей забоя обеспечило более равномерное распределение нагрузок между элементами исполнительного органа комбайнов «Урал 20КС» и «Урал 10КС». В результате значительно увеличилось использование установленной мощности двухдвигательного привода и снизилась неравномерность его нагрузки.

Эффективность использования установленной мощности, в отличие от известного метода [129, 137], в данном случае рассчитывалась по формуле, определяющей показатель эффективности многодвигательного привода. В общем виде для многодвигательного привода

$$П_э = \frac{N_{1и}}{m\bar{N}_1} \sum_1^m \frac{\bar{N}_i}{N_{iи}}, \quad (3.4.10)$$

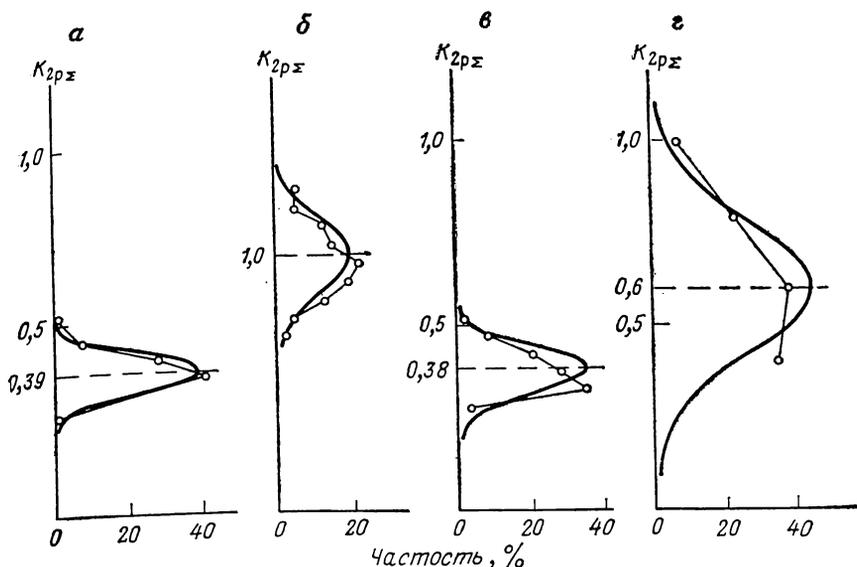


Рис. 3.4.3. Распределение коэффициентов неравномерности нагружения приводов комбайнов:

ПК-10: а — центральный и правый буры ($\sigma_k = 0,048$); б — правый и левый буры ($\sigma_k = 0,099$); в — центральный и левый буры ($\sigma_k = 0,056$); КШ-3: г — опережающий и отстающий швени ($\sigma_k = 0,18$)

где $N_{1н}$ и \bar{N}_1 — номинальная и потребляемая мощности наиболее нагруженного (по отношению к своему номиналу) двигателя, кВт; $N_{iн}$ и \bar{N}_i — номинальные и потребляемые мощности всех двигателей привода, кВт; $i = 1, 2, \dots, t$ — число двигателей привода исполнительного органа.

Установленный по формуле (3.4.10) показатель эффективности многодвигательного привода исключает некоторый субъективизм при определении коэффициентов использования по методу [129, 137]. Это наглядно видно из табл. 3.4.1, в которой для некоторых типов комбайнов приведены результаты расчетов коэффициента использования установленной мощности $\Sigma K_{и}$ по [129, 137] и показателя эффективности многодвигательного привода $\Pi_{э2н\Sigma}$.

Из табл. 3.4.1 следует, что коэффициент использования установленной мощности $\Sigma K_{и}$ не дает истинного представления о возможном уровне общей нагрузки привода. В то же время показатель эффективности многодвигательного привода $\Pi_{э2н\Sigma}$ объективно отражает особенности нагружения привода комбайнов различного исполнения. Например, при переводе комбайна ПК-10 со щелевого на буровой исполнительный орган показатель $\Pi_{э2н\Sigma}$ увеличился от 0,73 до 0,83.

Таблица 3.4.1

Комбайн, тип исполнительного органа	Элемент исполнительного органа	Режим работы электродвигателя, кВт		Показатели режима работы	
		N_n	\bar{N}	$\sum K_n$	$P_{э\text{н}\Sigma}$
КШ, шнековый	Опережающий шнек	112	60,9	0,44	0,78
	Отстающий шнек	112	35,3		
ПК-10, буроскалы-вающий	Центральный бур	160	164	0,80	0,73
	Правый бур	100	60		
	Левый бур	100	62		
ПК-10, буровой	Центральный бур	160	120	0,67	0,87
	Правый бур	100	60		
	Левый бур	100	61		
«Урал 20КС», планетарно-дисковый	Правый и. о.	145	90	0,67	0,93
	Левый и. о.	145	105		
«Урал 10КС», планетарно-дисковый	Правый и. о.	100	71,5	0,73	0,99
	Левый и. о.	100	74,2		

Таким образом, давая сравнительную оценку комбайнам, следует исходить не из номинальных характеристик установленных двигателей, а из мощности, развиваемой ими при данной конструктивной схеме машины.

3.4.2. Кинематически связанный привод

Распределение средней нагрузки между кинематически связанными асинхронными электродвигателями исследовалось в работах [137, 140]. Установлено, что при работе двигателей на линейной части механической характеристики распределение их моментов подчиняется зависимости [140]

$$\frac{M_1}{M_2} = \frac{S_{2н}}{S_{1н}}, \quad (3.4.11)$$

где $S_{1н}$ и $S_{2н}$ — номинальные скольжения двигателей.

Так как в двухдвигательном приводе при одинаковой скорости вращения двигателей их моменты пропорциональны мощностям, то для распределения средней мощности двигателей при их работе на линейной части механической характеристики получим зависимость

$$\frac{\bar{N}_1}{\bar{N}_2} = \frac{S_{2н}}{S_{1н}}. \quad (3.4.12)$$

Формулы (3.4.11) и (3.4.12) показывают, что распределение средней мощности между электродвигателями при их кинематическом соединении во многом зависит от фактических электромеханических характеристик. Поэтому для оценки и прогнозирования возможного распределения нагрузки в двухдвигательном приводе и его эффективности по использованию установленной мощности необходимо установить закон распределения номинальных скольжений двигателей. Учитывая случайный характер разброса скольжений, этот закон может быть установлен лишь на основе статистического исследования. Возможный разброс фактических скольжений комбайновых двигателей типа ЭДКО-4-2М (габарит 400 мм) определяли на стенде, измеряя скорости их вращений при различной нагрузке. По полученным данным рассчитывались математическое ожидание скольжения и его среднее квадратическое отклонение σ_S , которые соответственно составили 2,47 и 0,72%.

Для обобщения полученных результатов исследования на другие типы двигателей были рассчитаны экспериментальный и теоретический законы распределения после перевода скольжений в относительные единицы (рис. 3.4.4). Фактические значения скольжений комбайновых двигателей распределены по закону, близкому к нормальному, и выходят за предел, ограниченный ГОСТом, с вероятностью $p = 0,2$. В предельном случае неравномерность распределения нагрузки между двигателями может достигать трехкратной величины.

Исходя из зависимости (3.4.12) и закона распределения скольжений (рис. 3.4.4) вероятное значение математического ожидания при $\bar{N}_1 > \bar{N}_2$ можно вычислить по формуле

$$\bar{N}_\Sigma = \bar{N}_1 \left(1 + \frac{S_{1н}}{S_{2н}} \right) = \bar{N}_1 (1 + K_{2с}), \text{ кВт.} \quad (3.4.13)$$

Таким образом, мощность привода с кинематически связанными двигателями, как и при отсутствии связи, не увеличивается пропорционально числу двигателей.

Определенная по формулам (3.4.3) и (3.4.13) суммарная средняя мощность, реализуемая на полезную работу, как и коэффициент эффективности, должны использоваться для оценки

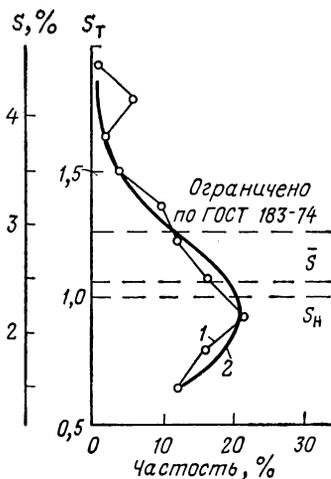


Рис. 3.4.4. Экспериментальный S (1) и теоретический S_T (2) законы распределения фактических значений скольжения двигателей

Таблица 3.4.2

Комбайн, рудник	Тип исполнительного органа	Элементы исполнительного органа	Мощность, кВт		Показатели использо- вания привода			
			N_H	\bar{N}	$K_H = \frac{\bar{N}_1 + \bar{N}_2}{2N_H}$	$K_{z.c} = \frac{\bar{N}_2}{\bar{N}_1}$	K_θ	$\Pi_{э.с.} = \frac{\bar{N}_1 + \bar{N}_2}{2N_1}$
ПК-8, 2БКРУ	Буроска- львающий	Правый	100	68,2	0,74	0,86	0,153	0,93
		Левый	100	79,1				
ПК-8, 1СГРУ	Буровой	Правый	100	65,4	0,64	0,87	0,023	0,98
		Левый	100	63,3				
«Урал 20КС», 1БКРУ	То же	Правый	100	46	0,55	0,72	0,324	0,86
		Левый	100	64				
«Урал 10КС», 1СГРУ	Бермовый	Правый	32	24,4	0,81	0,89	0,118	0,94
		Левый	32	27,4				
	То же	Правый	32	26,4	0,83	0,98	0,018	0,99
		Левый	32	26,9				

фактической энерговооруженности исполнительного органа с двухдвигательным приводом.

Измерения потребляемой мощности двухдвигательных приводов исполнительного органа комбайна ПК-8 и бермовых фрез комбайна «Урал 20КС» показали, что уровень средней мощности одноименных двигателей элементов исполнительных органов различен. Степень неравномерности распределения нагрузки между двигателями $K_{z.c} = \bar{N}_2 / \bar{N}_1$ находилась в пределах 0,72—0,98 (при $\bar{N}_1 \geq \bar{N}_2$).

Неравномерность распределения нагрузки обусловлена не только различием скольжений двигателей, но и жесткостью их статических электромеханических характеристик [140]. Для оценки совместного их влияния предложен коэффициент различия электромеханических характеристик двигателей

$$K_s = \frac{S_1 - S_2}{\bar{S}} = \frac{S_1^2 - S_2^2}{2S_1 S_2}, \quad (3.4.14)$$

где $\bar{S} = \frac{2S_1 S_2}{S_1 + S_2}$ — среднее значение скольжения двигателей при их кинематическом соединении [140].

Эффективность использования мощности двухдвигательного кинематически связанного привода от различия скольжения двигателей и жесткости (угла наклона) их механических характеристик определяется выражением

$$\Pi_{э.с.} = e^{-(0,4 \div 0,5) K_s}, \quad (3.4.15)$$

которое может быть аппроксимировано приближенной линейной зависимостью

$$P_{э2c} = 1 - 0,433K_э. \quad (3.4.16)$$

Полученные формулы позволили для требуемого уровня эффективности $P_{э2c}$ найти рациональное соотношение между разбросом скольжений и углом наклона механических характеристик двигателей.

По рассмотренной выше методике с привлечением результатов измерений потребляемой мощности в табл. 3.4.2 приведены рассчитанные показатели использования кинематически связанного привода. Коэффициент $K_э$ по различным комбайнам изменялся в широких пределах — от 0,018 до 0,324 а коэффициент эффективности использования $P_{э2c}$ — от 0,86 до 0,99.

3.5. Динамические нагрузки на исполнительных органах с двухдвигательным приводом

Динамические нагрузки определялись для элементов исполнительного органа с независимым приводом (на примере комбайнов ПК-10, «Урал 10КС», «Урал 20КС») и для исполнительного органа с кинематически связанным двухдвигательным приводом (на примере комбайнов ПК-8, «Урал 20КС», «Урал 10КС»).

Кинематически не связанный привод. Одной из особенностей буровых комбайнов является наличие одного (ПК-8), двух (типа «Урал») или трех (ПК-10) роторных либо планетарно-дисковых исполнительных органов. При работе комбайнов с двумя и более исполнительными органами происходит наложение сечений (зона перекрытия) в одной (типа «Урал») или в разных плоскостях (ПК-10), обрабатываемых каждым из органов. В результате этого мощность за время одного оборота не остается постоянной, а зависит от угла поворота исполнительного органа.

На рис. 3.5.1 приведены схемы исполнительных органов комбайнов ПК-10 и «Урал 10КС», по которым аналитически определялись параметры зон перекрытия, влияющих на неравномерность средней нагрузки исполнительных органов этих комбайнов.

Максимальный угол перекрытия $2\varphi_{\max}$ в плоскости забоя у комбайна «Урал 10КС» определялся по формуле

$$2\varphi_{\max} = 2 \arccos \frac{2c}{D_{\max}}, \quad (3.5.1)$$

где c — расстояние между осями исполнительных органов; D_{\max} — максимальный диаметр исполнительного органа.

Как следует из рис. 3.5.1, угол перекрытия φ_i изменяется от φ_{\max} до 0 и далее от 0 до φ_{\max} . При этом угол контакта (рис. 3.5.1, б) диска с забоем изменяется от 180° до φ_{\min} и далее до 180° .

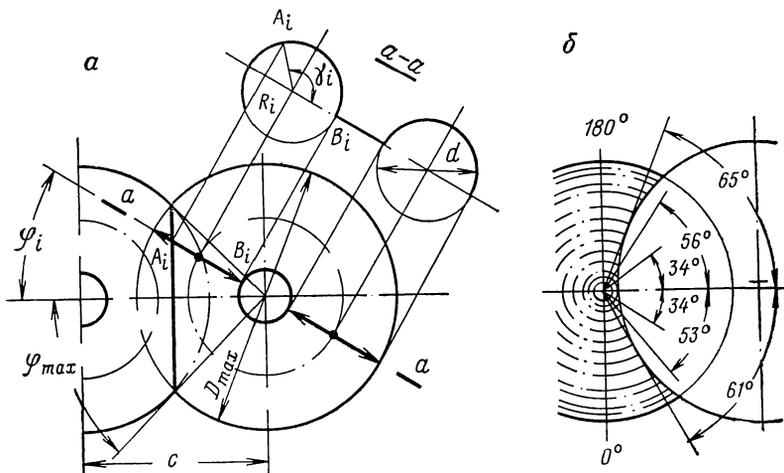


Рис. 3.5.1. Схемы исполнительных органов комбайнов к определению их параметров зоны перекрытия:
 а — типа «Урал»; б — ПК-10

Для определения угла ν предварительно определяется величина отрезка $A_i B_i$ (сечение $a - a$)

$$A_i B_i = \frac{c - 2 \cos \varphi_i \left(\frac{D_{\max}}{2} - d \right)}{2 \cos \varphi_i}, \quad (3.5.2)$$

где d — диаметр фрезерующего диска.

После определения $A_i B_i$ очевидно, что

$$\nu_i = 180 - \arccos \frac{A_i B_i - \frac{d}{2}}{\frac{d}{2}}. \quad (3.5.3)$$

Мощность, потребляемая планетарно-дисковым исполнительным органом, изменяется пропорционально числу резцов, находящихся в контакте с забоем, т. е. углу ν_i . Поэтому текущее значение нагрузок на фрезерующем диске можно определить по выражению

$$N_i = \frac{\bar{N}_{\max}}{2} \left(1 + \frac{\nu_i}{180} \right), \quad (3.5.4)$$

где \bar{N}_{\max} — средняя мощность, потребляемая при работе обоих дисков с полным захватом.

Для комбайна ПК-10 задача определения влияния зоны перекрытия на работу боковых буров сводится к установлению числа резцов, теряющих контакт или входящих в контакт с забоем,

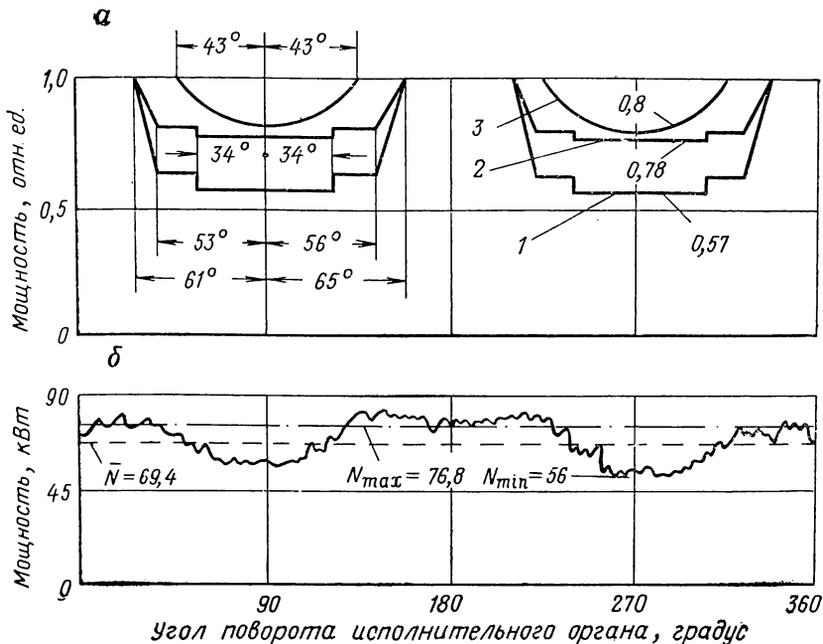


Рис. 3.5.2. Формирование неравномерности нагрузки на исполнительном органе комбайна бурового типа за один оборот:

a — расчетное изменение нагрузки: 1 — бурового ступенчатого (ПК-10); 2 — бурового фронтального; 3 — планетарнодискового (типа «Урал»); *б* — осциллограмма изменения нагрузки комбайна «Урал 10КС»

и продолжительности отсутствия контакта. Поскольку глубина и сечение срезов практически одинаковы на всех резцах, то, рассматривая этот процесс во времени, можно определить изменение нагрузки в зависимости от угла поворота боковых буров.

Основные расчетные характеристики рассматриваемых схем приведены в табл. 3.5.1, а диаграмма формирования неравномерности нагрузки на исполнительном органе за один оборот — на рис. 3.5.2.

Расчетные характеристики неравномерности работы исполнительных органов хорошо согласуются с опытными данными обработки измерений средней потребляемой мощности (табл. 3.5.2). Амплитуда колебаний регулярной составляющей, выделенная из случайного спектра нагрузок, определялась по формуле

$$\lambda = \sqrt{2\sigma_1^2}$$

и оценивалась коэффициентом относительной амплитуды $\lambda_0 = \sqrt{2\sigma_1^2/\bar{N}}$.

На рис. 3.5.2, *б* показана осциллограмма нагрузки за один оборот исполнительного органа комбайна «Урал 10КС», а на

Таблица 3.5.1

Исполнительный орган	n, об/мин	Показатели			
		$\lambda'_0 = \frac{N_{\max} - N_{\min}}{N_{\max} + N_{\min}}$	Скорость изменения нагрузки от N_{\max} до N_{\min}		
			угол поворота органа, градус	t, с	f, Гц
Планетарный	4,9	0,14—0,17	43	1,43	0,167
Буровой ступенчатый	15,0	0,27	8	0,066	0,5
То же, фронтальный	15,0	0,14	8	0,066	0,5

рис. 3.5.3 — диаграммы средней мощности при установившемся режиме работы комбайнов ПК-10 и «Урал 10КС».

Если учесть, что усталостная долговечность определяется по известному выражению $T_d = 1/\sigma_1 f$, то долговечность привода комбайнов типа «Урал» существенно выше, чем у боковых буров комбайна ПК-10. При фронтальном расположении органов буровых комбайнов типа ПК-10 долговечность может быть увеличена примерно в 2 раза. Кроме того, определенное влияние на уровень динамических нагрузок в приводе оказывает скорость нарастания внешнего момента сопротивления, которая у планетарного органа с параметрами комбайна «Урал 10КС» составляет около 12 кВт/с, а у боковых буров комбайна ПК-10 — 410 кВт/с.

Кинематически связанный привод. При кинематической связи двигателей и элементов исполнительного органа в его приводе при определенных условиях могут возникнуть

Таблица 3.5.2

Комбайн, пласт	Элементы исполнительного органа	\bar{N} , кВт	σ_1 , кВт	λ_N	λ_0
ПК-10, АБ	Правый	72	14,1	20	0,28
	Левый	73	15,5	22	0,30
ПК-10, П к. г.	Правый	72	14,3	20	0,28
	Левый	74	14,5	20	0,28
«Урал 20КС», Кр. П	Правый	86	9,2	13	0,15
	Левый	103	9,8	14	0,14
«Урал 10КС», П к. г.	Правый	70	7,4	10	0,15
	Левый	73	7,7	11	0,15

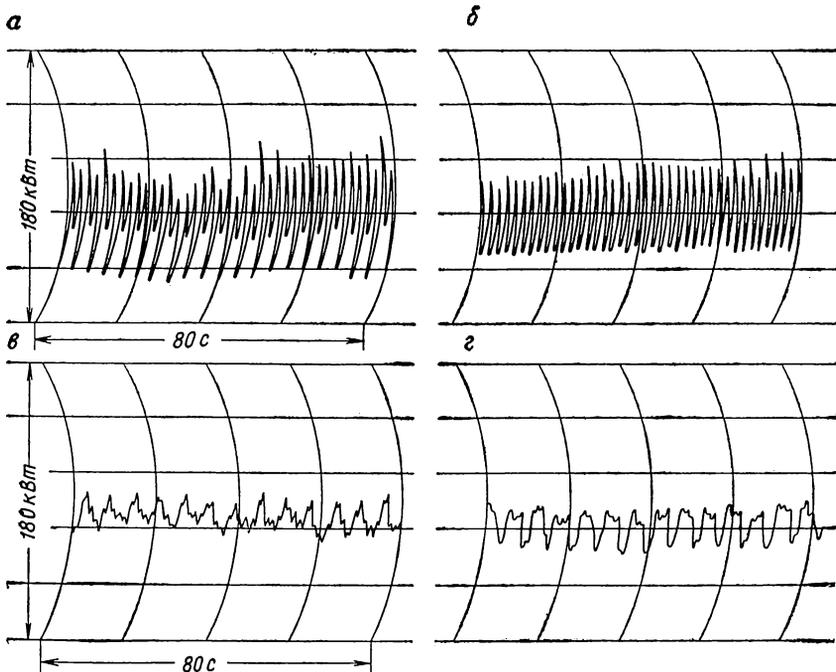


Рис. 3.5.3. Диаграммы потребляемой мощности двигателей исполнительных органов комбайнов:

а — ПК-10, левый бур, 2БКРУ, пласт АБ; б — ПК-10, левый бур, 1СГРУ, пласт II к. г.;
 в — «Урал 10КС», левый н. о., 2БКРУ, пласт АБ; г — «Урал 10КС», правый н. о.,
 1СГРУ, пласт II к. г.

незатухающие колебания упругих моментов с частотой, близкой к собственной частоте электромеханической системы отдельно взятой ветви привода при заземленном исполнительном органе. В этом случае на формирование колебательного процесса в приводе влияют в основном внутренние факторы: жесткость валопроводов трансмиссии, моменты инерции вращающихся масс, номинальное и критическое скольжения двигателей и др.

Статистические характеристики колебательного процесса в двухдвигательном приводе были получены на основе экспериментальных исследований режимов работы бермового органа комбайнов «Урал 20КС», «Урал 10КС» и исполнительного органа ПК-8. Для оценки динамического нагружения исполнительного органа с кинематически связанным двухдвигательным приводом производилось осциллографирование мгновенной мощности электродвигателей на различных режимах работы, характерных для каждого типа комбайнов. Как и при измерении средней мощности, из-за различия электромеханических характеристик двигателей нагрузка между ними распределялась неравномерно. Кроме того, нагрузка каждого двигателя имела переменный характер с

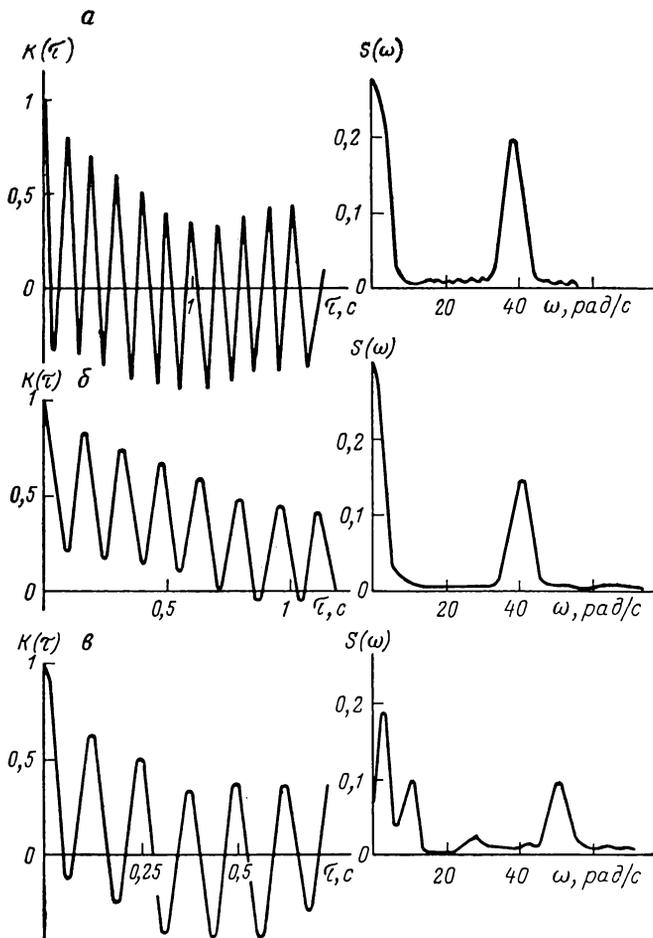


Рис. 3.5.4. Корреляционные функции и спектральные плотности мгновенной мощности двухдвигательных приводов исполнительных органов комбайнов:

а — ПК-8, № 43; б — ПК-8, № 92; в — «Урал 10КС», бермовый орган

периодическими колебаниями мощности. Выделенные из случайного процесса нагружения привода детерминированные составляющие представляли собой гармонические колебания. Рассчитанные по реализациям мгновенной мощности корреляционные функции и соответствующие им спектральные плотности (рис. 3.5.4) дают наглядное представление о характере и удельном весе колебательного процесса в общем спектре нагрузок. Графики корреляционных функций мгновенной мощности с достаточной точностью

Таблица 3.5.3

Комбайн, рудник	Электро- двигате- ли при- вода	N, кВт	D, кВт*	Слагаемые корреляционной функции						
				1		2			3	
				c ₁	ω ₁	c ₂	α ₂	ω ₂	c ₃	α ₂
ПК-8, 2БКРУ	Правый	88	450	0,46	40	0,19	0,2	3,65	0,35	2,0
	Левый	103	646	0,42	40	0,20	—	3,50	0,38	2,0
ПК-8, 1СгРУ	Правый	64	125	0,70	40	0,15	0,8	4,8	0,15	4,0
	Левый	96	182	0,50	40	0,20	0,4	4,8	0,30	4,5
«Урал 20КС», 1БКРУ	Правый	30	29	0,35	57	0,20	1,0	5,2	0,45	14,0
	Левый	30	36	0,30	57	0,15	1,0	5,0	0,55	14,0
«Урал, 10КС», 1СгРУ	Правый	29	55	0,31	51	0,14	1,5	8,6	0,55	12,0
	Левый	28	60	0,43	51	0,12	1,4	8,6	0,45	12,0

аппроксимировались суммой экспоненциально-косинусных составляющих

$$K(\tau) = \sum_1^m c_i e^{-\alpha_i \tau} \cos \omega_i \tau, \quad (3.5.5)$$

где c_i — удельная дисперсия; α_i — параметр затухания корреляционной функции, рад/с; ω — преобладающая круговая частота, рад/с; $i = 1, 2, \dots, m$ — число слагаемых корреляционной функции.

Значения этих коэффициентов приведены в табл. 3.5.3. В спектре нагрузок обоих двигателей приводов исполнительного органа комбайна ПК-8 и бермового органа комбайнов «Урал 20КС», «Урал 10КС» имелись колебания с частотой, обусловленной внутренними возмущениями из-за кинематических погрешностей в элементах трансмиссии. Такие же возмущения имели место и при однодвигательной схеме исполнительного органа, однако они не вызывали регулярных колебаний мощности двигателя [80, 128], так как в этом случае нет условий для взаимного усиления колебаний упругих моментов, как при двухдвигательных схемах. Вторая преобладающая частота в спектре нагрузки, обусловленная вращением исполнительного органа, имела незначительную дисперсию (10—20% от всей дисперсии мгновенной мощности). Дисперсия экспоненциальных составляющих, обусловленных случайными факторами, составляла 30—45% от суммарной дисперсии.

Таким образом, в спектре нагрузок двухдвигательного привода наибольшая доля удельной дисперсии приходится на колебания мощности двигателей, кинематически связанные. Незатухающие колебания, обусловленные кинематической связью двигателей, — характерная особенность двухдвигательного привода

исполнительного органа, две приводные ветви трансмиссии которого имеют примерно равные динамические параметры. При совпадении резонансных зон ветвей трансмиссии и наличии волновых процессов создавались необходимые условия для поддержания в системе устойчивых колебаний за счет обмена энергии между вращающимися массами двигателей.

Результаты анализа причин колебаний нагрузок многодвигательного привода были учтены в конструкции бермового органа комбайнов типа «Урал», в которой кинематически связанные редукторы разделены.

В заключение главы можно отметить следующее.

Разработана вероятностная модель нагружения электродвигателей, учитывающая связи между сопротивляемостью пласта, скоростью подачи и процессом стружкообразования. Показано, что при регулируемой скорости подачи потребляемая мощность должна определяться с учетом взаимной коррелированности скорости подачи и сопротивляемости. На основе этого разработана и доведена до инженерного использования методология определения устойчивой мощности электродвигателей с учетом их нагрева при случайном характере изменения сил внешнего сопротивления.

Установлено, что многодвигательный кинематически не связанный привод, как правило, характеризуется различной нагрузкой каждого двигателя. Наибольшее влияние на относительный уровень их нагрузки оказывали площадь забоя, обрабатываемая каждым органом, дополнительные плоскости обнажения забоя, совершенство погрузки и др. Степень неравномерности загрузки кинематически связанных электродвигателей определялась различием в скольжении электродвигателей и жесткостью их статических электромеханических характеристик.

Показано, что колебания нагрузки в приводах с кинематически не связанными электродвигателями обусловлены взаимным расположением исполнительных органов и при определенных условиях приводят к снижению устойчивой мощности и увеличению числа циклов нагружения. Колебания нагрузки в системе привода с кинематически связанными электродвигателями в основном вызывались внутренними кинематическими возмущениями, усиливающимися в силу резонансных явлений в замкнутой системе привода.

Выполненный в главе анализ режимов работы электродвигателей и предложенный метод инженерного определения устойчивой мощности позволяют надежно установить техническую производительность комбайнов. Предложенный метод, учитывающий особенность исполнительных органов и влияние изменчивости сопротивляемости пластов, является основой при разделении комбайнов по их технической производительности.

РЕЖИМЫ РАБОТЫ КОМБАЙНОВ И ОПРЕДЕЛЕНИЕ
ИХ ТЕХНИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ
ПО ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫМ ДАННЫМ

Наиболее обоснованными являются технические показатели горного комбайна, полученные в результате электрических измерений средней мощности в натуральных условиях.

Техническая производительность*, являющаяся основной оценкой горного комбайна, как и ее производные, во многом зависят от параметров разрушения забоя, определяемых конструкцией машины. Прямое влияние на производительность машины оказывает и процесс управления, что, однако, исследовано еще недостаточно. Данные хронометражных наблюдений о производительности не связаны непосредственно с режимом работы двигателей, не учитывают свойств забоя и процесса регулирования. Технические характеристики также не всегда могут дать надежные сведения о производительности, поскольку они обычно не связаны со свойствами забоя и процессом управления. Наконец, из-за отсутствия методических основ по установлению производительности комбайнов для выемки калийных руд на стадии проектирования сведения по техническим характеристикам неодинаково достоверны. Из-за сложности же достоверного определения технической производительности комбайнов некоторые исследователи пришли к выводу о нецелесообразности использования этого показателя для оценки машин. Так, проф. А. Н. Фролов считает, что «сравнение производится только по параметрам, присущим самим комбайнам, и не рассматриваются показатели, зависящие как от комбайнов, так и условий их работы: производительность, сортность и т. д.».

При определении технических показателей комбайнов необходимо использовать характеристики сопротивляемости калийных руд и их изменчивость (см. гл. 1); технические данные комбайнов и характеристики применяемых исполнительных органов (см. гл. 2); показатели нагрузочной способности электродвигателей, учитывающие свойства забоя (см. гл. 3); данные измерений средней потребляемой мощности, проведенных на длине участка забоя, обеспечивающей статистически достоверные результаты.

* Термин «техническая производительность», по мнению авторов, более целесообразен, чем «теоретическая производительность» [141], так как в таком смысле он используется в ряде отраслей промышленности для отражения именно технических, а не «теоретических» свойств машин.

При использовании перечисленных исходных данных становится возможным определение связи между статистическими оценками скорости подачи, показателями нагружения приводов исполнительного органа и характеристикой забоя (внешней среды). Совокупный метод исследования создает необходимые предпосылки для научно обоснованного изучения режимов работы комбайнов.

Комбайны проходческого типа для выемки калийных руд с гусеничным механизмом подачи как объект исследований способствуют повышению точности такого анализа, так как у них практически отсутствуют помехи от колебаний мгновенной (высоко-частотной) составляющей в спектре частот скорости подачи, которые характерны для комбайнов с тяговым органом большой длины [142]. Отсутствие высокочастотной составляющей, определяемой свойствами системы, позволяет отметить неравномерность подачи этих комбайнов к числу полностью регулируемых параметров.

Для условий калийной промышленности, где внедрение комбайнов проходческого типа началось в конце 60-х годов, исследовательских и методических работ по изучению режимов работы комбайнов сравнительно мало. В работах [17, 19, 23, 24, 26, 117, 143—145] основное внимание авторов уделено исследованию комбайнов с буроскалывающими исполнительными органами: 2ВТ-6, ШБМ, ПК-8 и ПК-10. В большинстве этих работ отмечается прогрессивность щелевой схемы разрушения и комбайнов с использованием этого направления, однако с некоторыми оговорками в отношении комбайнов 2ВТ-6 и ШБМ. Впоследствии этот вывод был опровергнут опытом. Благодаря работам института ВНИИПТ-Углемаши и [145 и др.] после отказа от щелевой схемы разрушения на комбайнах ШБМ, ПК-8 и ПК-10 их работоспособность была резко увеличена. Начиная с 1971—1972 гг. эти машины были полностью переведены на сплошную схему разрушения забоя. То же происходит и за рубежом: снижается число патентов на исполнительные органы с использованием щелевых схем и увеличивается на исполнительные органы с применением сплошных схем разрушения забоя [118, 146].

Некоторые работы посвящены определению пригодности комплексов МК-67 для выемки калийных руд [143] и установлению величины потребляемой мощности [147] при применении резцов различных типов или схем их набора. В работах [17, 19, 24] результаты электрических измерений представлены в виде функций $N = f(V_n)$ без учета связей между сопротивляемостью, мощностью и скоростью подачи, что в некоторых случаях приводило к неправильной оценке возможной технической производительности комбайнов. Эти измерения не связывались с сопротивляемостью забоя, поэтому исключалась возможность определять производительность для других условий работы комбайнов. Обычно большинство экспериментов, связанных с исследованиями

режущего инструмента на комбайнах [22, 148], выполнялись с использованием резцов ШБМ, по своей геометрии мало подходящих для разрушения калийной руды.

Настоящая глава посвящена разработке методологии исследования режимов работы комбайнов, исследованию и определению основных показателей их технического уровня с учетом сопротивляемости разрабатываемых пластов. Для этого последовательно изучаются связи между сопротивляемостью и производительностью комбайнов, анализируются оценки машин по результатам их работы. В итоге устанавливается экономически выгодный уровень технической производительности комбайнов для камерной выемки калийных руд.

4.1. Связь между сопротивляемостью пластов и производительностью комбайнов

Исследования режимов работы однотипных комбайнов с примерно одинаковыми параметрами исполнительных органов позволили установить связь между средней производительностью комбайнов и сопротивляемостью резанию A_L в зоне работы исполнительного органа (по величине захвата) [149], для чего был выполнен большой объем экспериментальных работ по определению нагрузки электродвигателей комбайнов и сопротивляемости резанию в условиях, где производились электрические измерения. Получение исходных данных для установления представительных связей между сопротивляемостью и производительностью очистных машин такими методами весьма трудоемко и длительно. Поэтому особую ценность для получения данных о возможной производительности машин представляют паспорта режимов их работы [119], благодаря которым устанавливается связь потребляемой мощности со скоростью подачи и сопротивляемостью, а также учитывается влияние изменчивости этих показателей на производительность комбайнов. Поскольку паспорт режима работы конкретной машины учитывает изменение сопротивляемости забоя, имевшее место в процессе измерений, анализ паспортов позволяет устанавливать возможную производительность комбайна для условий, отличающихся от экспериментальных. Подобный метод анализа значительно сокращает объем экспериментальных работ, так как позволяет по одному паспорту работы машины определить ее производительность для возможной области применения.

Для подтверждения правомерности такого метода следует сравнить (для машин с примерно одинаковыми параметрами) зависимости вида $Q = f(A_L)$, установленные из паспортов режима работы комбайна, с экспериментальными данными, полученными непосредственно при измерениях. Таким образом, задача сводится к статистическому сравнению с учетом достоверности сходности двух уравнений: $Q_s = f(A_L)$ и $Q_n = f(A_L)$, где Q_s и Q_n — соот-

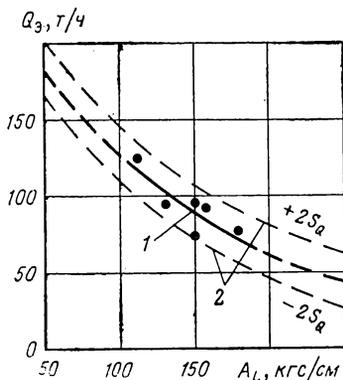


Рис. 4.1.1. Изменение производительности комбайнов от сопротивляемости угольного пласта (по экспериментальным данным):

1 — линия регрессии; 2 — среднее квадратическое отклонение линии регрессии

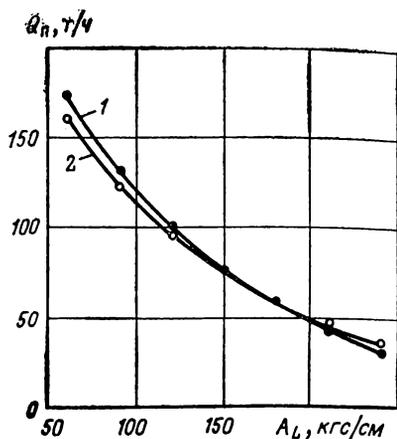


Рис. 4.1.2. Изменение производительности комбайнов от сопротивляемости угольного пласта (по паспортам режимов работы комбайнов):

1 — К-52М (шахта № 70), $A_L = 130$ кгс/см; 2 — К-52М (шахта № 47/49), $A_L = 150$ кгс/см

ветственно экспериментально установленная и определенная по паспорту режима работы комбайнов производительность, A_L — сопротивляемость в зоне работы исполнительного органа с шириной захвата L_a . Анализ выполнялся на примере работы угольных комбайнов в такой последовательности:

по экспериментальным данным для нескольких однотипных машин (КШ-2, К-52М) по хронометражным наблюдениям устанавливалась зависимость $Q_3 = f(A_L)$;

по паспортам режимов работы для аналогичных типов комбайнов устанавливалась зависимость $Q_n = f(A_L)$;

производилось статистическое сравнение полученных зависимостей.

На рис. 4.1.1 показана зависимость изменения производительности комбайнов от сопротивляемости угольного пласта $Q_3 = f(A_L)$. Разброс экспериментальных точек не превышал двукратного значения среднего квадратического отклонения S_Q линии регрессии.

С увеличением сопротивляемости угля резанию производительности комбайна снижалась по закону, описываемому показателем уравнением

$$\bar{Q}_3 = 259e^{-0,0072A_L l}, \text{ т/ч.} \quad (4.1.1)$$

Корреляционное отношение η_k , равное 0,9 и определенное с высокой степенью надежности, свидетельствовало о тесной связи между производительностью комбайнов и сопротивляемостью угля разрушению.

Зависимости $Q_n = f(A_L)$ устанавливались на основании анализа паспортов режимов работы комбайнов К-52М и 1К-52М [5]. При этом определялась скорость подачи комбайнов для различной сопротивляемости угля резанию и производительность — по общепринятому выражению

$$Q = 60HL_s\gamma V_n, \text{ т/ч}, \quad (4.1.2)$$

где γ — плотность угля, равная $1,43 \text{ т/м}^3$.

Приведенная на рис. 4.1.2 зависимость $Q_n = f(A_L)$ хорошо аппроксимировалась уравнением

$$\bar{Q}_n = 280e^{-0,0087A_L l}, \text{ т/ч}. \quad (4.1.3)$$

Несмотря на некоторое различие в вынимаемой мощности пластов (1,8—1,3 м) и величине захвата исполнительных органов (0,6—0,5 м), разницы в производительностях, полученных по двум паспортам режима работы комбайнов, практически не наблюдалось. Следовательно, при определении производительности однотипных по конструкции машин, работающих в забоях с различной сопротивляемостью резанию, можно пользоваться одним паспортом режима работы, построенным для данного типа машин.

Суть статистического сравнения регрессий (4.1.1) и (4.1.3) сводилась к оценке степени различия остаточных дисперсий (средних квадратических отклонений $S_{Q.э}$ и $S_{Q.п}$), угловых и постоянных коэффициентов линеаризованных уравнений регрессии [93]. Для этого логарифмировались правые и левые части уравнений (4.1.1) и (4.1.3) и спрямлялась кривая регрессии. В общем виде после линеаризации уравнения приобрели вид

$$\ln Q = \ln a - bA_L l. \quad (4.1.4)$$

Исходные данные для сравнения двух прямых регрессий приведены в табл. 4.1.1.

Первоначально по остаточным дисперсиям $S_{Q.э}^2$ и $S_{Q.п}^2$, применяя F -критерий (критерий Фишера), проверялась гипотеза о равенстве дисперсий генеральных совокупностей $H_0^1 : S_{Q.э}^2 = S_{Q.п}^2$, т. е.

$$F = \frac{S_{Q.э}^2}{S_{Q.п}^2} = \frac{79}{8,4} = 9,4. \quad (4.1.5)$$

При уровне значимости $\alpha' = 0,01$ (вероятности различия дисперсий) и числе степеней свободы $m_1 = n_1 - 2 = 12 - 2 = 10$ и $m_2 = n_2 - 2 = 6 - 2 = 4$ по таблице [93] были определены

Сравниваемые выборки	Число опытов	Среднее значение		Дисперсии		Коэффициенты линии регрессии		Остаточные дисперсии S_2^2
		\bar{A}_L	\bar{Q}	σ_A^2	σ_Q^2	$\ln a$	b	
По хронометражным наблюдениям	6	146	92	428	412	5,56	0,0072	79
По паспортам режимов работы комбайнов	12	136	87	1107	735	5,63	0,0087	8,4

границы критической области для гипотезы $H_0^{(1)}$ ($F_{(0,01; 4; 10)} = 14,55$). Так как $F < F_{(0,01; 4; 10)}$, то гипотеза $H_0^{(1)}$ не отвергалась и различие между остаточными дисперсиями можно было признать случайным.

Для проверки гипотезы $H_0^{(2)}: b_3 = b_n$ о тождественности угловых коэффициентов регрессии использовался критерий t_b , являющийся реализацией распределенной по закону Стьюдента выборочной функции с $m = n_3 + n_n - 4 = 6 + 12 - 4 = 14$ степенями свободы

$$t_b = \frac{b_n - b_3}{\bar{S}^* \sqrt{\frac{1}{(n_n - 1) \sigma_{A.п}^2} + \frac{1}{(n_3 - 1) \sigma_{A.э}^2}}}, \quad (4.1.6)$$

где $\sigma_{A.п}^2$ и $\sigma_{A.э}^2$ — дисперсии, вычисленные соответственно по выборкам, полученным по паспортным и экспериментальным данным; \bar{S}^* — сводная оценка общей теоретической дисперсии регрессий, равная

$$\bar{S}^* = \sqrt{\frac{(n_3 - 2) S_{Q.э}^2 + (n_n - 2) S_{Q.п}^2}{m}}. \quad (4.1.7)$$

В результате вычислений: $t_b = 0,07$; $\bar{S}^* = 5,35$.

При уровне значимости $\alpha' = 0,01$ и числе степеней свободы $m = 14$ по таблице [93] были определены границы критической области для гипотезы $H_0^{(2)}$ ($t_{(0,01; 14)} = 2,98$). Так как $t_b < t_{(0,01; 14)}$, гипотеза $H_0^{(2)}$ не отвергалась, что позволило сделать вывод о параллельности прямых регрессий.

Для проверки гипотезы $H_0^{(3)}: Q_3 = Q_n$ о тождественности констант (свободных членов регрессии) по значениям выборок рассчитывалась величина критерия

$$t_a = \frac{\bar{b} - b^*}{S_{\bar{b} - b^*}}, \quad (4.1.8)$$

где \bar{b} — средневзвешенное значение угловых коэффициентов линий регрессий, которое используется в качестве совместной оценки параметра $b_3 = b_n = b$ при условии истинности гипотезы $H_0^{(2)}$; b^* — оценка параметра b , полученная при допущении истинности как гипотезы $H_0^{(2)}$, так и гипотезы $H_0^{(3)}$ о равенстве свободных членов регрессии; $S_{\bar{b}-b^*}$ — оценка величины $\bar{b} - b^*$,

$$\bar{b} = \frac{(n_3 - 1) \sigma_{A.3}^2 b_3 + (n_n - 1) \sigma_{A.n}^2 b_n}{(n_3 - 1) \sigma_{A.3}^2 + (n_n - 1) \sigma_{A.n}^2}; \quad (4.1.9)$$

$$b^* = \frac{\bar{Q}_3 - \bar{Q}_n}{\bar{A}_{L.3} - \bar{A}_{L.n}}; \quad (4.1.10)$$

$$S_{\bar{b}-b^*} = \bar{S}^* \times \sqrt{\frac{1}{(n_3 - 1) \sigma_{A.3}^2 + (n_n - 1) \sigma_{A.n}^2 + (\bar{A}_{L.3} - \bar{A}_{L.n})^2} \left(\frac{1}{n_3} + \frac{1}{n_n} \right)}. \quad (4.1.11)$$

После подстановки в (4.1.9) выражения (4.1.11) получилось: $\bar{b} = 0,0085$; $b^* = 0,62$ и $S_{\bar{b}-b^*} = 0,96$.

Таким образом,

$$t_a = \frac{0,0085 - 0,62}{0,96} = 0,64.$$

При этом учитывалась абсолютная разность между значениями \bar{b} и b^* . При $\alpha' = 0,01$ и $m = 14$ по таблице [93] были определены границы критической области для гипотезы $H_0^{(3)}$ ($t_{(0,01; 14)} = 2,98$).

Так как $t_a < t_{(0,01; 14)}$, то гипотеза $H_0^{(3)}$ не отвергалась. Можно заключить, что сравниваемые линии регрессии отличались случайно, статистически незначимо и принадлежали к одной генеральной совокупности.

Выполненный анализ подтвердил целесообразность использования паспортов режима работы однотипных комбайнов для определения их производительности при изменении сопротивляемости пластов в достаточно широких пределах. Результаты важны и в методическом плане, так как очевидна возможность существенного сокращения объемов и сроков экспериментальных работ. Появилась также возможность оценить производительность опытных образцов машин, в процессе испытания которых практически исключается получение прямым способом данных о их возможной производительности в широком диапазоне изменения свойств горных пород.

По изложенной методике на рис. 4.1.3 построены зависимости между производительностью Q_k и сопротивляемостью калийных руд для комбайнов различных типов. Эта связь установлена

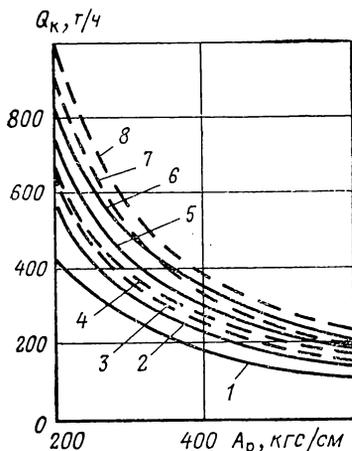


Рис. 4.1.3. Изменение производительности комбайнов от сопротивляемости калийной руды (по паспортам режимов работы комбайнов): 1 — ПК-8; 2 — ПК-10; 3 — ПК-8; 4 — ПК-10; 5 — «Урал 10КС»; 6 — «Урал 20КС»; 7 — «Урал 10КС»; 8 — «Урал 20КС»; — Верхнекамское месторождение; - - - Старобинское месторождение

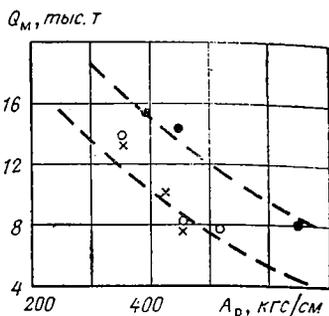


Рис. 4.1.4. Зависимость средне-месячной производительности комбайнов от сопротивляемости калийной руды

для условий Верхнекамского и Старобинского месторождений при мощности электродвигателей главных исполнительных органов, близкой к устойчивой (см. гл. 3).

При кинематически не связанном электроприводе производительность комбайна рекомендуется определять по наиболее загруженному исполнительному органу, задающему режим работы всей машины. При использовании многодвигательного привода, при котором установление потока мощности между исполнительными органами затруднительно, определение производительности комбайна по паспорту режима его работы следует выполнять для всего исполнительного органа.

Опыт эксплуатации однотипных комбайнов для выемки калийных руд показал также, что их календарная производительность в условиях различных шахтопластов или месторождений различна. Это различие не могло быть объяснено только организационными причинами, поскольку объем работ, выполненный комбайнами за рассматриваемый период, составил 25 млн. т при среднемесечном числе работающих машин 164. На основании этих данных были сопоставлены среднемесечная производительность по группам комбайнов и установленные в этих условиях показатели сопротивляемости (рис. 4.1.4). Среднемесечная производительность комбайнов с увеличением A_p снижалась монотонно. С увеличением сопротивляемости в два раза (если судить по средней линии поля) производительность снижалась в 2,2—2,3 раза.

Таблица 4.1.2

Месторождение	Сопротив- ляемость базовая A_6 , кгс/см	Комбайн	Производительность ком- байнов, тыс. т/мес	
			по типам	в среднем
Верхнекамское	450	ШБМ ПК-8	7,6	10,35
			14,6	
Старобинское	370	ШБМ ПК-8	12,3	13,9
			15,5	

Непропорциональная связь между производительностью и сопротивляемостью объяснялась ухудшением режима работы комбайнов на меньших скоростях подачи, а также различной изменчивостью сопротивляемости, влияющей на устойчивую мощность электродвигателей.

На рис. 4.1.4 четко видна верхняя граница, представленная комбайнами ПК-8, и нижняя, представленная комбайнами ШБМ и «Караганда 7/15». Границы обусловлены неодинаковой энерговооруженностью комбайнов. Для ориентировочного сравнения производительности комбайнов по Верхнекамскому и Старобинскому месторождениям с учетом сопротивляемости калийной руды в табл. 4.1.2 приведена среднемесячная производительность Q_m комбайнов ПК-8 и ШБМ.

Следовательно, отношение $A_{6,c}/A_{6,B} = 0,8$, а отношение средней производительности $\overline{Q_{мес. B}}/\overline{Q_{мес. C}} = 0,78$, т. е. оно изменилось обратно пропорционально величине сопротивляемости.

Установление связи между производительностью комбайнов и сопротивляемостью позволило перейти к детальной сравнительной оценке комбайнов с учетом мощности электродвигателей, параметров разрушения забоя и особенностей исполнительных органов.

4.2. Методы сравнительной оценки комбайнов по результатам анализа паспортов режима их работы

Для установления связи между потребляемой мощностью электродвигателей, скоростью подачи комбайнов и сопротивляемостью пластов используются паспорта режима работы комбайнов. Сравнение паспортов показало, что в ряде случаев, особенно при разрушении калийных руд, интенсивность изменения мощности электродвигателя при увеличении скорости подачи комбайна неодинакова. Эту особенность некоторые исследователи связывают главным образом с конструктивными параметрами исполнительных органов, не учитывая в достаточной степени влияния

Показатели	Регулирование в режиме		
	I (рис. 4.2.1, а)	II (рис. 4.2.1, б, б')	III (рис. 4.2.1, в)
Соотношение углов линии регрессии пропорционального α и фактического β регулирования	$\alpha = \beta$	$\alpha > \beta$	$\alpha < \beta$
Границы изменения коэффициентов корреляции r_{v_A}	0	$0 - (-1)$	$0 - 1$
Соотношение коэффициентов вариации скорости подачи v и мощности v_N	$v = v_N$	$v > v_N$	$v < v_N$
Коэффициент пропорциональности a_n отношения $\frac{\bar{V}_n}{V_{n_i}} = a_n \frac{\bar{N}}{N_i}$	$a_n = 1$	$a_n > 1$	$a_n < 1$

на уровень потребляемой мощности изменчивости сопротивляемости пластов и, следовательно, интенсивности регулирования скорости подачи. Технические свойства комбайнов чаще всего оценивают исходя из зависимости

$$\bar{N} = a + b\bar{V}_n, \text{ кВт}, \quad (4.2.1)$$

где a и b — эмпирические коэффициенты*.

В данном случае анализ электрических измерений слишком упрощен, так как совсем не учитывает влияния процессов управления машиной. Поэтому результаты измерений, выполненных в различных условиях, трудно сопоставимы и прогнозирование производительности машин для некоторых условий эксплуатации сопровождается существенными погрешностями.

Необходимо, значит, в зависимость (4.2.1) ввести показатели, устанавливающие влияние процесса регулирования на потребляемую мощность. При этом вносятся существенные коррективы в примененные методы анализа режимов работы комбайнов [2, 78, 120, 142]. На основе обобщенных и проанализированных результатов электрических измерений установлены показатели регулирования, знание которых необходимо для выявления связи между потребляемой мощностью \bar{N} , скоростью подачи \bar{V}_n , углом наклона линии регрессии $\bar{N} = f(V_n)$ и изменчивостью показателя сопротивляемости. Это — коэффициент корреляции r_{v_A} , оценивающий взаимную коррелированность скорости подачи и сопротивляемости; соотношения изменения углов

* Считается, что угловой коэффициент b характеризует влияние только свойств забоя и принятых в конкретной машине режимных параметров [129].

наклона линий регрессии в зависимости от режима работы, обозначаемые α или β : коэффициент пропорциональности между скоростью подачи \bar{V}_n/V_{pi} и потребляемой мощностью \bar{N}/N_i .

В табл. 4.2.1 и на рис. 4.2.1 в обобщенном виде представлены паспорт режима работы комбайна и возможные границы изменения показателей режима работы.

По степени регулирования (интенсивности) режимы работы комбайнов можно разделить на три группы:

I — режим пропорционального регулирования, скорость подачи и сопротивляемость некоррелированы;

II — режим регулирования с избытком, между скоростью подачи и сопротивляемостью корреляция отрицательная;

III — режим регулирования с недостатком, между скоростью подачи и сопротивляемостью корреляция положительная.

Режим I. Обеспечивается равенство

$$\bar{N} - N_{x.x} = P_c V_n, \text{ кВт}, \quad (4.2.2)$$

где P_c — силы сопротивления на исполнительном органе, зависящие от показателя сопротивляемости и параметров разрушения; $N_{x.x}$ — мощность холостого хода, определяемая постоянными потерями в двигателе и трансмиссии.

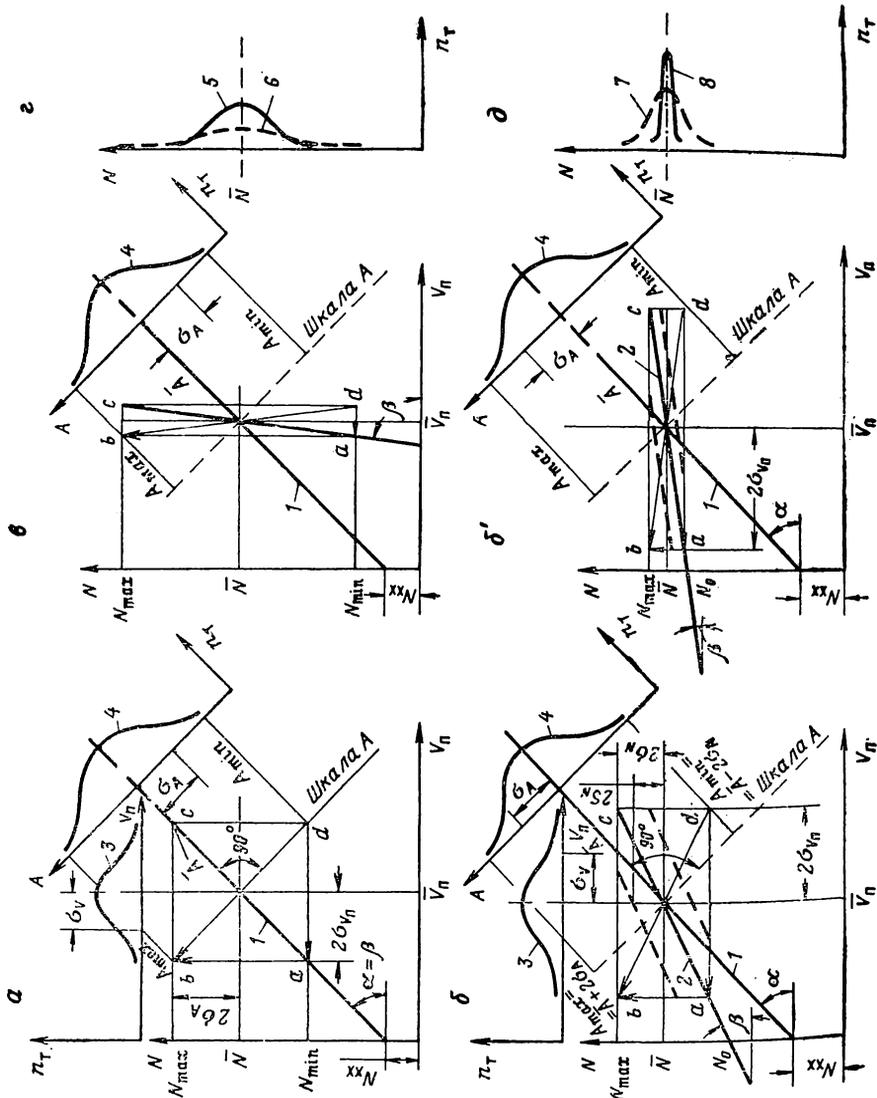
Условие (4.2.2) будет выполняться, если линия регрессии $N = f(V_n)$ будет учитывать только среднюю сопротивляемость. Влияние изменчивости свойств забоя на мощность и скорость подачи на этом режиме одинаково. Линия регрессии для этого режима может быть определена расчетом по методике, приведенной в 4.5 или [2] при $A = A_p = \text{const}$, $V_n = \text{var}$.

Режим II. Имеет место при повышении интенсивности регулирования, т. е. увеличении связи между V_n и A_p с одновременным уменьшением зависимости между N и A_p . Характеризуется более вытянутой вдоль оси V_n формой поля регулирования $abcd$ по сравнению с режимом I (a) из-за меньших значений σ_1 . Наклон линии регрессии $N = f(\xi_\alpha, V_n)$ характеризуется углом β . Установлено, что угол β зависит от r_{vA} и показателя интенсивности регулирования ξ_α . Из сравнения режимов II (b) и II (b') видно, что с уменьшением угла β снижается и σ_1 . Поэтому при определенной величине предельной мощности двигателя N_{np} на режиме II (b') возможно увеличение поддерживаемой средней мощности и, следовательно, скорости подачи по сравнению с режимом II (b). Эти варианты регулирования чаще всего имеют место на комбайнах, эксплуатируемых в калийных рудниках. В пределе режим II является минимальным вариантом автоматического регулирования при $N = \text{const}$ [78].

Режим III. По использованию мощности установленных двигателей этот режим наименее экономичный. Поле регулирования $abcd$ располагается параллельно оси \bar{N} , поэтому при неизменной мощности \bar{N} имеют место наибольшие значения N_{max} .

Рис. 4.2.4. Обобщенные паспорта режимов работы комбайнов при различных режимах регулирования:

а — режим регулирования I; б, б' — варианты режима регулирования II; в — режим регулирования III; з и д — функции распределения следящей мощности на режимах соответственно I, III и II; ж — регрессия при пропорциональном регулировании; з — регрессия при фактическом регулировании $N = f(V_n, \xi_k)$; 3 — распределение скорости роста поля; 4 — распределение соответствующей площади; 5, 6, 7 — распределение мощности экскаватора при режимах соответственно I, III, II; 8 — то же, предельный случай при режиме II



По классификации [78] этот режим при $\beta \rightarrow 90^\circ$ соответствует варианту параметрической стабилизации при постоянной производительности.

В процессе измерений \bar{N} редко соответствует устойчивой мощности конкретного двигателя, а значения A_p часто требуют приведения к базовым условиям, поэтому для учета их влияния на скорость подачи (производительность) следует поступать следующим образом. Для исследуемого типа комбайна определить уравнение линии пропорционального регулирования

$$\bar{N} = N_{x.x} + K_o A_p \bar{V}_n, \text{ кВт}, \quad (4.2.3)$$

где K_o — коэффициент, характеризующий исполнительный орган при различных свойствах разрушаемого массива.

Нужно иметь в виду, что в общем случае $N_{x.x} \neq a$, и при сравнении комбайнов или расчете их производительности вместо коэффициента a из формулы (4.2.1) надо пользоваться величиной $N_{x.x}$.

Из сравнения выражений (4.2.2) и (4.2.3) следует, что

$$P_c = K_o A_p = m_{NV} \operatorname{tg} \alpha, \quad (4.2.4)$$

где m_{NV} — коэффициент, учитывающий масштаб по \bar{N} и \bar{V}_n ; α — угол наклона линии пропорционального регулирования.

Значение $\operatorname{tg} \alpha$ может быть определено по формуле

$$\operatorname{tg} \alpha = m_{NV} \frac{\bar{N} - N_{x.x}}{\bar{V}_n} = m_{NV} \frac{\sigma'_1}{\sigma'_V} \quad (4.2.5)$$

или (в относительных единицах)

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{\sigma'_1 V'_n}{\sigma'_V (\bar{N} - N_{x.x})} = 1, \quad (4.2.6)$$

где σ'_1 , σ'_V — средние квадратические отклонения соответственно мощности и скорости подачи при пропорциональном регулировании скорости подачи.

Затем в уравнение (4.2.3) ввести коэффициенты изменяющихся параметров и привести к сравниваемым условиям

$$\bar{N} = N_{x.x} + \lambda_n K \frac{A_p}{A_6} \frac{F_{н.о}}{F_6} \bar{V}_n, \quad (4.2.7)$$

где λ_n — коэффициент, учитывающий увеличение или уменьшение производительности, связанное с изменением параметров срезов; A_p/A_6 , $F_{н.о}/F_6$ — изменение сопротивляемости и обрабатываемой площади забоя по отношению к базовым условиям.

В возможных границах изменения при работе комбайнов на выемке калийных руд λ_n принят равным 0,9—1,1. Эти значения могут быть уточнены при анализе зависимости $H_w = f(V_n)$.

Комбайн	Параметры режима								Комбайн-аналог, приведенный комбайн
	Экспериментальные				Приведенные				
	A_p , кгс/см	\bar{N} , кВт	\bar{V}_n , м/ч	N_{ω} , кВт·ч/т	\bar{V}_n , м/ч	\pm к аналогу, %	N_{ω} , кВт·ч/т	\pm к аналогу, %	
№ 30	454	129	4,5	1,68	4,7	+2,2	1,63	-3	№ 92, № 30
№ 92	360	110	6,03	1,23	5,8	-3,8	1,29	+4	№ 30, № 92
№ 6	430	77,4	6,5	1,26	6,0	-7,7	1,34	+6,3	№ 7, № 6
№ 7	330	98,5	11,6	0,9	12,5	+7,8	0,84	-6,7	№ 6, № 7

Точность применения предложенной методики наглядно видна на примере взаимного приведения показателей режима работы комбайнов ПК-8 (№ 30 и 92) и «Урал 10КС» (№ 6 и 7), полученных при их работе в условиях Старобинского (№ 92 и 7) и Верхнекамского (№ 30 и 6) месторождений. Результаты сравнения экспериментальных и приведенных значений показаны в табл. 4.2.2.

Разработанная методика обеспечивает достаточную точность приведения режимов работы машин к желаемому уровню потребляемой мощности или сопротивляемости забоя и позволяет дать объективную сравнительную оценку машин.

Разброс средней мощности прежде всего определяется параметрами уравнения линии регрессии для фактического регулирования, учитывающими качество процесса управления,

$$\bar{N} = N_0 + \xi_{\alpha} \bar{V}_n, \text{ кВт}, \quad (4.2.8)$$

где N_0 — точка пересечения линии регрессии с осью ординат, кВт; $\xi_{\alpha} = m_{NV} \operatorname{tg} \beta$ — угловой коэффициент, зависящий от степени взаимной коррелированности \bar{V}_n и A_p , определяемой качеством управления; β — линия фактического регулирования. Определение $\operatorname{tg} \beta$ производится по формуле

$$\operatorname{tg} \beta = m_{NV} \frac{\sigma_1}{\sigma_V} r_{NV} = m_{NV} \frac{\bar{N} - N_0}{\bar{V}_n} \quad (4.2.9)$$

или (в относительных единицах)

$$\operatorname{tg} \beta = \frac{\sigma_1 \bar{V}_n}{\sigma_V (\bar{N} - N_0)} r_{NV}. \quad (4.2.10)$$

Из экспериментальных данных и граничных условий связи между V_n и A_p следует, что зависимость между коэффициентами корреляции r_{VA} и r_{NV} может быть аппроксимирована выражением

$$r_{VA} = \sqrt{1 - r_{NV}^2}. \quad (4.2.11)$$

Среднее квадратическое отклонение линии регрессии относительно \bar{N}

$$S_N = \sigma_1 \sqrt{1 - r_{NV}^2}. \quad (4.2.12)$$

Для определения влияния изменчивости свойств забоя на качество регулирования используется показатель ψ , характеризующий скорость нарастания возмущающего фактора:

$$\psi = \frac{2(A_{p \max} - A_{p \min}) V_n A_p}{60 L_{A \Delta 6}} \cdot \frac{\text{кгс}}{(\text{см} \cdot \text{мин})}, \quad (4.2.13)$$

где $A_{p \max} - A_{p \min}$ — диапазон разброса сопротивляемости в зоне работы комбайна, кгс/см; L_A — периодичность изменений средней сопротивляемости вдоль выработки, 18—25 и 100 м для пластов объединения соответственно «Уралкалий» и «Белорускалий».

В табл. 4.2.3 приведены результаты обработки по изложенной выше методике измерений мощности, потребляемой главными двигателями комбайнов различной конструкции. Для получения надежных исходных данных измерения средней мощности выполнялись в объеме, приведенном в п. 1.3. Статистические характеристики основных показателей режима работы \bar{N} , V_n , σ_1 и σ_V определялись методом моментов, а параметры уравнения линии фактического регулирования $N = f(\xi_\alpha, V_n)$ и коэффициент корреляции r_{NV} — с помощью корреляционных матриц [54, 57]. Были установлены следующие зависимости:

$$\xi_\alpha = 8\psi^{0.5} \quad (4.2.14)$$

и

$$\sigma_1 = 12,5\psi^{0.6}, \text{ кВт}. \quad (4.2.15)$$

С ростом ψ связь коэффициентов корреляции между скоростью подачи и сопротивляемостью монотонно снижалась

$$r_{VA} = 0,87 - 0,1\psi, \quad (4.2.16)$$

а между потребляемой мощностью и скоростью подачи увеличивалась

$$r_{NV} = 0,44 + 0,2\sqrt{\psi}. \quad (4.2.17)$$

Из выражений (4.2.11)—(4.2.14) следует важный вывод, что зависимость (4.2.1), обычно трактуемая как энергетическая характеристика машин [129], в действительности таковой не является,

Таблица 4.2.3

Объединение	Руководитель, плас	Комбайны	И.о. М.	Характеристики											
				забой		режима работы				регулирования					
				Д, кг/см	С, кг/см	Н, кВт	С, кВт	V, м/ч	Ф, м/ч	N = f (C, V), кВт	φ	(СМ·МИН)	гУА		
«Урал-калий»	2БКРУ, пл. АБ 1БКРУ, пл. Кр. П	ПК-8 * № 43 ПК-8 № 30 «Урал 20КС», Л «Урал 20КС», П № 1	8,0	454	418	147,0	35,4	4,20	1,63	$\bar{N} = 59$	$\bar{N} = 72$	$\bar{N} = 49,6V_n$	3,8	0,96	-0,28
				454	418	129,0	26,7	4,60	$\bar{N} = 72$	$\bar{N} = 42,3V_n$	4,0	0,90	-0,43		
				450	81	105,0	24,3	3,63	$\bar{N} = 48$	$\bar{N} = 45,7V_n$	1,6	0,84	-0,53		
				450	81	90,0	24,1	3,63	$\bar{N} = 34$	$\bar{N} = 45,7V_n$	1,6	0,83	-0,56		
				450	81	127,0	22,0	4,80	$\bar{N} = 66$	$\bar{N} = 42,6V_n$	2,1	0,75	-0,66		
2БКРУ, пл. АБ ЗБКРУ, пл. АБ	ПК-10 * Л и П ПК-10 * П № 3 «Урал 10КС», П № 6	8,2	450	81	121,7	18,2	5,4	1,6	$\bar{N} = 66$	$\bar{N} = 10,3V_n$	2,4	0,91	-0,41		
			454	118	122,3	18,7	4,03	$\bar{N} = 73$	$\bar{N} = 43,3V_n$	4,0	0,77	-0,64			
			454	118	164,0	27,0	4,03	$\bar{N} = 97$	$\bar{N} = 16,8V_n$	4,0	0,74	-0,67			
			430	118	77,4	6,5	6,5	$\bar{N} = 50$	$\bar{N} = 4,2V_n$	5,4	0,4	-0,91			
			360	34	110,0	12,6	6,03	$\bar{N} = 1,50$	$\bar{N} = 76$	$\bar{N} = 5,6V_n$	0,2	0,66	-0,75		
«Белоруска-лий»	1СРУ, П к. Г. 1СРУ, П к. Г.	ПК-8 № 92 «Урал 10КС», П № 2 «Урал 10КС», Л и П № 2 «Урал 10КС», Л № 2 ПК-10, Л и П «Урал 10КС», П № 7 ПК-10, П	7,1 3,9 7,8 3,9 6,04 4,5 5,23	330	55	71,5	6,6	7,84	1,01	$\bar{N} = 56$	$\bar{N} = 2V_n$	0,4	0,3	-0,8	
				330	55	145,2	9,3	7,84	$\bar{N} = 107$	$\bar{N} = 4,8V_n$	0,4	0,52	-0,86		
				330	55	74,2	6,5	7,84	$\bar{N} = 49$	$\bar{N} = 3,45V_n$	0,4	0,48	-0,88		
				330	55	124,0	11,7	7,42	$\bar{N} = 93$	$\bar{N} = 3,7V_n$	0,4	0,43	-0,90		
				330	55	98,5	8,9	11,6	$\bar{N} = 68,2$	$\bar{N} = 2,55V_n$	0,6	0,28	-0,96		
				330	55	120	12,0	7,42	$\bar{N} = 93$	$\bar{N} = 3,7V_n$	0,4	0,46	-0,89		
				330	55	120	12,0	7,42	$\bar{N} = 93$	$\bar{N} = 3,7V_n$	0,4	0,46	-0,89		

Примечание. Двигатели: Ц-центрального бура, Л-левого бура, П-правого бура. * Комбайны с буровелесным рабочим органом.

так как на угол β основное влияние оказывали свойства забоя и интенсивность регулирования скорости подачи, совокупно учитываемые показателем ψ . Именно меньшая величина совокупного показателя ψ в условиях объединения «Белорускалий» определяла большую степень связи между V_n и A_p , чем в условиях объединения «Уралкалий». Значит, если показатель ψ не более 0,3—0,5 кгс/см·мин, то нагрузку двигателей можно регулировать системой подачи. Таким образом, показатель ψ может быть принят для оценки условий регулирования.

Иначе говоря, так как скорость нарастания возмущения в некоторых случаях может превосходить возможности регулирования комбайна при ручном управлении скоростью подачи, то машинист в этом случае не успевает следить за изменением сопротивления забоя и поэтому связь между мощностью и скоростью подачи увеличивается, а угол наклона линии регрессии возрастает. Такой режим работы из-за большой изменчивости свойств забоя характерен для комбайнов, работающих в объединении «Уралкалий», что иллюстрируется зависимостями

$$\frac{\sigma_1}{N} = 0,33r_{NV}^2 \text{ и } \frac{\sigma_1}{N} = 0,015\xi_{\alpha}, \text{ кВт,} \quad (4.2.18)$$

установленными по данным табл. 4.2.3.

Связь между исследованными параметрами в выражениях (4.2.14)—(4.2.18) довольно тесная, с корреляционным отношением или коэффициентом корреляции 0,81—0,88.

На рис. 4.2.2 приведены паспорта режимов работы однотипных машин в условиях пластов с различными свойствами. Использование для прогнозирования фактической линии регрессии с углом β вместо линии пропорционального регулирования с углом α чаще всего приводит к неоправданному завышению производительности. Так, при экстраполяции V_n , например на уровень $N = 180$ кВт, ошибка в определении возможной скорости подачи для комбайна № 30 достигает 1,8 м/ч (26%), а для комбайна № 92 — 4,2 м/ч (36%). Из рисунка также видно влияние большей интенсивности регулирования и меньшей изменчивости свойств забоя на снижение разброса потребляемой мощности.

На рис. 4.2.3 показан совмещенный паспорт режимов работы комбайнов «Урал 10КС» (№ 2 и 7) в условиях одного шахтопласта (1СГРУ, пласт II к. г.), при поддержании машинистами существенно различных \bar{V}_n и \bar{N} . Прямая, проходящая через координаты средних точек режима работы этих машин, является линией пропорционального регулирования $N = f(V_n)$. Она проходит значительно круче фактических линий регрессии $N = f(\xi_{\alpha}, V_n)^*$. Следовательно, правильность основ классификации признаков режимов работы (см. табл. 4.2.1) подтверждается экспериментально.

* При $m_{N/V} = 0,05$ кВт·ч/м.

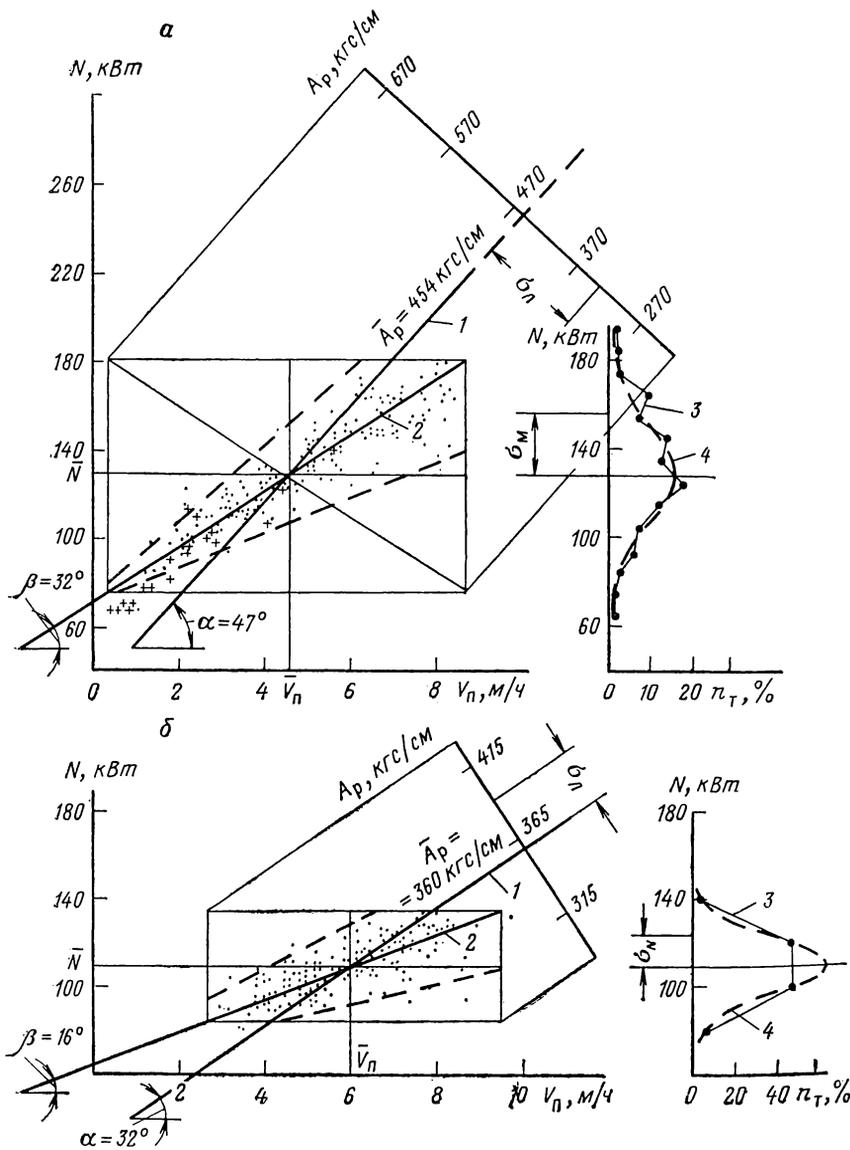


Рис. 4.2.2. Паспорта режимов работы комбайнов ПК-8 в условиях пластов с различной сопротивляемостью: а — 2БКРУ, пласт АВ; б — 1СКРУ, пласт III и г.; 1 — линия регрессии при пропорциональном регулировании; 2 — то же, при фактическом; 3 и 4 — эмпирическое распределение мощности электродвигателей

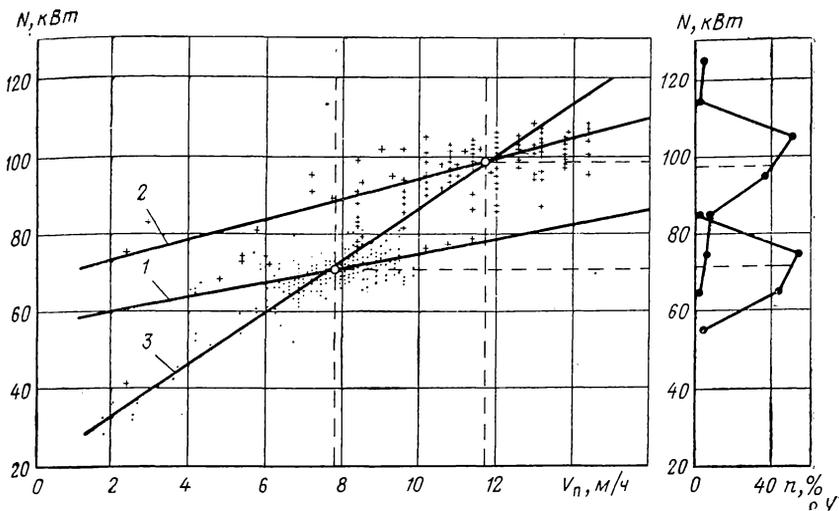


Рис. 4.2.3. Совмещенный паспорт режима работы комбайнов «Урал 10КС» на 1СГРУ, пласт II к. г.:

1 — линия регрессии при фактическом регулировании для комбайна № 2 ($V_{II} = 7,84$ м/ч, $N = 71,5$ кВт); 2 — то же, для комбайна № 7 ($V_{II} = 11,6$ м/ч, $N = 98,5$ кВт); 3 — линия регрессии при пропорциональном регулировании

В качестве вспомогательного критерия интенсивности регулирования могут быть также приняты отношения средних квадратических отклонений потребляемой мощности и скорости подачи (табл. 4.2.4).

Исходя из выражения (3.3.4), определяющего уровень устойчивой мощности и учитывая (4.2.18), можно сделать вывод, что в соответствующих условиях есть смысл применять автоматическое регулирование. В табл. 4.2.5 приведены показатели режима для ручного и автоматического управлений.

Благодаря использованию показателей регулирования при анализе электрических измерений исключаются неправильные сравнительные оценки, определяемые различными свойствами забоя или интенсивностью регулирования. Для получения срав-

Т а б л и ц а 4.2.4

Объединение	Критерии регулирования кВт·ч/м		Относительное изменение интенсивности регулирования (режим I к режиму II)
	Режим I, σ'_1/σ'_V	Режим II, σ_1/σ_V	
«Уралкалий»	24,4	18,2	1,35
«Белорускалий»	13,5	8,4	1,60

Объединение	Регулирование					
	Ручное			Автоматическое		
	Угол β , градус	r_{VA}	ξ_{α}	Угол β , градус	r_{VA}	ξ_{α}
«Урал-калий»	35	0,5	14,5	3—5	0,98	1,5
«Белорус-калий»	15	0,8	4,2			

нительной характеристики машин могут быть надежно установлены техническая производительность комбайна Q_k и удельные энергозатраты H_w при $A_p = A_{\phi}$ и $N = N_{уст}$ и их производные. При этом в качестве базовых величин следует принимать полученные при измерениях математические ожидания \bar{N} и \bar{V}_n , т. е. координаты средней точки паспорта режима.

4.3. Технические показатели применения комбайнов

Техническая производительность определялась для приведенных (базовых) значений показателя сопротивляемости $A_p = A_{\phi}$ (370 кгс/см для Старобинского и 450 кгс/см для Верхнекамского месторождений).

В табл. 4.3.1 приведены данные, характеризующие производительность комбайнов и соответствующие ей значения удельных показателей H_w и $L_{уд}$. При анализе данных следует иметь в виду, что они получены при одинаковых загрузке установленных двигателей и величине сопротивляемости забоя, т. е. отражают лишь технические качества сравниваемых машин. Для зарубежных машин, разрушающих забой по щелевой схеме, на которых не выполнялись электрические измерения, в качестве аналога для определения параметров уравнения линии регрессии $N = f(V_n)$ приняты результаты измерений по комбайну ПК-8 с аналогичной схемой разрушения забоя. При этом, принимая во внимание относительно небольшую разницу в удельном числе резцов в контакте с забоем по машинам этого класса (8—11 на 1 м²), характеристики линии регрессии определялись с учетом только изменения площади исполнительных органов по отношению к принятому аналогу.

На рис. 4.3.1 показаны зависимости удельного пути резания от энерговооруженности исполнительных органов и производительности комбайнов. Анализ полученных данных показал, что щелевые схемы разрушения забоя по сравнению со сплошной схемой характеризуются прежде всего значительно большим путем

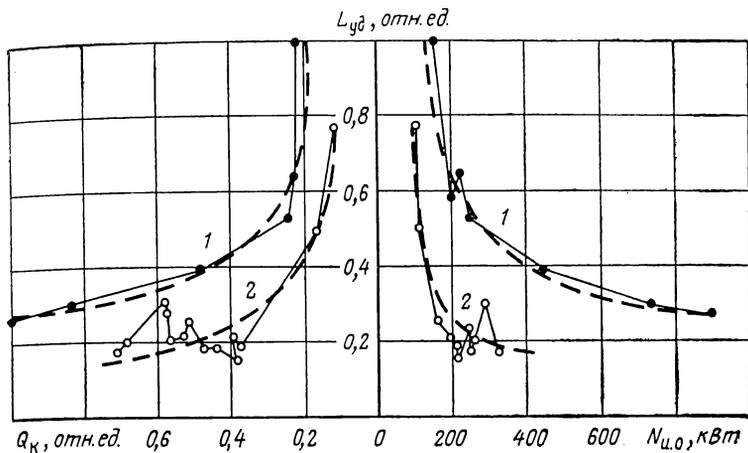


Рис. 4.3.1. Зависимость удельного пути резания от энерговооруженности исполнительных органов и производительности комбайнов:
 1 — бурскальвающих; 2 — буровых, планетарно-дисковых

резания и, следовательно, меньшими сечениями срезов и увеличенными энергозатратами. Поэтому производительность однотипных машин (ПК-8, ПК-10) при переходе на сплошную схему значительно возрастает. На планетарно-дисковых или буровых органах сплошного разрушения комбайнов ПК-8 и типа «Урал» с энерговооруженностью 220—320 кВт удалось примерно на 30% снизить удельный путь резания по отношению к наиболее производительным аналогам американского производства. Значит, обеспечение рациональных параметров разрушения забоя при сплошных схемах решается более экономично.

Преимущества исполнительных органов сплошного разрушения более четко проявляются при анализе зависимости $H_w = f(L_{уд})$, приведенной на рис. 4.3.2. Для удобства сравнения двух типов исполнительных органов значения H_w и $L_{уд}$ представлены в относительных единицах по отношению к $L_{уд}$ и H_w на центральном органе ПК-10. Из данных видно, что практически стабилизация энергозатрат наступает при значении $L_{уд} = 0,3 \div 0,4$ от исходной, т. е. при 1—1,5 км/м³ и сечении срезов 7—10 см². Абсолютные значения минимальных энергозатрат составили 0,95—1,1 кВт·ч/т при $A_p = 370$ кгс/см и 1,2—1,3 кВт·ч/т при $A_p = 450$ кгс/см. Дальнейшее снижение удельного пути резания при разрушении калийных руд с точки зрения увеличения производительности при заданной мощности привода нерационально, хотя может быть полезным для сокращения расхода резов или улучшения фракционного состава руды.

В пределах установленного рационального минимума $L_{уд}$ энергозатраты по исполнительным органам различных машин

Таблица 4.3.1

Сопровляющая АЭС/СМ	Тип исполнительного органа	Комбайн, положение и. о.	Сечение, м ²		N = a + bV, кВт	N _{уст.} , кВт	Показатели режима			
			и. о.	комбайна			V _{п.} , м/ч	Q _{и.о.} , т/ч	Q _{к.} , т/ч	$\frac{H_{в.к.в.ч.}}{H_{к.в.ч.}}$
370	Бурскальвающий	«Гудмен 426» ПК-10 Л + П ц. б.	8	8	35 + 21,0	220	8,8	148	1,5	3,0
			6,04	12,8	30 + 16,8	176	8,8	235	1,6	3,4
			5,23		22 + 25,8	143	4,7	126	2,7	5,8
			8	9	30 + 20,4	176	7,1	135	1,47	3,7
			8	8	35 + 21,0	400	17,4	290	1,4	2,3
			16	16	35 + 42,0	660	15,0	500	1,32	1,75
			17	17	35 + 45,0	790	17,0	600	1,32	1,55
			6,04	12,8	30 + 12,7	214	14,5	185	1,15	1,2
			5,23		22 + 13,8	170	10,7	147	1,45	1,5
			8	9	30 + 16,1	214	11,4	192	0,98	1,1
7,1	8	30 + 14,9	214	12,3	185	1,02	1,0			
Планетарно-дисковый	Буровой	«Караганда 7/15С» То же «Караганда 7/15М» «Урал 20КС» № 1 П Л «Урал 20КС» № 2 П	9,6	10	15 + 27,0	107	3,4	71	1,57	4,1
			9,6	17	15 + 34,0	107	2,7	94	1,14	2,9
			9,6	17	30 + 30,0	214	6,2	215	0,98	1,3
			9,5	20,2	22 + 15,4	137	7,5	150	0,91	1,8
					22 + 16,5		7,0	140	0,98	1,9
			8,2	17,9	22 + 13,7	170	10,8	186	0,91	1,06

Бурскельвающий	«Урал 10КС» Л + П	7,8	8,9	30 + 16,6	276	14,8	240	280	1,15	1,07
	№ 2 Л	3,9		15 + 8,5		14,5	120	270	1,15	1,1
	№ 7 П		9,8	15 + 8,1	138	15,2	144	340	0,96	1,3
	№ 6 П	4,5		15 + 8,3		14,8	140	305	0,99	1,35
	«Гудмен 426»	8	8	35 + 28	190	5,5	92	92	2,07	5,0
	ПК-10 Л + П	6,04	42,8	30 + 22,5	152	5,5	74	150	2,06	5,5
Буровой	ц. б.	5,2		22 + 32,8	122	3,0	33	85	3,7	9,3
	ПК-8	8	9	30 + 27,9	152	4,4	74	85	2,05	6,0
	«Маркетта 780А»	8	8	35 + 28	340	11	185	185	1,85	3,6
	«Гудмен 526»	16	16	35 + 56	560	9,5	320	320	1,75	2,8
	«Маркетта 1012 АСД»	17	17	35 + 60	670	10,5	370	370	1,82	2,5
	ПК-10 Л + П	6,04	12,8	30 + 16,3	194	10,0	127	270	1,53	1,78
Планетарно-дисковый	ц. б.	5,2		22 + 19,6	154	6,7	73	197	2,08	2,45
	ПК-8 № 30	8,0	9,0	30 + 21,5	194	7,6	127	145	1,52	1,65
	№ 92	7,1	8,0	30 + 18,5	194	8,9	132	150	1,45	1,4
	«Караганда 7/15С»	9,6	10	15 + 34,7	97	2,35	47	50	2,05	6,0
	То же	9,6	17	15 + 45	97	1,83	64	65	1,5	4,4
	«Караганда 7/15М»	9,6	17	22 + 40	194	4,3	150	155	1,23	4,9
«Урал 10КС» № 1 П	№ 1 П	9,5	20,2	22 + 18,8	124	5,4	108	230	1,45	2,5
	Л			22 + 21,9		4,7	94	200	1,32	2,8
	№ 2 П	8,2	17,9	22 + 18,2	154	7,2	123	270	1,25	1,6
	«Урал 10КС» № 2 Л + П	7,8	8,9	30 + 22,4	242	9,4	154	175	1,57	1,7
	Л	3,9		15 + 11,5	121	9,2	75	172	1,6	1,72
	№ 7 П	4,5	9,8	15 + 10,9	121	9,7	92	200	1,3	2,06
№ 6 П	4,5	9,8	15 + 10,0	121	10,6	100	220	1,2	1,9	

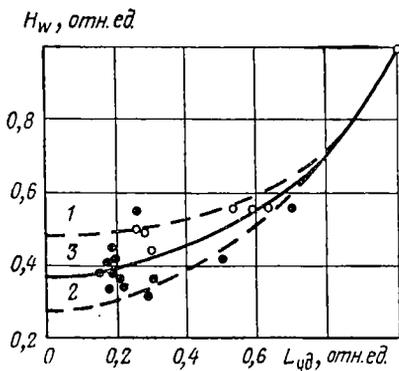


Рис. 4.3.2. Зависимость энергозатрат от удельного пути резания резов и. о. комбайнов:

1 — бурокальвающих (O); 2 — буровых, планетарно-дисковых (●); 3 — в среднем

например условиями погрузки или вредными потерями при работе исполнительных органов.

В табл. 4.3.2 приведена производительность Q_k каждого типа комбайна с учетом ограничений по использованию привода.

Таблица 4.3.2

Рабочий цикл комбайна	Напряжение, кВт	Высота выработки, м	Комбайн	Производительность (т/ч) при A_p , кгс/см		
				370	450	Отн. ед.
Непрерывный	0,7—3,7	1,9—2,6	«Гудмен 426»	150	95	0,49
			«Урал 10КС»	300	200	1
			«Караганда 7/15С» (10 м ²)	70	50	0,18
	2,9—3,7	«Караганда 7/15С» (17 м ²)	100	65	0,25	
		«Караганда 7/15М»	220	155	0,56	
		ПК-8	220	150	0,56	
		ПК-10	290	200	0,74	
		«Урал 20КС»	400	270	1	
	3—4,1	2,4—3,7	«Мариетта 780А»	290	185	0,49
			«Гудмен 526»	500	320	0,84
«Мариетта 1012 АСД»			600	370	1	
Циклический	0,7—1,1	1,3—5	ПК-11	80	—	0,26
			2КСК	160	—	0,32
			ПКЦ (0,7 кв)	220	170	0,7
			ПКЦ (1,1 кв)	310	240	1
			«Мариетта 3080»	310	240	1

Причем по комбайнам ПК-8 и ПК-10 производительность дапа только при сплошной схеме разрушения забоя. По комбайнам циклического действия приведены расчетные данные по методике, изложенной в п. 4.5.

Техническая производительность при разном базовом уровне сопротивляемости неодинакова и в среднем составляет $Q_{к_{370}} \approx 1,47Q_{к_{450}}$. Это вызвано в основном различием в базовом уровне сопротивляемости $\frac{450}{370} = 1,25$ и изменением нагрузочных характеристик привода из-за влияния изменчивости свойств пласта $N_{уст_{370}} : N_{уст_{450}} = 1,14$. Величины Q_k даже в пределах каждой группы комбайнов по вынимаемой мощности значительно различаются. Например, в группе с высотой выработки 2,9—3,7 м техническая производительность отличается более чем в 5 раз.

Наиболее полное представление о свойствах исполнительных органов дает анализ значений энергозатрат при фиксированных значениях $L_{уд}$ или параметрах разрушения забоя. Используя данные о некоторых особенностях исполнительных органов, можно оценить совместное влияние дополнительных площадей трения и оконтуривающих резцов, применяемых на комбайнах с буровым или бурошелевым исполнительным органом (см. табл. 2.1.8). В табл. 4.3.3 приведены результаты такого анализа. Расчет выполнен для двух уровней показателя сопротивляемости. За базу определения относительных значений H_w приняты энергозатраты по комбайнам «Урал 10КС» (H_w базовое при A_p , равно 370 и 450 кгс/см, соответственно равно 1,01 и 1,31 кВт·ч/т).

Анализ показал, что относительные значения $H_{w_{отн}}$ практически не зависят от величины показателя сопротивляемости или принятых в расчете значений $L_{уд}$, а полностью определяются коэффициентом непроизводительных затрат энергии $K_{н.з}$. Следовательно, относительные значения $H_{w_{отн}}$ прямо зависят от удельной величины площадей трения или числа оконтуривающих рабочий орган резцов, в той или иной степени свойственных буровым или бурошелевым исполнительным органам. Связь между $H_{w_{отн}}$ и коэффициентом $K_{н.з}$ (рис. 4.3.3) аппроксимируется выражением

$$H_{w_{отн}} = 1 + 0,95K_{н.з}, \quad (4.3.1)$$

где за относительный максимум $K_{н.з}$ приняты относительная величина площадей трения и число резцов на комбайне ПК-10 с бурошелевым органом.

В порядке убывания непроизводительных затрат энергии комбайны по величине $H_{w_{отн}}$ располагаются так: ПК-10 со шелевым органом, ПК-10 с буровым органом сплошного разрушения, ПК-8 со шелевым органом и ПК-8 с буровым органом сплошного разрушения, комбайны «Урал 20» и «Урал 10» с планетарно-дисковыми исполнительными органами. Разница в относительных энергозатратах между центральным и боковыми бурами комбайна

Таблица 4.3.3

Сопротивляемость, кгс/см	Способ разрушения забоя	Комбайн, положение и. о.	Показатели режима при $L_{уд}$, км/м ³						Коэффициент непроиз- водительных затрат энергии $K_{н.з}$ (табл. 2.1.8)
			2			6			
			$V_{п}$, м/ч	H_w		$V_{п}$, м/ч	H_w		
				кВт. ч/т	отн. ед.		кВт. ч/т	отн. ед.	
370	Щеле- вое	ПК-10 ц. б.	13,9	2,5	2,48	4,6	2,76	2,1	1,0 0,55
		б. б.	15,0	1,53	1,51	5,0	1,81	1,39	
		по и. о. *	14,5	1,96	1,95	4,8	3,2	1,68	
		ПК-8	13,2	1,52	1,5	4,36	1,8	1,38	
	С по- верх- ности	ПК-10 ц. б.	8,2	1,45	1,44	2,74	1,9	1,45	0,38 0,29
		б. б.	8,9	1,28	1,27	2,97	1,79	1,37	
		по и. о. *	8,5	1,36	1,35	2,8	1,85	1,42	
		ПК-8	6,25	1,31	1,29	2,1	1,74	1,33	
		«Урал 20КС»	6,65	1,0	1,0	2,2	1,31	1,0	
			5,8	1,02	1,0	1,93	1,45	1,1	
		«Урал 10КС»	7,9	1,09	1,08	2,64	1,52	1,16	
			10	1,01	1,0	3,33	1,31	1,0	
Щеле- вое	ПК-10 ц. б.	13,9	3,1	2,56	4,6	3,4	2,26	1,0	
	б. б.	15	1,9	1,58	5,0	2,22	1,48		
	по и. о. *	14,5	2,46	2,05	4,8	2,86	1,9		
	ПК-8	13,2	1,82	1,51	4,36	2,08	1,39		
450	С по- верх- ности	ПК-10 ц. б.	8,2	2,04	1,69	2,74	2,54	1,7	0,38 0,29
		б. б.	8,9	1,56	1,29	2,97	2,05	1,37	
		по и. о. *	8,5	1,79	1,48	2,8	2,3	1,52	
		ПК-8	6,25	1,57	1,3	2,1	1,9	1,28	
		«Урал 20КС»	6,65	1,25	1,03	2,22	1,58	1,05	
			5,8	1,27	1,05	1,93	1,72	1,15	
		«Урал 10КС»	7,9	1,4	1,16	2,64	1,8	1,2	
			10,0	1,21	1,0	3,33	1,5	1,0	

* Средневзвешенные показатели режима по и. о. в целом (ц. б. + б. б.)

ПК-10 любого исполнения связана с различными условиями их работы, определяемыми расстоянием забоя от органа погрузки.

Преимуществом комбайнов с планетарно-дисковыми исполнительными органами следует считать незначительные непроизводительные затраты энергии, непосредственно не связанные с процессом разрушения забоя. Аналогичный уровень потерь будет иметь место также и на барабанных или шнековых исполнительных органах с горизонтальной осью вращения, у которых отсутствуют рабочие элементы, способствующие появлению дополнительных сопротивлений. По возможности достижения рациональных параметров разрушения калийной руды, т. е. $L_{уд} = 1 \div 2$ км/м³

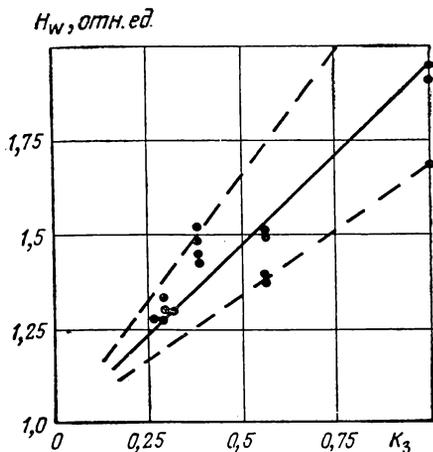


Рис. 4.3.3. Зависимость H_w отн от коэффициента непроизводительных затрат K_3

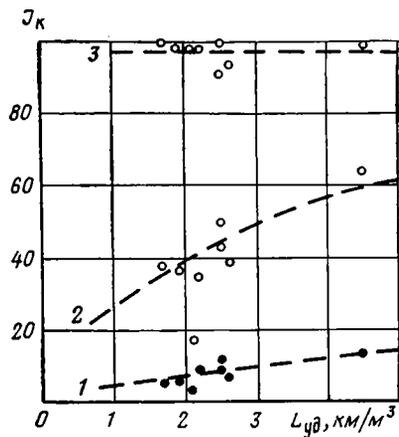


Рис. 4.3.4. Зависимость сортности J_k от $L_{уд}$ по классам (мм):
1 — 0,25; 2 — 5; 3 — 50

и $S_h = 5 \div 10$ см², исполнительные органы всех рассмотренных типов примерно равноценны. Немаловажным преимуществом планетарно-дисковых или барабанных (шнековых) и. о. является и более активная погрузка горной массы из призабойного пространства на погрузочные органы комбайнов, благодаря чему работа комбайнов с такими исполнительными органами от угла наклона ($\pm 15^\circ$) проходимых выработок зависит мало.

Величина $L_{уд}$ непосредственно связана с параметрами разрушения забоя, обусловленными конструктивными, кинематическими и режимными особенностями исполнительных органов комбайнов.

С другой стороны, параметры разрушения забоя находятся в прямой связи с сортностью добываемой руды, которая, кроме того, определенным образом влияет на эффективность процесса ее обогащения. Например, руда класса $< 0,25$ мм относится к труднообогатимым, ее флотация связана с большим расходом дорогостоящего реагента и значительная ее часть теряется в процессе обогащения. Однако связи параметров разрушения с сортностью добываемой руды изучены мало и рекомендации по улучшению фракционного состава весьма неопределенны.

В табл. 4.3.4 приведены данные по выходу основных классов руды J_k при работе комбайнов бурового типа, разрушающих забой с поверхности. Указанная здесь величина $L_{уд}$ рассчитана по данным табл. 2.1.6.

Для удобства анализа данные таблицы представлены на рис. 4.3.4 в виде зависимостей сортности руды J_k от $L_{уд}$.

При сплошной схеме разрушения забоя комбайнами типа «Урал» выход руды класса +50 мм, требующей дробления,

Месторождение	Комбайн	V _п , м/ч	L _{уд} , км/м ³	Выход классов, %			
				-0,25	-5	-10	-50
Верхнекамское	«Урал 20КС» № 1	3,0	4,5	13,3	64,3	88,8	99,5
	«Урал 20КС» № 1	5,4	2,5	12,0	49,8	78,6	100
	«Урал 20КС» № 2	6,7	1,7	5,2	38,3	61,7	100
	«Урал 10КС» № 6	5,2	2,2	8,9	35,0	60,0	98,0
Старобинское	«Урал 10КС» № 7	9,5	2,1	2,7	17,3	30,5	98,6
	«Урал 10КС» № 2	8,5	1,9	6,4	35,1	61,3	98,0
	ПК-8	5,0	2,5	9,2	42,8	54,5	91,3
	ШБМ	4,8	2,6	7,7	39,5	55,3	94,1
	ПК-10	—	—	11,7	—	11	99,7

независимо от величины $L_{уд}$ практически отсутствовал. Для исполнительных органов рассматриваемых типов имеют место общие, относительно тесные связи между сортностью руды и $L_{уд}$. Установленные зависимости могут быть приближенно аппроксимированы следующими выражениями:

для класса — 0,25 мм

$$J_k = 100 \frac{L_{уд}}{L_{уд} + 32} + 1,2; \quad (4.3.2)$$

для класса — 5 мм

$$J_k = 100 \frac{L_{уд}}{L_{уд} + 4,2} + 7. \quad (4.3.3)$$

Следовательно, для снижения выхода мелких классов следует стремиться к всемерному сокращению $L_{уд}$. В то же время из данных табл. 4.3.1 следует, что даже при полном использовании электропривода исполнительных органов существующих типов комбайнов минимальный путь резания составляет около 1,5—1,9 км/м³ при $A_p = 450$ кгс/см. Поэтому значительный интерес представляют комбайны циклического действия с упрощенным рабочим циклом, позволяющие сократить удельный путь резания до 1,0—1,2 км/м³. Необходимо обратить внимание на недостаточную представительность результатов трудоемких ситовых анализов руды, выполняемых без одновременного определения скорости подачи комбайна.

С помощью уточненных данных по Q_k и весовых характеристик для комбайнов различного исполнения можно проанализировать зависимости $G_k = f(Q_k)$ и $Q_k/G_k = f(N_{и.о})$. Рассмотрение показателя $Q_k/G_k \left(\frac{\tau/\text{ч}}{\text{т. массы}} \right)$, непосредственно характеризующего рациональность сочетания основных технических показателей и оказывающего значительное влияние на цену комбайнов, наиболее важно.

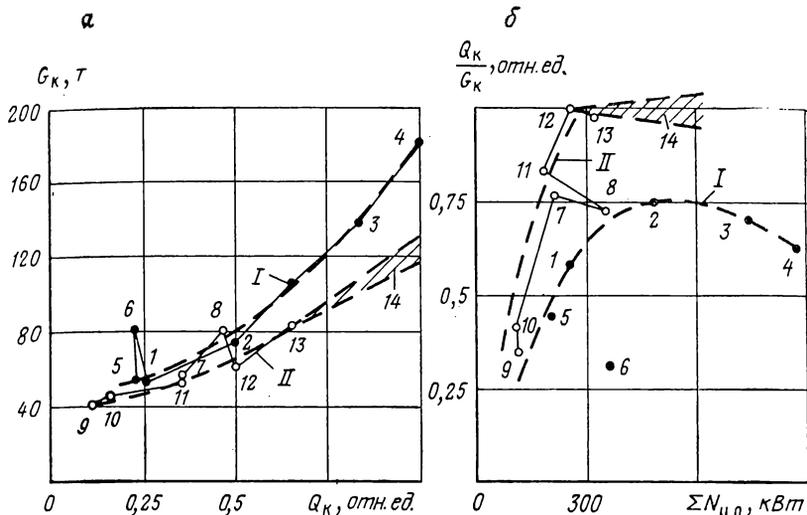


Рис. 4.3.5. Зависимость массы комбайнов от относительной производительности (а) и удельной производительности от энерговооруженности и о. комбайнов (б):

I — комбайны буроскалывающие: 1 — «Гудмен 426»; 2 — «Мариетта 780А»; 3 — «Гудмен 526»; 4 — «Мариетта 1012 АСД»; 5 — ПК-8; 6 — ПК-10; II — комбайны буровые, планетарно-дисковые поверхности: 7 — ПК-8; 8 — ПК-10; 9 — «Караганда 7/15С» (10м²); 10 — «Караганда 7/15С» (17 м²); 11 — «Караганда 7/15М» (17 м²); 12 — «Урал 10КС»; 13 — «Урал 20КС»; 14 — зоны расчетных значений

Для большей наглядности и исключения влияния сопротивления забоя показатели Q_k и Q_k/G_k целесообразно рассматривать выраженными в относительных единицах по отношению к их максимальным значениям (600 т/ч и $5,0 \frac{\text{т/ч}}{\text{т} \cdot \text{массы}}$ при $A_p = 370 \text{ кгс/см}$). Результаты такого анализа приведены на рис. 4.3.5. Из-за отсутствия экспериментальных данных по комбайнам, разрушающим забой с поверхности при $N_{и.о} > 320 \div 360 \text{ кВт}$, на рисунке показаны зоны вероятных значений Q_k и G_k или их производных. Границы определены расчетным путем для уровня энергозатрат $0,9-1,13 \text{ кВт} \cdot \text{ч/т}$ при $A_p = 370 \text{ кгс/см}$ и $1,03-1,25 \text{ кВт} \cdot \text{ч/т}$ при $A_p = 450 \text{ кгс/см}$, установленного при работе планетарно-дисковых исполнительных органов.

Следует обратить внимание, что рассматриваемые связи для буросцелевых органов в целом менее благоприятны, чем для комбайнов сплошного разрушения забоя. Разница наиболее четко проявляется у зависимости $Q_k/G_k = f(N_{и.о})$. Из кривой видно, что относительные значения Q_k/G_k у комбайнов сплошного разрушения забоя с ростом энерговооруженности нарастают значительно быстрее, а порог стабилизации наступает при меньших значениях энерговооруженности исполнительных органов. При этом максимальные значения Q_k/G_k у комбайнов сплошного разрушения забоя примерно на 30% выше, чем у сравниваемых

аналогов. Зависимость $Q_k/G_k = f(N_{и.о.})$ нелинейна и у комбайнов с бурошелевыми органами имеет достаточно четко выраженный оптимум, наступающий при $N_{и.о.} \approx 400 \div 600$ кВт. У комбайнов с органами сплошного разрушения наличие оптимума в исследованном диапазоне изменения влияющих параметров не установлено, что для комбайнов этого типа определяется меньшим углом наклона зависимости $G_k = f(Q_k)$ по сравнению с комбайнами бурошелевого типа.

Следовательно, при сплошном разрушении забоя увеличение производительности выше уже достигнутой не будет сопровождаться ухудшением показателя Q_k/G_k , как это характерно для машин с бурошелевыми органами. Вместе с тем, значительное повышение производительности комбайнов со сплошным разрушением забоя также нецелесообразно, поскольку в зоне стабильных значений Q_k/G_k затраты на приобретение нужного числа машин для выполнения заданного объема добычи будут мало зависеть от их производительности. Таким образом, при камерной выемке основной эффект от использования комбайнов с Q_k около 500 т/ч будет в основном определяться эффектом, достигаемым от концентрации работ, повышения производительности труда, снижения трудоемкости обслуживания, т. е. от организационных факторов.

4.4. Экономически выгодный уровень производительности комбайнов

Увеличение производительности комбайнов для выемки калийных руд камерами связано со значительным удорожанием машин, поэтому хотя бы в первом приближении следует определить их экономически целесообразный уровень производительности. Хотя выпускаемые и подготавливаемые к промышленному производству комбайны имеют относительно высокую производительность, в перспективе целесообразно ее дальнейшее увеличение. В то же время рациональная производительность будет недостаточно обоснованной, если при ее определении не учитывать экономических, технологических и организационных факторов и, прежде всего, уровня использования рабочего времени и стоимости применяемого оборудования. Известно, что уже в настоящее время цена комбайнов достигла 60—70% от общей цены применяемых комплексов оборудования.

Таким образом, необходимо определить «исходный эталон» по технической производительности для комбайнов, не имеющих ограничений, например по уровню питающего напряжения или габаритам выработки.

Календарную производительность комплексов рассчитывали по отраслевой методике ВНИИГ [151], используя следующие исходные данные:

техническую производительность Q_k (70—700 т/ч); грузоподъемность вагонов (10, 15 и 20 т); среднюю скорость движения

Т а б л и ц а 4.4.1

Производительность комбайна Q_k , т/ч	$K_{II} = 0,3$			$K_{II} = 0,6$			$K_{II} = 0,9$		
	$Q_{пр}$, т/сут	$Q_{эк}$, т/сут	$\frac{Q}{\text{тыс. т}}$ г	$Q_{пр}$, т/сут	$Q_{эк}$, т/сут	$\frac{Q}{\text{тыс. т}}$ г	$Q_{пр}$, т/сут	$Q_{эк}$, т/сут	$\frac{Q}{\text{тыс. т}}$ г
70	342	360	90	680	680	170	1020	972	243
100	465	480	120	927	896	224	1390	1260	314
150	648	652	163	1300	1184	296	1950	1640	410
200	882	856	214	1760	1500	375	2630	1984	496
300	1080	1020	255	2160	1776	444	3240	2340	585
400	1295	1180	296	2590	2016	504	3900	2660	664
500	1475	1320	330	2950	2132	533	4450	2820	705
600	1870	1576	394	3690	2544	636	5580	3200	800
700	2020	1684	421	4050	2688	672	6100	3340	835

Пр и м е ч а н и е. $Q_{пр}$ — производительность при проходке; $Q_{эк}$ — эксплуатационная производительность за весь цикл отработанной камеры; Q — календарная производительность.

вагона (90, 113 и 150 м/мин); длительность разгрузки вагона (1,0; 1,5; 1,5 мин); длину камеры (200 м); длину зарубки в начале цикла (15 м); сечение, выполняемое комбайном (18 м²); коэффициент использования комбайна в течение смены при проходке (0,3; 0,6; 0,9); длительность зарубки (1,5 смены); длительность отгона (3 смены); суточный состав бригады (12 человек при $Q_k \geq 120$ т/ч и 16 человек при $Q_k \geq 120$ т/ч); общее число смен в сутки (4); число рабочих смен (3); продолжительность смены (360 мин).

Результаты расчета показателей работы комплексов по этой методике с производительностью комбайнов, изменяющейся в пределах 70—700 т/ч, приведены в табл. 4.4.1.

Для возможности определения в дальнейшем величины удельных капиталовложений в табл. 4.4.2 приведены данные по удельному числу комбайнов (комплексов) различной производительности для добычи 1 млн. т руды.

Удельное число комбайнов (комплексов) от технической производительности Q_k зависит нелинейно. Независимо от уровня использования оборудования стабилизация удельного числа комбайнов наступает при $Q_k = 400 \div 500$ т/ч. Дальнейшее же увеличение Q_k приводит лишь к незначительному снижению потребного числа машин.

Для расчета элементов себестоимости добычи руды помимо эксплуатационной производительности должна быть известна цена оборудования комплекса. Согласно методике (см. гл. 2), за базу определения массы и цены комбайнов принята мощность привода их исполнительных органов. Номинальная мощность привода гипотетического ряда машин определялась для средней сопротивляемости по отрасли ($A_p = 410$ кгс/см) по выражению

Таблица 4.4.2

Q_k , т/ч	Коэффициент использования K_n					
	0,3		0,6		0,9	
	комплексов млн. т	%	комплексов млн. т	%	комплексов млн. т	%
70	11,1	100	5,9	100	4,11	100
100	8,3	75	4,46	79	3,2	80
150	6,15	55	3,38	58	2,44	60
200	4,67	42	2,66	45	2,02	49
300	3,92	35	2,25	38	1,71	41
400	3,38	31	1,98	34	1,51	38
500	3,02	27	1,88	32	1,42	34
600	2,54	23	1,57	27	1,25	30
700	2,4	22	1,5	25	1,2	29

$N_{\text{ном}} = 1,2 (41 + 31,9V_p)$ кВт, полученному с учетом данных по комбайну «Урал 20КС», который в своей группе имеет минимальные энергозатраты (см. табл. 4.3.1).

Сводные данные по цене (тыс. руб.) основного технологического оборудования комплексов приведены в табл. 4.4.3.

Эталонная производительность комбайнов $Q_{э,к}$ определялась на основе анализа изменения себестоимости руды и приведенных (или удельных) затрат в зависимости от производительности комбайнов Q_k и календарного объема добычи руды [107, 152]. Для расчета затрат использовались нормативные источники [115, 153, 154].

Таблица 4.4.3

Параметры технологического оборудования					Цена, тыс. руб.			
комбайна				вагона	ком- байна	бунке- ра-пере- груза- теля	вагона	комп- лекса
Q_k , т/ч	N_w , кВт·ч/т	$N_{\text{ном}}$, кВт	масса, т	грузо- подъем- ность, т				
70	1,47	124	53	10	100	7,8	33	140,8
100	1,28	155	57	10	108	7,8	33	148,8
150	1,15	207	67	10	127	7,8	33	167,8
200	1,07	258	75	15	142	13,6	45	200,6
300	1,01	366	94	15	197	13,6	45	255,6
400	0,96	460	110	20	232	13,6	55	300,6
500	0,93	560	126	20	320	13,6	55	388,6
600	0,92	660	142	20	340	13,6	55	408,6
700	0,91	760	158	20	380	13,6	55	448,6

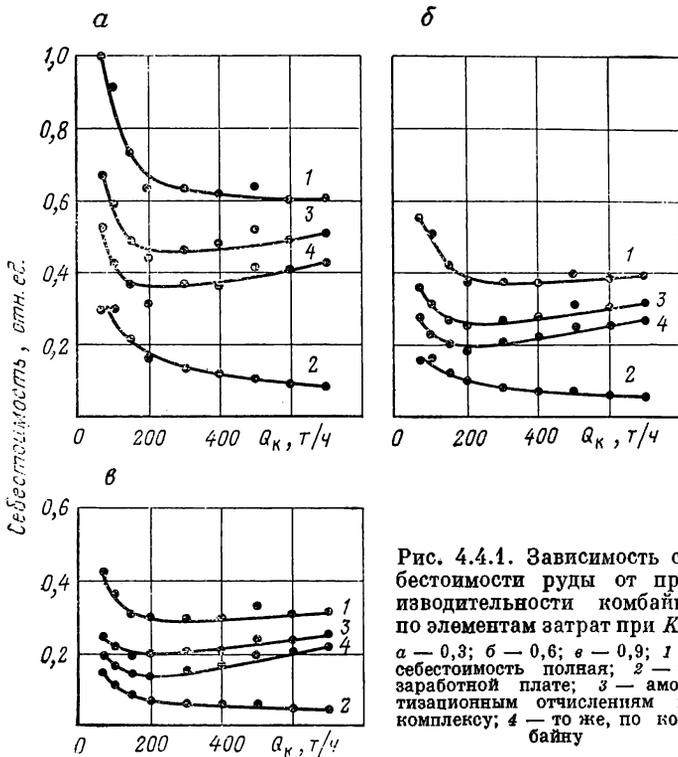


Рис. 4.4.1. Зависимость себестоимости руды от производительности комбайна по элементам затрат при K_n : а — 0,3; б — 0,6; в — 0,9; 1 — себестоимость полная; 2 — по заработной плате; 3 — амортизационным отчислениям по комплексу; 4 — то же, по комбайну

Себестоимость добычи руды C_p определялась по следующим элементам затрат: заработной плате, стоимости электроэнергии и амортизационным отчислениям.

Результаты определения себестоимости руды по элементам затрат для трех значений коэффициента использования машинного времени показаны в относительных единицах на рис. 4.4.1. Для перехода от относительных единиц себестоимости, приведенных на графике, к абсолютным за 100% принята полная себестоимость — 150 руб/100 т при производительности комбайна 70 т/ч.

Доля амортизационных отчислений по комплексу с ростом производительности комбайна от 70 до 700 т/ч в среднем для трех уровней его использования, как видно из графика, несколько снижалась и составляла 0,63—0,55. Около 80—85% амортизационных отчислений формировалось ценой комбайна. Минимум расходов по этим статьям наблюдался при $Q_k = 200 \div 400$ т/ч. Расходы по заработной плате в исследованном диапазоне непрерывно снижались. Из-за такого характера основных составляющих суммарная себестоимость резко падала, а затем при $Q_k = 300 \div 500$ т/ч наступала ее практическая стабилизация. При $Q >$

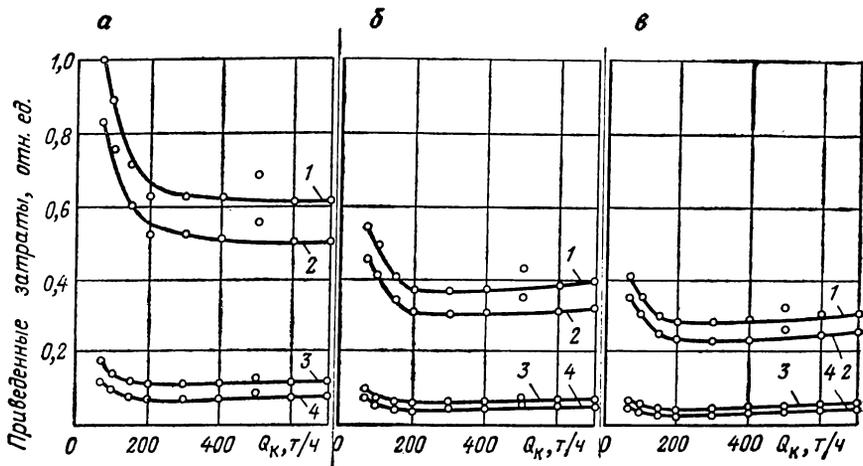


Рис. 4.4.2. Зависимость приведенных затрат от производительности комбайнов при K_n :

a — 0,3; $б$ — 0,6; $в$ — 0,9; 1 — приведенные затраты; 2 — полная себестоимость; 3 — удельные капиталовложения по комплексу; 4 — то же, по комбайну

> 200 т/ч на величину себестоимости основное влияние оказывал уровень использования оборудования во времени. Так, при увеличении K_n с 0,3 до 0,6 общая себестоимость снижалась на 40%.

Приведенные затраты по забою на добычу руды вычислялись по формуле

$$C_{пр} = C_p + K_{уд}E_n, \quad (4.4.1)$$

где C_p — себестоимость добычи руды (по рис. 4.4.1); $K_{уд}$ — удельные капиталовложения (по табл. 4.4.2 и 4.4.3); E_n — нормативный коэффициент эффективности капиталовложений в новую технику, согласно [155] равный 0,12.

Приведенные затраты на добычу руды составляют примерно $C_{пр} = 1,25C_p$. Зависимость приведенных затрат от производительности комбайна показана на рис. 4.4.2 в относительных единицах по отношению к установленным значениям C_p при $Q_k = 70$ т/ч и $K_n = 0,3$. Анализ показал, что закономерности изменения приведенных затрат качественно аналогичны установленным при анализе связей между себестоимостью и производительностью комбайнов, причем размер удельных капиталовложений с ростом производительности оборудования незначительно увеличивался по отношению к минимуму при $Q_k = 250 \div 400$ т/ч. В то же время, анализируя табл. 4.3.1 и рис. 4.4.2, следует признать, что задача определения эталонной технической производительности не имеет однозначного решения. В этом легко убедиться, рассмотрев изменение $Q_{эк}$ и приведенной себестоимости при постоянном и переменном значениях Q_k и K_n (табл. 4.4.4).

Таблица 4.4.4

Исходные данные		Достигаемые результаты по показателям	
Q_k , т/ч	K_n	$Q_{эк}$	$C_{пр}$
var (300 ÷ 600)	const (0,3)	1,54	1
	const (0,6)	1,43	1
const (300)	var (0,3 или 0,6)	1,74	0,6
	var (с 0,6 до 0,9)	1,32	0,75

Следовательно, увеличив техническую производительность комбайна вдвое, можно лишь повысить эксплуатационную производительность в зависимости от принятого уровня использования оборудования в 1,43—1,54 раза, не получив ощутимого эффекта по снижению приведенной себестоимости. В то же время, даже при уже достигнутом уровне технической производительности ($Q_k \approx 300$ т/ч), увеличив время использования оборудования с 0,3 до 0,6, т. е. вдвое по отношению к среднему достигнутому уровню [155], наряду с более значительным увеличением $Q_{э.к}$ достигается также и уменьшение приведенных затрат в пределах 40%. При дальнейшем увеличении K_n с 0,6 до 0,9 относительный эффект снижается. Более заметные результаты могут быть получены при совмещении, т. е. повышении и коэффициента K_n , и технической производительности комбайна. Повышение Q_k по отношению к уже достигнутому уровню (см. табл. 4.3.2) при сохранении коэффициента K_n , близким к 0,3, является наименее приемлемым, так как при этом не обеспечивается снижение приведенных затрат в пределах забоя.

Поэтому повысить технический уровень комбайнов и совершенствовать технологию при камерной выемке целесообразно в два последовательных этапа. На первом этапе, используя комбайны уже существующих или находящихся в стадии освоения модификаций, осуществляется совершенствование средств подземного транспорта и общего уровня управления рудниками (при коэффициенте использования K_n в среднем не ниже 0,5). В первую очередь это касается средств непрерывного транспорта, уже в настоящее время недостаточно производительных и надежных.

На втором этапе разрабатываются и внедряются более производительные комбайны. При этом целесообразно определить исходный аналог по производительности. Принимая во внимание установленные закономерности и то, что рост Q_k будет связан с некоторым сокращением общешахтных затрат, в перспективе целесообразно ориентироваться на комбайны с производительностью 500 т/ч. Эта рекомендация относится только к комбайнам, не имеющим ограничений для обеспечения необходимой энерговооруженности, что имеет

место при сечении проходимой выработки более 13 м² и уровне питающего напряжения 3 кВ или более (см. табл. 2.1.4). Необходимым условием для создания таких машин являются разработка и доведение до стадии промышленного изготовления большой номенклатуры двигателей, кабелей и пускорегулирующей аппаратуры. При использовании напряжения 0,7—1 кВ или наличии ограничений по сечению выработки (7—10 м²) следует ориентироваться на уже достигнутый уровень технической производительности (см. табл. 4.3.2) с использованием коэффициента 1,15, учитывающего возможность повышения достигнутой технической производительности благодаря внедрению средств автоматического регулирования нагрузки двигателей.

4.5. Основы методики расчета сил резания и подачи на исполнительных органах комбайнов для выемки калийных руд

На производительность горных машин кроме свойств забоя существенное влияние оказывают параметры разрушения массива исполнительными органами. Отсутствие методических основ расчета исполнительных органов комбайнов для выемки калийных руд усложняет выбор их рациональных параметров. В настоящее время оптимизация режимных параметров исполнительных органов, как правило, осуществляется на основе результатов длительных и трудоемких экспериментальных работ в шахтных условиях. Выбор же рациональных параметров на стадии проектирования или аналитическое сравнение вариантов практически решения не имеют.

Методика решения подобных задач для угольных машин, рассмотренная в основных работах [2, 3, 6, 29, 156, 157, 158], может быть применима к расчету усилий резания калийных руд с учетом их свойств.

В общем случае усилие, действующее на затупленный резец, \bar{P}_z определялось по выражению

$$\bar{P}_z = P_{z.о} + f'(y - y_0), \text{ кгс}, \quad (4.5.1)$$

где $\bar{P}_{z.о}$ — средняя сила резания на остром резце, кгс; f' — коэффициент сопротивления резанию (трения); $y - y_0$ — приращение силы подачи на затупленном резце (отжимающая сила резания), кгс.

Средняя сила резания на остром резце

$$P_{z.о} = \bar{A} \frac{0,35b_k + 0,3}{(b_k + h_{ср} \operatorname{tg} \psi_p) K_\psi} S_h K, \text{ кгс}, \quad (4.5.2)$$

где $\operatorname{tg} \psi_p$, K_ψ — соответственно тангенс и коэффициент угла бокового развала, учитывающие хрупкопластичные свойства угля. Для вязких углей K_ψ равен 0,85, для весьма хрупких — 1,15; S_h — сечение среза, см²; K — произведение эмпирических коэф-

эффициентов (в относительных единицах), учитывающих влияние обнажения забоя, угла резания, формы передней грани резца, схемы резания; b_k — ширина режущей кромки инструмента, см; h_{cp} — средняя толщина среза, см.

Сечение среза

$$S_h = th_{cp}, \text{ см}^2, \quad (4.5.3)$$

где t — шаг резания, см.

Входящие в систему «К» коэффициенты определяли на стенде с непосредственным фиксированием усилий резания. Затем после взвешивания продуктов разрушения удельные затраты энергии на исследуемых режимах вычисляли по общеизвестной формуле [6]

$$H_w = 0,0272 \frac{\bar{P}_z}{S_h}, \text{ кВт} \cdot \text{ч/т}, \quad (4.5.4)$$

где

$$S_h = \frac{G_p}{L_p \gamma}, \text{ см}^2.$$

Здесь G_p — вес продуктов разрушения, г; L_p — длина реза, см; γ — плотность, г/см³.

После H_w находили значения искомым коэффициентов, причем за базу принимали уровень энергозатрат при эталонном режиме.

Эта методология, наряду с увеличением трудоемкости эксперимента, снижает его точность, так как при сборе и взвешивании продуктов разрушения неизбежны дополнительные погрешности, особенно при определении угла ψ_p или коэффициента K_ψ . Применительно к расчету усилий резания калийных руд методология упрощается, если учет хрупкопластичных свойств осуществлять на основе определенных в п. 1,2 коэффициентов K_n и показателя сопротивляемости калийных руд с учетом их пластических свойств A_p . В этом случае коэффициенты системы «К» можно определять по усилиям резания, а учитывать хрупкопластичные свойства, используя в качестве показателя сопротивляемости резания не \bar{A} , а A_p . При этом надобность в определении $\text{tg} \psi_p$ и K_ψ вообще отпадает. Эта методология не вносит принципиальных изменений в предложенную ранее [2, 6], но позволяет значительно проще и быстрее получить необходимые расчетные коэффициенты большей точности.

С учетом изложенных соображений формула (4.5.2) для расчета исполнительных органов комбайнов для выемки калийных руд может быть представлена в виде [159]

$$P_{z.o} = A_p h_{cp}^{n_y} K_b K_\alpha K_{\frac{t-b}{h}}, \text{ кгс}, \quad (4.5.5)$$

где n_y — показатель интенсивности роста усилий, обусловливаемый увеличением периметра контакта державки резца с массивом

при $h_{\text{ср}} > 1,2$ см на породах I и II категорий (см. табл. 1.1.6); K_b , K_α , $K_{\frac{t-b}{h}}$ — коэффициенты, характеризующие изменение усилий резания по отношению к эталонному резцу прибора ДКС ($b_k = 2$ см, $\alpha = 50^\circ$).

Уравнения связи между установленными коэффициентами и соответствующими параметрами резцов и резов получились следующими:

коэффициент ширины режущей кромки

$$K_b = 0,3 + 0,35b_k; \quad (4.5.6)$$

коэффициент угла резания

$$K_\alpha = 0,55 + 0,009\alpha_p; \quad (4.5.7)$$

коэффициент обнажения забоя

$$K_{\frac{t-b}{h}} = \frac{\sqrt{36 - \left(\frac{t-b_k}{h_{\text{ср}}} - 5,4\right)^2} - 1}{5}. \quad (4.5.8)$$

Выражение (4.5.8) справедливо при $0 < (t - b_k)h \leq 5,4$.

Согласно формуле (4.5.8) стабилизация усилий практически наступает при условии $(t - b_k)/h \geq 4$.

Показатель степени n_y определяли, решая относительно него уравнение (4.6.5), с подстановкой известных величин. Средние значения показателя степени n_y для резцов И-90 и Д-6 составили соответственно 1,25 и 1,20.

Для определения усилий резания на затупленном инструменте в соответствии с [2] необходимо знать временное сопротивление одноосному сжатию $R_{\text{сж}}$ и коэффициент объемности напряженного состояния $K_{\text{об}}$. Из-за сложной структуры калийных пластов для надежного определения этих характеристик необходимы весьма длительные и трудоемкие экспериментальные работы. Поэтому определение \bar{P}_y на затупленном резце осуществлялось с помощью показателя q [148], численно равного удельному давлению на площадке затупления,

$$\bar{P}_y = \bar{P}_{y,0} + qS_{\text{зат}}, \text{ кгс}, \quad (4.5.9)$$

где $\bar{P}_{y,0}$ — усилие на технически остром резце, кгс.

Опыт эксплуатации комбайнов показал, что замена резцов Д-6 при выемке калийных руд проводилась при $S_{\text{зат}} = 20$ мм², в среднем для всего комплекта резцов, установленных на исполнительном органе. Экспериментально установлено, что при $S_{\text{зат}} = 8 \div 24$ мм среднее значение q составляет 10 кгс/мм².

Усилие на затупленном резце \bar{P}_z целесообразно выразить функцией степени затупленности

$$\bar{P}_z = \bar{P}_{z,0} K_{\text{зат}}, \text{ кгс}, \quad (4.5.10)$$

где $K_{\text{зат}}$ — коэффициент, учитывающий влияние площадки затупления.

Этот коэффициент определяется при исследовании связи между усилием \bar{P}_z и $S_{\text{зат}}$, описываемой выражением

$$\bar{P}_z = 90 + 4,32S_{\text{зат}}, \text{ кгс.} \quad (4.5.11)$$

Корреляционным анализом установлена тесная связь между исследованными величинами ($r = 0,97$) при высокой степени надежности. После подстановки в (4.5.10) значения $\bar{P}_{z,0}$

$$K_{\text{зат}} = \frac{90 + 0,432S_{\text{зат}}}{\bar{P}_z}. \quad (4.5.12)$$

Площадка затупления технически острых резцов, изменяющаяся в пределах 3—8 мм², влияла на усилие резания незначительно. Поэтому можно считать $\bar{P}_z \approx \bar{P}_{z,0} = 127$ кгс. Тогда

$$K_{\text{зат}} = 0,71 + 0,34S'_{\text{зат}}, \quad (4.5.13)$$

что справедливо при $S_{\text{зат}} \geq 8$ мм².

Связь между усилиями $\bar{P}_{z,0}$ и $\bar{P}_{y,0}$ позволила ориентировочно определять усилие подачи на одиночном инструменте

$$\bar{P}_{y,0} = 0,9\bar{P}_{z,0} - 55, \text{ кгс.} \quad (4.5.14)$$

Для проверки методики экспериментально установленную потребляемую мощность комбайнов сравнивали с рассчитанной по методике. Параметры срезов конкретных машин определяли по данным п. 2.1.3 и [99], а потребляемую мощность рассчитывали по известной формуле

$$\bar{N} = \frac{n_{zK} \bar{P}_z V_p}{102\eta}, \text{ кВт,} \quad (4.5.15)$$

где V_p — средняя скорость резания, м/с; η — к. п. д. редуктора и двигателя.

Сравнение (табл. 4.5.1) показало не только достаточную сходимость результатов средних значений параметров режима, но и необходимую точность линии регрессии (потребляемая мощность — скорость подачи) при пропорциональном регулировании.

По разработанной методике была определена возможная производительность комбайна ПКЦ на проектных стадиях создания этой машины.

В табл. 4.5.2 приведены основные показатели режимов работы при ручном управлении, устойчивой мощности и шаге резания $t = 6$ см. Устойчивая мощность принята по табл. 3.3.5.

Комбайн, исполнительный орган	Рудоуправление, пласт	A _p , кгс/см	Число резцов	
			всего	в контакте
«Урал 10КС», Л + П + Пер *	1СГРУ, П. к. г.	330	32	16
«Урал 10КС», П + Пер *	То же	330	24	12
ПК-10, б. б.	»	330	47	31
ПК-8	2БКРУ, АБ	454	40	40
«Урал 20КС»	1БКРУ, Рр. П	450	36	12

* Пер — двигатель переносного вращения.

Следует отметить, что при шаге t , равном 6 см, отношение $(t - b_k)/h$ не являлось оптимальным, поскольку при резании одиночным резцом оптимальные значения по уровню энергозатрат имели место при $(t - b_k)/h \approx 2 \div 2,5$. В то же время при заданных (конечных) размерах барабанного исполнительного органа выгоднее увеличивать шаг резания по отношению к оптимальному, сокращая тем самым общее число резцов в контакте, что иллюстрируется следующими данными при $Q_{отб} = 188$ т/ч:

$(t - b_k)/h$	t , см	n_z к	$K_{\frac{t-b}{h}}$	N , кВт	H_w , кВт·ч/т
4,1	6	19	0,57	220	1,17
2	3,3	31	0,79	368	1,96

Таблица 4.5.2

Исходные данные			Показатели режима работы и о.		
$\frac{A_p}{\sigma_p}$, кгс/см	Электродвигатель (тип, число, напряжение U , В)	$N_{уст}$, кВт	$\frac{h_{max}}{h_{cp}}$, см	Скорость качания и о. V_k , м/мин	$L_{уд}$, км/м ³
$\frac{370}{50}$	ВР-280; 2; 660	2×120	$\frac{2,1}{1,47}$	1,15	1,4
$\frac{450}{95}$		2×110	$\frac{1,6}{1,12}$	0,88	1,8
$\frac{370}{50}$	ЭКВ4-160-2; 2; 1140	2×175	$\frac{3,5^*}{2,46}$	1,93	0,8
$\frac{450}{95}$		2×160	$\frac{2,42^*}{1,7}$	1,33	1,2

* Из-за малого вылета резца Д-6 глубина среза ограничивается 2,2 см.

Таблица 4.5.4

Экспериментальные данные					Расчетные данные		
$V_{п'}$, м/ч	t , см	$h_{ср'}$, см	\bar{N} , кВт	Линия пропорционального регулирования $N = a + bV_{п}$	\bar{N} , кВт	$\frac{\bar{N}_{расч} - \bar{N}_{экспер}}{\bar{N}_{расч}}$, %	
7,84	6	0,84	159				34 + 15,8
11,7	4,7	1,25	114	20 + 8,2	134	+15	
7,42	5,1	0,82	121	30 + 12,3	112	-8	
4,6	4	0,92	129	30 + 21,5	131	+1,5	
5,46	3,6	0,64	122	22 + 18,2	132	+7,6	

На режиме работы при $(t-b_k)/h = 4,1$ увеличиваются значения $K_{t-b/h}$ на 23% по сравнению с режимом $(t-b_k)/h = 2$; в то же время сокращается число резцов в контакте на 39%, что в итоге обеспечивает снижение удельных энергозатрат на 40%.

В табл. 4.5.3 для различных условий приведена техническая производительность комбайна ПКЦ с учетом непроизводительных затрат времени на возврат исполнительного органа в исходное положение перед началом нового цикла отбойки (K_n) при скорости возврата $V_{воз} \approx 10$ м/с.

Аналогично определена техническая производительность комбайна ПК-11, для которого при $A_p = 370$ кгс/см и использовании двигателя ЭДК05-Р получены следующие эмпирические зависимости: $N = 22 + 105V_k$, кВт (V_k — в м/мин), $N = 22 + 1,05Q_{отб}$, кВт ($Q_{отб}$ — в т/ч). По этим уравнениям определены показатели режима работы комбайна: $N_{уст} = 137$ кВт, $h_{ср} = 1,14$ см, $Q_{отб} = 110$ т/ч, $V_k = 1,1$ м/мин, $L_{уд} = 1,6$ км/м³.

С учетом неустраняемых потерь времени на управление движением исполнительного органа избирательного действия [117] техническая производительность этого комбайна при $A_p = 370$ кгс/см будет $Q_k = 110 \cdot 0,75 = 82$ т/ч. Производительность, полученная расчетом, близка к полученной при испытаниях.

Таблица 4.5.3

Исходные данные		Показатели		
U , в	A_p , кгс/см	$Q_{отб}$, т/ч	K_n	Q_k , т/ч
660	370	245	0,88	210
	450	190	0,9	170
1140	370	410	0,76	310
	450	280	0,86	240

СРАВНИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА КОМБАЙНОВ
ПО ПОКАЗАТЕЛЯМ КАЧЕСТВА

Сравнительная оценка потребительских качеств комбайнов прежде всего необходима для обоснованного отбора наиболее перспективных типов комбайнов из числа существующих, разработки направлений по совершенствованию или созданию новых образцов, в большей мере удовлетворяющих требованиям промышленности, и, наконец, для определения области их рационального применения.

В настоящее время разработан ряд методов для оценки качества промышленной продукции различного назначения — посредством дифференциальных, комплексных (или обобщенных) показателей [160—169]. До недавнего времени оценку качества изделий, составной частью которых является их технический уровень, осуществляли в основном дифференциальным методом, при котором учитывали соответствие отдельных свойств изделия предъявляемым требованиям. Этим методом удобно пользоваться при сравнении показателей качества однотипных изделий между собой или с эталонными или базовыми образцами при планировании и прогнозировании уровня качества по отдельным критериям, а также при выборе оптимального уровня частных показателей при создании новых комбайнов. Однако на современном этапе возникла необходимость сравнивать качество изделий с различной номенклатурой показателей, оценивать качество вновь создаваемых принципиально новых изделий, производить по частным показателям совокупную оценку качества изделия и т. д. Это возможно лишь при оценке качества изделий с помощью комплексного показателя, объединяющего всю совокупность потребительских свойств конкретного изделия. Поэтому для установления потребительских свойств комбайнов принят метод комплексной (или обобщенной) оценки).

В связи с этим в первую очередь необходимо установить критерии оценки качества и определить их весомости.

5.1. Критерии качества и их весомости

Выбор критериев оценки производился на основе имеющегося опыта эксплуатации комбайнов, анализа технических заданий, актов испытаний и т. д., в которых формировались требования к комбайнам для камерной выемки калийных руд. Критерии вы-

бирались таким образом, чтобы их взаимная коррелированность сводилась к минимуму. При этом следует учитывать, что увеличение числа критериев сверх необходимого минимума, не дающих новых сведений о качестве машин, лишь усложняет их сравнение. В силу объективных статистических закономерностей излишнее число показателей качества ведет к сглаживанию результатов, и важные критерии по своей значимости могут приблизиться к второстепенным.

Оценка комбайнов производилась по четырем группам критериев качества: эксплуатационным, техническим, надежности и экономическим. По показателям технологичности, экономичности, эстетичности и патентно-правовым комбайны не оценивались, так как для этих групп показателей трудно найти количественные характеристики. Кроме того, с таких точек зрения все эксплуатируемые или разрабатываемые конструкции комбайнов примерно одинаковы.

Влияние отдельных групповых или частных критериев на совокупный уровень качества изделия различно, поэтому для учета этого влияния вводились безразмерные коэффициенты весомости. Числовые значения коэффициентов весомости устанавливались с помощью метода экспертных оценок, сущность которого заключается в опросе мнения опытных специалистов (экспертов) с последующей обработкой полученных от них данных [164, 167, 170]. Весомость критерия, определенная одним специалистом, является случайной величиной, которая зависит от объективных связей между отдельными факторами и особенностей мышления. Поэтому весомость критериев качества определялась опросом группы специалистов, количество которых по рекомендациям [164, 167] должно быть не менее семи.

Всего в проведении экспертизы приняли участие двадцать человек, девять из которых — работники производства и аппарата управления и одиннадцать — сотрудники научно-исследовательских и проектных организаций. Каждому эксперту была послана рабочая карта с пояснительной запиской. Эксперты не только определяли весомость предложенных критериев, но и могли дополнить их перечень. Однако от них не поступило предложений о дополнительных критериях, что свидетельствовало о полноте номенклатуры предложенных критериев.

Полученные от 16 специалистов заполненные рабочие карты математически обрабатывались методом малой выборки [54, 57]. При этом определялись статистические характеристики коэффициентов весомости групповых и частных критериев качества: математическое ожидание \bar{X} , среднее квадратическое отклонение σ , коэффициент вариации $K_{\text{вар}}$, ошибка σ_X , показатели точности ϵ_T и надежности t_n среднего значения.

В табл. 5.1.1 приведены результаты математической обработки групповых критериев качества. При расчетах групповые критерии располагались по мере убывания их весомости. Точность

Статистические характеристики оценки	Весомость групповых критериев качества															
	эксплуатационных				надежности				технических				экономических			
	X_i	$X_i - \bar{X}$	$(X_i - \bar{X})^2$	X_i	$X_i - \bar{X}$	$(X_i - \bar{X})^2$	X_i	$X_i - \bar{X}$	$(X_i - \bar{X})^2$	X_i	$X_i - \bar{X}$	$(X_i - \bar{X})^2$	X_i	$X_i - \bar{X}$	$(X_i - \bar{X})^2$	
—	0,4	0,11	0,0121	0,4	0,15	0,0225	0,1	-0,14	0,0196	0,1	-0,12	0,0144	0,1	-0,12	0,0144	
—	0,5	0,21	0,0441	0,15	-0,1	0,0100	0,1	-0,14	0,0196	0,1	-0,12	0,0144	0,25	0,03	0,0009	
—	0,23	-0,06	0,0036	0,23	0,02	0,0004	0,38	0,14	0,0196	0,38	0,14	0,0196	0,16	-0,06	0,0036	
—	0,3	0,01	0,0001	0,3	0,05	0,0025	0,25	0,04	0,0016	0,25	0,04	0,0016	0,15	-0,07	0,0049	
—	0,25	-0,04	0,0016	0,25	0	0	0,2	-0,04	0,0016	0,2	-0,04	0,0016	0,3	0,08	0,0064	
—	0,1	-0,19	0,0361	0,3	0,05	0,0025	0,4	0,16	0,0256	0,4	0,16	0,0256	0,2	0,02	0,0004	
—	0,3	0,01	0,0001	0,3	0,05	0,0025	0,3	0,04	0,0016	0,3	0,04	0,0016	0,2	-0,02	0,0004	
—	0,3	0,01	0,0001	0,3	0,05	0,0025	0,2	-0,04	0,0016	0,2	-0,04	0,0016	0,2	-0,02	0,0004	
—	0,25	-0,04	0,0016	0,3	0,05	0,0025	0,15	-0,09	0,0081	0,15	-0,09	0,0081	0,3	0,08	0,0064	
—	0,4	0,11	0,0121	0,2	-0,05	0,0025	0,2	-0,04	0,0016	0,2	-0,04	0,0016	0,2	-0,02	0,0004	
—	0,25	-0,04	0,0016	0,2	-0,05	0,0025	0,35	0,11	0,0121	0,35	0,11	0,0121	0,2	-0,02	0,0004	
—	0,2	-0,09	0,0081	0,2	-0,05	0,0025	0,2	-0,04	0,0016	0,2	-0,04	0,0016	0,4	0,02	0,0004	
—	0,3	0,01	0,0001	0,25	0	0	0,3	0,06	0,0036	0,3	0,06	0,0036	0,15	-0,07	0,0049	
—	0,3	0,01	0,0001	0,2	-0,05	0,0025	0,1	-0,14	0,0196	0,1	-0,12	0,0144	0,4	0,02	0,0004	
—	0,2	-0,09	0,0081	0,3	0,05	0,0025	0,3	0,06	0,0036	0,3	0,06	0,0036	0,2	-0,02	0,0004	
—	0,35	0,06	0,0036	0,2	-0,05	0,0025	0,3	0,06	0,0036	0,3	0,06	0,0036	0,15	-0,07	0,0049	
\bar{X}	0,29	0,29	0,0841	0,2	0,25	0,0625	0,25	0,24	0,0576	0,25	0,24	0,0576	0,22	0,22	0,0484	
σ	0,097	0,097	0,0094	0,097	0,097	0,0094	0,097	0,097	0,0094	0,097	0,097	0,0094	0,097	0,097	0,0094	
$K_{вар}$	33,4	33,4	1115,56	33,4	25,6	655,36	33,4	42,0	1764,00	33,4	42,0	1764,00	33,8	33,8	1142,44	
σ_x	0,024	0,024	0,0006	0,024	0,016	0,0003	0,024	0,025	0,0006	0,024	0,025	0,0006	0,024	0,025	0,0006	
σ_t	8,3	8,3	68,89	8,3	6,4	40,96	8,3	10,4	108,16	8,3	10,4	108,16	8,4	8,4	70,56	
t_n	12,1	12,1	146,41	12,1	15,6	243,36	12,1	9,6	92,16	12,1	9,6	92,16	11,9	11,9	141,61	

Таблица 5.1.2

Статистические характеристики оценок	Оценки групповых критериев качества			
	эксплуатационных		надежности	
	при числе экспертов			
	8	16	8	16
Среднее значение \bar{X}	0,3	0,29	0,28	0,25
Среднее квадратическое отклонение σ	0,12	0,1	0,07	0,06
Коэффициент вариации $K_{\text{вар}}$	39	33	26	26
Ошибка σ_x	0,04	0,02	0,02	0,02
Точность $\epsilon_T, \%$	13,8	8,3	9,1	6,4
Надежность t_H	7	12	11	16

и надежность критериев была достаточно высокой. Показатели точности и надежности полученных средних значений коэффициентов весомости частных критериев были также в пределах допустимых для технических расчетов.

В табл. 5.1.2 приведены данные о влиянии числа экспертов на величину весомости критериев эксплуатационных и надежности и статистические характеристики рассеивания их оценок. Для этого оценки весомости были условно разделены на две группы, содержащие мнения 8 и 16 специалистов по фамилиям экспертов, расположенных по алфавиту, т. е. случайным образом.

Следовательно, увеличение числа экспертов вдвое мало повлияло на средние значения оценок коэффициентов весомости и лишь повысило их точность и надежность. Аналогичные результаты были получены также и по другим критериям. Следовательно, при восьми экспертах вероятность получения верной экспертной оценки находилась на уровне 0,5 (табл. 5.1.2). В работах [171, 172] приведены данные, которые также могут быть использованы для определения степени риска получения неверной совокупной оценки при различной вероятности получения от эксперта правильного ответа (табл. 5.1.3).

Таблица 5.1.3

Число экспертов при вероятности p получения от них верной оценки, %					Риск получения неверной совокупной оценки, %
0,2	0,4	0,6	0,8	1,0	
17	8	4	2	1	Около 0 5 25
13	6	3	2	—	
6	3	2	—	—	

Весомость групповых критериев качества

Эксплуатационных	Надежности	Технических	Экономических
0,29	0,25	0,24	0,22
Весомость частных критериев			
<p>Стандартная производительность, тыс. т/период — 0,41</p> <p>Показатель формы выработки $V/H - 0,1$</p> <p>Область применения, %</p> <p>при $H_{пл} \approx H_{комб}$ (однослоевая) — 0,16</p> <p>при $H_{пл} \approx H_{комб}$ (двухслоевая) — 0,08</p> <p>Коэффициент селективности $K_c - 0,25$</p>	<p>Наработка до капитального ремонта, тыс. т — 0,31</p> <p>Наработка на отказ, тыс. т или ч — 0,26</p> <p>Время восстановления, ч — 0,17</p> <p>Расход запасных частей, руб/1000 т добычи — 0,13</p> <p>Показатель стандартизации (применяемости) — 0,13</p>	<p>Техническая производительность, т/ч — 0,34</p> <p>Регулировка по вынимаемой мощности H_{max}/H_{min}</p> <p>без смены деталей — 0,17 со сменой деталей — 0,06</p> <p>Удельная энергоёмкость кВт × ч/т — 0,19</p> <p>Удельная производительность, (т/ч)/т массы — 0,14</p> <p>Удельная металлоёмкость т массы/кВт — 0,1</p>	<p>Удельная цена комбайна, (тыс. руб.)/т/ч — 0,32</p> <p>Элементы расчетной себестоимости руды, руб/т:</p> <p>Полная себестоимость — 0,33</p> <p>Амортизационные отчисления — 0,22</p> <p>Заработная плата — 0,13</p>

Из табл. 5.1.3 видно, что при семнадцати экспертах риск получить неверную совокупную оценку критерия качества практически равен нулю при вероятности получения средневзвешенной верной оценки 0,2. Из сопоставления табл. 5.1.2 и 5.1.3 следует, что увеличение числа экспертов вдвое существенного изменения результата оценки не дало. Поэтому полученные оценки с участием 16 экспертов можно считать вполне надежными.

В табл. 5.1.4 приведены итоговые результаты определения номенклатуры групповых и частных критериев качества, а также их весомости, принятые в дальнейшем для оценки потребительских качеств комбайнов при камерной выемке калийных руд. Весомость показателей, характеризующих объем применения, селективность и форму выработки, довольно значительна и составляет 0,69 по группе эксплуатационных критериев. Использование для оценок комбайнов этих критериев — принципиально новый методический прием. Метод использования полученных коэффициентов весомости критериев для оценки качества конкретных комбайнов будет показан в п. 5.3.

5.2. Определение относительных показателей критериев оценки качества

Установлено, что для определения потребительских качеств комбайнов на основании результатов экспертной оценки, приведенной в предыдущем параграфе, необходимо в общей сложности использовать 20 показателей (табл. 5.1.4), абсолютные значения большей части которых (календарная и техническая производительности комбайнов, показатель форм выработки, элементы расчетной себестоимости руды, удельная цена комбайна и ряд других) были установлены ранее (см. гл. 2 и 4). Поэтому для полной сравнительной оценки комбайнов, в соответствии с разработанной и одобренной экспертами номенклатурой оценок качеств машин, необходимо дополнительно лишь установить целесообразную область применения комбайнов («объем применения») и эффективность извлечения из пласта при работе комбайнов силикатных слоев («коэффициент селективности»), а также определить относительные показатели качества по сравнению с лучшими, абсолютная величина которых приведена в гл. 2 и 4.

В основу определения рациональной области применения комбайнов принималось распределение запасов руды по диапазонам мощности* разрабатываемых пластов на Верхнекамском и Старобинском месторождениях. На рис. 5.2.1 и 5.2.2 по данным Карагандинского политехнического института показано интегральное распределение пластов по мощностям с указанием возможной области применения (в %) основных типов комбайнов при

* Под мощностью пласта подразумевается суммарная мощность слоев силиката, каменной соли и прочих прослоек, участвующих в формировании запасов.

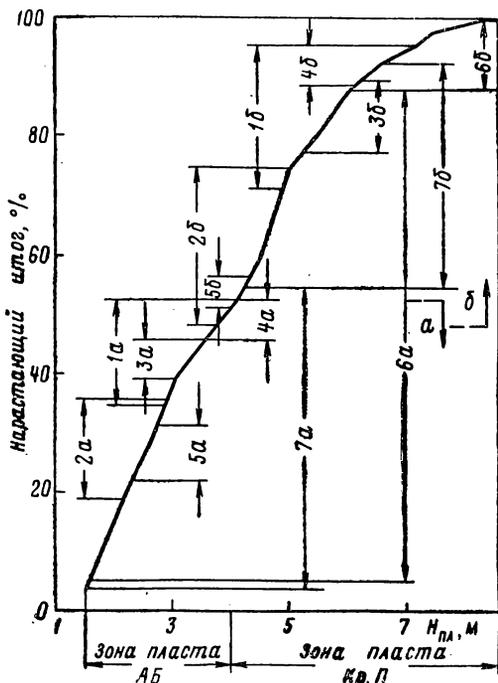


Рис. 5.2.1. Распределение запасов калийных руд в Верхнекамском месторождении по мощности пластов.

Выемка в один (а) и два (б) слоя комбайнами: 1а, 1б — «Урал 20КС»; 2а, 2б — «Урал 10КС»; 3а, 3б — ПК-8; 4а, 4б — Караганда 7/15С; 5а, 5б — «Мариятта 780А»; 6а, 6б — ПКЦ; 7а, 7б — «Мариятта 3080»

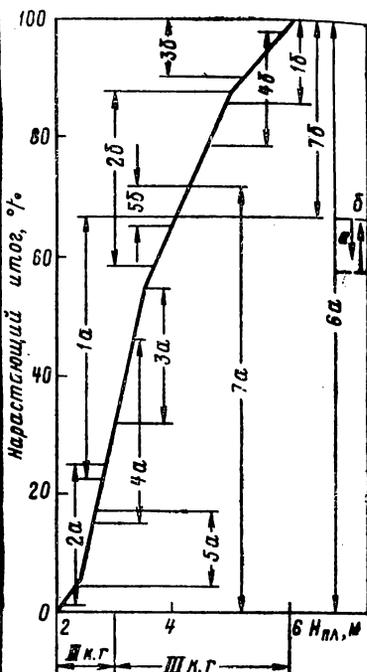


Рис. 5.2.2. Распределение запасов калийных руд в Старобинском месторождении по мощности пластов

Выемка в один (а) и два (б) слоя комбайнами: 1а, 1б — «Урал 20КС»; 2а, 2б — «Урал 10КС»; 3а, 3б — ПК-8; 4а, 4б — ПК-10; 5а, 5б — «Мариятта 780А»; 6а — ПКЦ; 7а, 7б — «Мариятта 3080»

их работе по выемке камер в один и два слоя по мощности. и в табл. 5.2.1 приведена область применения сравниваемых комбайнов и область применения (за вычетом комбайнов) аналогов по соответствующей группе. Обслуживаемая мощность пластов для комбайнов непрерывного и циклического действия принималась по данным:

Способ выемки	Машины непрерывного действия	Машины циклического действия
В один слой	$N_{абс}^I = (1 \div 1,1) N_{комб}$	$N_{абс}^I = N_{комб}$
В два слоя	$N_{абс}^{II} = 1,75 N_{абс}^I$	$N_{абс}^{II} = 1,75 N_{комб}$

Очевидно, что из машин непрерывного действия наибольшую область применения имеют комбайны «Урал 20КС» и «Урал 10КС», а из машин циклического действия — комбайн ПКЦ.

Т а б л и ц а 5.2.1

Место- рождение	Комбайн	Выемка в один слой			Выемка в два слоя		
		Обслуживаемая мощность пластов, м	Условная область применения, %		Обслуживаемая мощность пластов, м	Условная область применения, %	
			всего	за вычетом от- четственных аналогов		всего	за вычетом от- четственных аналогов
Верхне- камское	Непрерывного дей- ствия:						
	ШБМ	3—3,3	4	0	5,2—5,7	7	0
	«Урал 20КС»	2,9—4,1	18	6	4,9—7,1	24	6
	«Урал 10КС»	2,1—2,9	17	15	3,7—5,0	26	18
	ПК-8	3,0—3,5	7	0	5,2—6,2	12	0
	«Караганда 7/15С» (10м ²)	3,5—3,85	7	0	6,1—7,1	7	0
	«Караганда 7/15С», «Кара- ганда 7/15М» (17 м ²)	3,7—4,1	7	0	6,1—7,1	7	0
	«Гудмен 426»	1,9—2,6	15	0	3,3—4,5	17	0
	«Гудмен 526»	2,7—3,7	15	—	4,7—6,5	26	—
	«Мариятта 1012»	3,05—4,0	12	—	5,3—7,0	20	—
	«Мариятта 780А»	2,3—2,7	9	—	4,0—4,3	5	—
	Циклического дей- ствия:						
	ПК-11	2,3—4,5	37	0	4,0—7,9	45	0
	2РСН (ПК-13)	2,8—4,5	26	0	4,9—7,9	25	0
	ПКЦ	1,6—6	82	20	6—10,0	12	2
«Мариятта 3080»	1,3—4,3	52	—	4,3—6,6	32	—	
Старо- бинское	Непрерывного дей- ствия:						
	«Урал 20КС»	2,9—4,1	44	12	4,9—6,0	14	0
	«Урал 10КС»	2,1—2,9	23	13	3,7—5,0	29	2
	ШБМ	3,0—3,3	14	0	5,2—5,7	7	0
	ПК-8	3,0—3,5	22	0	5,2—6,0	10	0
	ПК-10	2,65—3,3	31	0	4,6—5,8	19	0
	«Гудмен 426»	1,9—2,6	15	—	3,3—4,5	30	—
	«Гудмен 526»	2,7—3,7	42	—	4,7—6,0	19	—
	«Мариятта 1012»	3,05—4,0	30	—	5,3—6,0	9	—
	«Мариятта 780А»	2,3—2,7	13	—	4,0—4,3	7	—
	Циклического дей- ствия:						
	ПК-11	2,3—4,5	72	0	4,0—6,0	35	0
	2РСН (ПК-13)	2,8—4,5	54	0	4,9—6,0	14	0
	ПКЦ	1,6—6,0	100	28	Обеспечивается вы- емкой в один слой		
	«Мариятта 3080»	1,3—4,3	71	—	4,3—6,0	34	—

Критерии качества		непрерывного							
		$H = 1,9 \div 2,6 \text{ м}$				$U = 0,7 \div 1,1 \text{ кВ}$			
		«Гудмен 426»	«Урал 10КС»	Эглон	«Каганда 7/15С» (10 м²)	ШБМ-2	«Каганда 7/15С» (17 м²)	«Каганда 7/15М»	ПК-8
Групповые	Частные								
Эксплуатационные	Календарная производительность Q_p , тыс. т/период	300	440	520	170	200	230	380	380
	Показатель формы выработки V/H	1,74	1,75	1,75	1,0	1,0	1,4	1,4	1,0
	Область применения: в один слой в два слоя	15	21	21	3,5	9,0	3,5	3,5	14
		23	28	28	3,5	7,0	3,5	3,5	11
	Коэффициент селективности K_c	1,0	0,9	1,0	0,8	0,8	0,8	0,8	0,9
Технические	Техническая производительность Q_k , т/ч	150	300	340	70	85	100	220	220
	Регулировка по вынимаемой мощности: без смены деталей со сменой деталей	1,26	1,24	1,26	—	—	—	—	—
		—	—	—	1,12	—	1,12	—	1,07
	Удельная энергоёмкость H_w , кВт·ч/т	1,5	0,96	0,9	1,57	1,45	1,14	0,98	0,98
	Удельная производительность $Q_{уд}$, т/ч/т массы	3,0	5,0	5,4	1,7	2,1	2,1	4,1	3,5
	Удельная металлоёмкость $G_{уд}$, т массы/кВт	0,25	0,24	0,24	0,36	0,32	0,41	0,24	0,28
Экономические	Удельная цена, тыс. руб/т/ч	0,83	0,62	0,56	1,24	0,82	0,87	0,44	0,57
	Элементы расчетной себестоимости руды, руб/т: полная себестоимость амортизационные отчисления зарплатная плата	0,42	0,37	0,37	0,55	0,51	0,49	0,38	0,38
		0,27	0,26	0,26	0,35	0,34	0,32	0,26	0,26
		0,12	0,08	0,07	0,17	0,16	0,15	0,09	0,09

Таблица 5.2.2

Комбайны							циклического действия					
действия							циклического действия					
$H = 2,6 \div 3,7$ м							$H = 1,6 \div 6,0$ м					
			$U = 3 \div 4,1$ кВ				$U = 0,7$ кВ			$U = 1,1$ кВ		
ПК-10	«Урал 20КС»	Эталон	«Маркетта 780А»	«Гудмен 4262»	«Маркетта 1012»	Эталон	ПК-11	2КСК	ПКЦ	ПКЦ	«Маркетта 3080»	Эталон
440	510	580	440	570	620	620	200	310	370	450	450	520
1,94	1,72	1,94	1,77	1,72	1,73	1,77	1,55	1,40	1,68	1,68'	2,2	2,2
11	31	31	11	28	21	28	55	40	91	91	61	91
9,0	20	20	6	22	14	22	40	20	6,0	6,0	33	40
1,0	0,9	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
290	400	460	290	500	600	600	80	160	210	310	310	350
1,2	—	1,2	1,14	1,26	1,2	1,26	1,96	1,6	2,5	2,5	1,65	2,5
—	1,32	1,32	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
1,3	0,91	0,85	1,4	1,32	1,32	1,3	1,24	1,24	1,1	1,0	1,0	0,91
3,6	5,0	5,5	3,9	3,7	3,3	3,9	1,3	2,0	4,1	6,9	6,9	7,9
0,23	0,25	0,23	0,17	0,19	0,2	0,17	0,4	0,28	0,2	0,14	0,15	0,14
0,62	0,44	0,38	0,62	0,65	0,57	0,57	1,58	1,22	0,55	0,38	0,38	0,38
0,37	0,38	0,37	0,37	0,37	0,38	0,37	0,51	0,41	0,38	0,37	0,37	0,37
0,26	0,28	0,26	0,26	0,29	0,3	0,26	0,34	0,26	0,26	0,26	0,26	0,26
0,08	0,07	0,07	0,08	0,06	0,06	0,06	0,16	0,11	0,09	0,07	0,07	0,07

В дальнейшем при сравнительной оценке комбайнов учитывалась суммарная область применения по отдельным месторождениям.

Коэффициент селективности K_c , получивший сравнительно высокую весомость по экспертной оценке, можно определить как отношение суммарной площади прослоек силвинита к общей площади забоя:

$$K_c = \frac{F_c}{F_k}, \quad (5.2.1)$$

где F_c — суммарная площадь силвинитовых прослоек, разрушаемых исполнительным органом комбайна, м².

В этом случае коэффициент селективности может характеризовать ущерб от использования комбайнов в нерациональной области применения. Например, рациональная область применения комбайнов ПК-8 в условиях объединения «Белорускалий» по объему добычи достигает 32% (см. табл. 5.2.1), хотя с его помощью в 1975—1976 гг. добывалось свыше 40%.

Так как рациональная область применения комбайнов ранее уже определялась с учетом некоторых ограничений по вписываемости конкретных типов машин в мощность разрабатываемых пластов (благодаря чему в значительной мере исключаются чрезмерное разубоживание или потери руды в процессе добычи), то определение коэффициента селективности можно упростить. Для этого нужно дополнительно подразделить оцениваемые группы комбайнов по степени их способности следить за меняющейся мощностью пласта в пределах установленного интервала. Эта способность может быть оценена следующими коэффициентами: 1,0 — комбайны с бесступенчатым регулированием высоты (циклического действия, отдельные типы непрерывного действия); 0,9 — комбайны непрерывного действия со ступенчатым регулированием высоты; 0,8 — комбайны непрерывного действия без регулирования по мощности пласта.

Для возможности сравнительной оценки машин на основании ранее определенных в гл. 2 и 4, а также установленных в настоящем параграфе критериев качества в табл. 5.2.2 приведены их численные значения по всем комбайнам. При определении исходных критериев качества (эталонных), связанных с производительностью комбайна, принят коэффициент, учитывающий возможность некоторого повышения этих показателей. Так как ранее было установлено явное преимущество комбайнов ПК-8 и ПК-10, оснащенных исполнительными органами бурового типа, то оценка этих машин с буровыми исполнительными органами не производилась. Не производилось сравнение и некоторых устаревших типов машин.

5.3. Оценка потребительских качеств комбайнов на основе установленных критериев

При оценке качества нельзя принимать в своих подгруппах за лучший образец какую-либо конкретную машину, так как отдельные образцы комбайнов не обладают нужным для этого сочетанием потребительских качеств. За лучший образец (эталон) в данной работе принималось синтезированное изделие с лучшими показателями качества в своей группе или подгруппе. В некоторых случаях, например по критерию производительности, вводился коэффициент, учитывающий возможность повышения уже достигнутых показателей.

С учетом этого, а также на основании табл. 5.2.2 определены относительные критерии качества (табл. 5.3.1). При их определении абсолютные величины лучших показателей качества по отдельным группам машин принимались за 100%, по сравнению с которыми устанавливались значения по другим комбайнам. Нужно также отметить, что при переводе в относительные единицы некоторых абсолютных показателей их зависимость от условий эксплуатации (в частности от сопротивляемости руд резанию) исчезает.

При определении обобщенного показателя качества оценка по критериям надежности не производилась, так как сравниваемые машины по степени освоения находятся на разных стадиях (промышленное производство, опытные партии или образцы), а по зарубежным соответствующие показатели вообще отсутствуют. Для возможности оценки машин только по трем группам критериев их относительная весомость также приравнивалась к единице.

При сравнении комбайнов для камерной выемки калийных руд их целесообразно подразделять на основные группы исходя из их функционального назначения (обслуживаемой мощности), способа работы (непрерывного или циклического действия), уровня питающего напряжения (до 1,1 кВ и свыше 3 кВ). Подразделение по уровню питающего напряжения необходимо для возможности определения его влияния на энерговооруженность (производительность) сравниваемых машин, а подразделение по обслуживаемой мощности — также и потому, что возможная энерговооруженность (производительность) прямо определяется высотой выработки.

5.3.1. Методика определения качества комбайнов по частным, групповым и обобщенным показателям

Как отмечалось, для оценки качества комбайнов принят метод комплексной, или обобщенной оценки с использованием обобщенного критерия уровня качества $K_{об}$, определяемого совокупностью групповых и частных критериев качества. Оценка

Критерии качества		непрерывного								
		$H = 1,9 \div 2,6$ м								
		$U = 0,7 \div 1,1$ кВ								
Групповые	Частные	«Гудмен 426»	«Урал 10КС»	Эталон	«Караганда 7/15С» (10 м ²)	ШБМ-2	ПК-8	«Караганда 7/15С» (17 м ²)	«Караганда 7/15М»	
Эксплуатационные	Календарная производительность Q_n , тыс. т/период	0,58	0,85	1,0	0,29	0,35	0,66	0,4	0,66	
	Показатель формы выработки V/H	0,99	1,0	1,0	0,52	0,52	0,52	0,72	0,72	
	Область применения: в один слой в два слоя		0,71	1,0	1,0	0,11	0,29	0,45	0,11	0,11
			0,82	1,0	1,0	0,18	0,35	0,55	0,18	0,18
	Коэффициент селективности K_c $J_{гр}$		1,0 0,26	0,9 0,36	1,0 0,39	0,85 0,15	0,8 0,18	0,9 0,26	0,8 0,18	0,8 0,22
Технические	Техническая производительность Q_k , т/ч	0,44	0,88	1,0	0,15	0,18	0,48	0,22	0,48	
	Регулировка по вынуждаемой мощности: без смены деталей со сменой деталей	1,0 —	0,98 —	1,0 —	— 0,85	— —	— 0,81	— 0,85	— —	
	Удельная энергоёмкость H_w , кВт·ч/т	0,6	0,94	1,0	0,54	0,59	0,87	0,75	0,87	
	Удельная производительность $Q_{уд}$, т/ч/т массы	0,56	0,93	1,0	0,31	0,38	0,64	0,38	0,75	
	Удельная металлоёмкость $G_{уд}$, т массы/кВт $J_{гр}$	0,96 0,2	1,0 0,28	1,0 0,30	0,64 0,1	0,72 0,1	0,82 0,18	0,56 0,12	0,96 0,17	
	Экономические	Удельная цена, тыс. руб/т/ч	0,67	0,9	1,0	0,31	0,46	0,67	0,44	0,86
Элементы расчетной себестоимости руды, руб/т:										
полная себестоимость		0,88	1,0	1,0	0,67	0,73	0,97	0,76	0,97	
амортизационные отчисления		0,96	1,0	1,0	0,74	0,76	1,0	0,81	1,0	
зарботная плата $J_{гр}$		0,58 0,23	0,88 0,28	1,0 0,29	0,41 0,15	0,44 0,18	0,78 0,25	0,47 0,18	0,78 0,27	
	Уровень качества комбайнов $K_{об}$	0,69	0,92	0,98	0,41	0,46	0,69	0,48	0,86	

Таблица 5.3.1

Комбайны													
действия							циклического действия						
$H = 2,6 \div 3,7$ м							$H = 1,6 \div 6$ м						
			$U = 3 \div 4,1$ кВ				$U = 0,7$ кВ			$U = 1,1$ кВ		$U = 0,7$ кВ	
ПК-10	«Урал 20КС»	Эталон	«Маркетта 780А»	«Гудмен 526»	«Маркетта 1012»	Эталон	ПК-11	2КСК	ПКЦ	ПКЦ	«Маркетта 3080»	Эталон	
0,76	0,88	1,0	0,71	0,92	1,0	1,0	0,38	0,6	0,71	0,87	0,87	1,0	
1,0	0,89	1,0	1,0	0,97	0,98	1,0	0,7	0,64	0,76	0,76	1,0	1,0	
0,36	1,0	1,0	0,39	1,0	0,75	1,0	0,6	0,44	1,0	1,0	0,67	1,0	
0,45	1,0	1,0	0,27	1,0	0,64	1,0	1,0	0,5	0,15	0,15	0,83	1,0	
1,0	0,9	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	
0,29	0,36	0,39	0,28	0,38	0,36	0,39	0,26	0,26	0,31	0,34	0,35	0,39	
0,63	0,87	1,0	0,48	0,83	1,0	1,0	0,23	0,46	0,6	0,89	0,89	1,0	
1,0	—	1,0	0,9	1,0	0,95	1,0	0,78	0,64	1,0	1,0	0,66	1,0	
—	1,0	1,0	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
0,65	0,93	1,0	0,93	0,98	0,98	1,0	0,73	0,73	0,83	0,91	0,91	1,0	
0,66	0,91	1,0	1,0	0,95	0,85	1,0	0,16	0,25	0,52	0,87	0,87	1,0	
1,0	0,92	1,0	1,0	0,89	0,85	1,0	0,35	0,5	0,7	1,0	0,93	1,0	
0,22	0,24	0,32	0,24	0,27	0,29	0,3	0,13	0,16	0,21	0,27	0,25	0,3	
0,61	0,86	1,0	1,0	0,89	0,85	1,0	0,24	0,31	0,69	1,0	1,0	1,0	
1,0	0,97	1,0	1,0	1,0	0,97	1,0	0,73	0,9	0,97	1,0	1,0	1,0	
1,0	0,93	1,0	1,0	0,9	0,87	1,0	0,76	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	
0,88	1,0	1,0	0,75	1,0	1,0	1,0	0,44	0,64	0,78	1,0	1,0	1,0	
0,25	0,27	0,29	0,28	0,27	0,26	0,29	0,16	0,2	0,25	0,29	0,29	0,29	
0,76	0,87	1,0	0,8	0,92	0,91	0,98	0,55	0,62	0,77	0,9	0,89	0,98	

по обобщенному критерию не исключает, при необходимости, сравнения качества комбайнов по отдельным входящим в него групповым или частным критериям. Уровень качества определяется сопоставлением количественных значений показателей качества оцениваемых комбайнов с показателями качества лучших образцов по частным, групповым или обобщенным показателям.

Качество по отдельно взятому частному критерию определялось из выражения

$$Q_{i.r} = \frac{P_i}{P_{i.э}} \quad (5.3.1)$$

или

$$Q'_{i.r} = \frac{P_{i.э}}{P_i}, \quad (5.3.2)$$

где P_i — частный показатель комбайна в абсолютных или относительных единицах; $P_{i.э}$ — то же, лучшего образца.

Если рост показателя связан с улучшением качества, то используется выражение (5.3.1), в противном случае — выражение (5.3.2). Например, оценка качества комбайнов по критерию календарной производительности определялась по (5.3.1), а по критерию металлоемкости — по (5.3.2).

Уровень качества по отдельным группам частных критериев определялся по выражению

$$J_{гр} = \sum_{i=1}^{n_{кр}} B_{i.r} Q_{i.r}, \quad (5.3.3)$$

где $B_{i.r}$ — коэффициент весомости i -го частного критерия качества; $Q_{i.r}$ — уровень качества i -го частного критерия; $n_{кр}$ — число частных критериев.

Обобщенный показатель уровня качества комбайнов определялся по формуле

$$K_o = \sum_{i=1}^{n_{гр}} B_i J_{i,гр} = B_{экс} J_{экс} + B_{т} J_{т} + B_{н} J_{н} + B_{экон} J_{экон}, \quad (5.3.4)$$

где $B_{экс}$ — коэффициент весомости эксплуатационных критериев; $B_{т}$ — то же, технических критериев; $B_{н}$ — то же, критериев надежности; $B_{экон}$ — то же, экономических критериев; $n_{гр}$ — число групп показателей качества; $J_{экс}$ — уровень качества по группе эксплуатационных критериев; $J_{т}$ — то же, технических критериев; $J_{н}$ — то же, критериев надежности; $J_{экон}$ — то же, экономических критериев.

5.3.2. Потребительские качества комбайнов

Поскольку требования к комбайнам систематически повышаются, представляется целесообразным установить три категории качества, зависящие от времени выпуска машин:

До 1980 г.
После 1980 г.

Высшая	Первая	Вторая
0,7—1	0,5—0,7	Менее 0,5
0,9—1	0,7—0,9	Менее 0,7

С учетом этого в табл. 5.3.2 приведены результаты определения обобщенного показателя качества комбайнов, произведено их ранжирование внутри каждой классификационной группы и указана категория качества сравниваемых машин.

Приведенные значения обобщенного показателя дают комплексную оценку потребительских свойств отдельных машин внутри каждой классификационной группы или подгруппы. Поэтому для сравнения машин из различных классификационных групп определена относительная потребительская ценность каждой из этих групп по эталонным значениям показателей качества $K_{об. эт.}$. За относительный эталон принимались максимальные значения показателя по частным или групповым критериям. Результаты сравнения приведены в табл. 5.3.3.

Таблица 5.3.2

Тип комбайна	Напряжение, кВ	Высота исполненного органа, м	Группа	Комбайн	Обобщенный показатель $K_{об}$	Категория качества до 1980 г.
Непрерывного действия	0,7—1,1	1,9—2,6	I	«Гудмен 426»	0,69	Первая Высшая
				«Урал 10КС»	0,92	
		2,6—3,7	II	«Караганда 7/15С» (10 м ²)	0,41	Вторая То же Первая Вторая
	ПК-8			0,46		
«Караганда 7/15С» (17 м ²)	0,69					
III	«Караганда 7/15М»	0,66	Первая Высшая То же			
	ПК-10	0,76				
«Урал 20КС»	0,87					
3—4,1	2,3—3,7	IIIa	«Мариятта 780А»	0,80	» » »	
			«Мариятта 1012»	0,91		
«Гудмен 526»	0,92					
Циклические	0,7	1,6—6,0	IV	ПК-11	0,55	Первая » Высшая
	2КСК (ПК-13)			0,62		
1,1	ПКЦ	«Мариятта 3080»	0,77	» »		
		ПКЦ	0,89			
				ПКЦ	0,90	»

Таблица 5.3.3

Эталонные показатели качества $J_{гр.эт}$	Классификационные признаки				
	непрерывного действия				циклические
	$H=1,9 \div 2,6$ м		$H=2,6 \div 3,7$ м		$H=1,6-6$ м
	$U=0,7 \div 1,1$ кВ			$U=3 \div 4$ кВ	
	Показатель формы выработки B/H				
	$\approx 1,8$	1,0	$\approx 1,8$	$\approx 1,8$	$U=1,1$ кВ
	Группы				
I	II	III	IIIa	IV	
Эксплуатационные	0,77	0,61	0,82	0,83	0,93
Технические	0,61	0,52	0,75	0,70	0,79
Экономические	0,88	0,88	0,98	0,89	0,98
$K_{об.эт}$	0,76	0,67	0,85	0,81	0,90

Обобщенные показатели качества в каждой из классификационных групп неодинаковы, что указывает на разную потребительскую ценность гипотетических эталонов, принятых за базу для сравнения машин в каждой из этих групп. Разница между обобщенными показателями определяется следующими особенностями.

Комбайны группы II имеют минимальное значение $K_{об.эт} = 0,67$ в основном из-за незначительного регулирования высоты со сменой деталей и ограниченной области рационального применения. Лучшим сочетанием свойств в этой группе обладает комбайн ПК-8 ($K_{об} = 0,67$), худшим — комбайн «Караганда 7/15С» с $F_k = 10$ м² ($K_{об} = 0,41$).

Комбайны группы I по величине $K_{об.эт}$ приближаются к его средним значениям ($K_{об.эт.ср} = 0,8$), что определяется прежде всего объективными ограничениями, накладываемыми высотой выработки на возможность повышения энерговооруженности исполнительных органов или применения повышенного питающего напряжения свыше 1,1 кВ (см. гл. 2). Лучшим сочетанием свойств в этой группе обладает комбайн «Урал 10КС».

Комбайны группы IIIa, несмотря на максимальные значения принятых за базу величин технической производительности, высокую энерговооруженность благодаря применению повышенного питающего напряжения и значительную условную область применения, находятся всего лишь на среднем уровне. Этот несколько неожиданный результат явился следствием использования на

машинах этой группы щелевой схемы разрушения забоя и вызванных этим невысоких значений некоторых критериев (главным образом удельных), оценивающих энергозатраты, стоимость, производительность и металлоемкость. Лучшую оценку в этой группе получили комбайны «Гудмен 526» ($K_{об} = 0,92$) и «Мариетта 1012 АСД» ($K_{от} = 0,91$).

Комбайны группы III по величине $K_{об.эт}$ приближаются к предельно возможным его значениям, что объясняется применением сплошной схемы разрушения забоя, максимально достижимой энерговооруженности при использовании напряжения 0,7 кВ и значительной условной области применения. При повышении уровня питающего напряжения и энерговооруженности исполнительных органов имеется реальная возможность обеспечения в этой группе $K_{об.эт} \approx 0,95 \div 1$. Лучшую оценку в этой группе получил комбайн «Урал 20КС» ($K_{об} = 0,87$), худшую — «Караганда 7/15С» при $F_k = 17 \text{ м}^2$ ($K_{об} = 0,48$).

Комбайны группы IV объединяют комбайны циклического действия, получившие по величине $K_{об.эт}$ высокую оценку благодаря значительной условной области применения таких машин (около 100%) и большой степени регулирования высоты без смены деталей. При определении оценки имело значение используемое напряжение — 1,1 кВ. При уменьшении напряжения до 0,7 кВ и, следовательно, эталонной производительности $K_{об.эт}$ снижается с 0,9 до примерно 0,8. Лучшую оценку в этой группе машин получили комбайны ПКЦ и «Мариетта 3080» ($K_{об} = 0,9$ и 0,89). При уменьшении питающего напряжения до 0,7 кВ и в связи с этим энерговооруженности исполнительного органа (технической производительности) уровень качества комбайна ПКЦ снижается ($K_{об} = 0,77$).

Несмотря на условность, использование метода комплексной оценки свойств комбайнов с помощью безразмерных коэффициентов качества позволило оценить свойства отдельных классификационных групп и относящихся к ним конкретных типов машин. Благодаря этому возможно ранжирование оцениваемых машин по обобщенному уровню качества практически без влияния субъективных факторов.

Кроме того, подтверждена целесообразность использования повышенного питающего напряжения для энергоснабжения комбайнов непрерывного действия с высотой исполнительных органов более 2,6 м при $V/H \approx 1,8$, а также развития работ в новом направлении по созданию комбайнов циклического действия с упрощенным рабочим циклом.

Обобщенные показатели качества позволили установить сравнительную потребительскую ценность комбайнов и их классификационных групп. Однако такой метод оценки машин не позволяет проследить за изменением во времени частных критериев качества при накоплении опыта создания машин. В этом случае необходимо пользоваться дифференциальным методом оценки

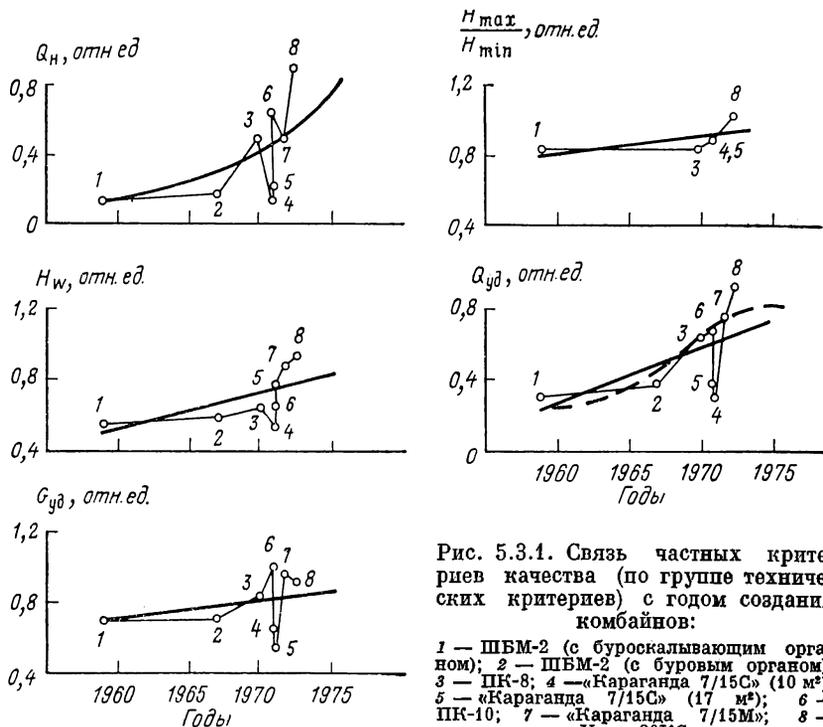


Рис. 5.3.1. Связь частных критериев качества (по группе технических критериев) с годом создания комбайнов:

1 — ШБМ-2 (с буроскалывающим органом); 2 — ШБМ-2 (с буровым органом); 3 — ПК-8; 4 — «Караганда 7/15С» (10 м²); 5 — «Караганда 7/15С» (17 м²); 6 — ПК-10; 7 — «Караганда 7/15М»; 8 — «Урал 20КС»

критериев качества комбайнов. С этой целью по данным табл. 5.3.1 были проанализированы связи между частными значениями качества комбайнов и годом их создания или модернизации. На рис. 5.3.1 показана такая связь по техническим критериям для наиболее многочисленной классификационной группы комбайнов непрерывного действия на вынимаемую мощность 2,6—3,7 м при питающем напряжении 0,7 кВ. Основные результаты корреляционного анализа приведены в табл. 5.3.4.

В диапазоне полученных экспериментальных данных связи между частными критериями качества и годом создания комбайнов (за исключением показателя Q_k) приближенно можно аппроксимировать прямолинейной зависимостью. Низкие значения коэффициентов корреляции свидетельствуют о слабой тесноте связи между отдельными параметрами, что объясняется не только недостаточным улучшением различных качеств машин, но и ограничиваемым числом экспериментальных данных, подтвержденным статистически низкой надежностью полученных зависимостей.

Расположение экспериментальных точек на графиках (см. рис. 5.3.1) свидетельствует о том, что рассматриваемые связи можно аппроксимировать и криволинейными зависимостями.

Таблица 5.3.4

Групповые	Критерии качества		Эталонные значения критериев	Зависимость $Q_{i,r} = f(n_A)$	Коэффициент корреляции
	Частные				
Эксплуатационные	Календарная производительность Q , т/период		580	$0,028n_A - 1,4$	0,55
	Показатель формы выработки B/N		1,94	$0,022n_A - 0,84$	0,53
	Область применения, %:				
	в один слой		31	$0,013n_A - 0,55$	0,19
	в два слоя		20	$0,012n_A - 0,42$	0,19
	Коэффициент селективности K_c		1,0	$0,006n_A + 0,44$	0,35
Технические	Удельная производительность $Q_{уд}$, т/ч/т массы		5,5	$0,03n_A - 1,53$	0,6
	Удельная энергоемкость H_w , кВт·ч/т		0,85	$0,02n_A - 0,69$	0,62
	Удельная металлоемкость $G_{уд}$, т массы/кВт		0,23	$0,01n_A + 0,1$	0,35
	Регулировка по вынимаемой мощности H_{max}/H_{min}		1,32	$0,009n_A + 0,24$	0,595
	Техническая производительность Q_k , т/ч		460		
Экономические	Полная себестоимость руды, руб/т		0,37	$-0,004n_A + 0,93$	-0,09
	Амортизационные отчисления, руб/т		0,26	$0,02n_A - 0,51$	0,53
	Удельная цена комбайна, тыс. руб/(т/ч)		0,38	$0,02n_A - 0,8$	0,52

Такая аппроксимация предполагает интенсивный рост частных значений качества комбайнов, в итоге превышающих по величине предельное значение критерия $Q_{i,r} = 1$ еще до года создания лучшего (эталонного) образца (предположительно в 1980 г.). Благодаря накоплению опыта создания комбайнов для калийной промышленности в период с 1970 по 1975 г. наблюдался интенсивный рост показателей их качества. В дальнейшем должно происходить снижение интенсивности роста показателей качества комбайнов и рассматриваемые связи в итоге должны быть аппроксимированы сложной криволинейной зависимостью, напоминающей интегральную кривую, нанесенную на графике $Q_{уд} = f(n_A)$ пунктиром. Однако ограниченный объем экспериментальных данных не позволяет осуществить подобную аппроксимацию. Несмотря на объективные сложности анализа, пользуясь полученными зависимостями, можно все же сделать определенные выводы.

Так, интенсивность изменения отдельных частных критериев качества комбайнов, судя по угловому коэффициенту линий регрессии, различна. Наименьшая интенсивность изменения наблюдалась по критериям, оценивающим регулировку комбайнов по вынимаемой мощности, удельной металлоемкости, области применения, коэффициенту селективности и по себестоимости руды. Следовательно, при создании комбайнов большое внимание было уделено, например, увеличению их производительности и улучшению показателей удельной энергоемкости и меньше — регулированию по вынимаемой мощности. Поэтому повысить потребительские качества комбайна можно, повысив показатели, интенсивность изменения которых во времени мала по сравнению с другими критериями качества.

5.4. Некоторые итоги оценки эксплуатационных качеств комбайнов *

В предыдущем параграфе была выполнена оценка уровня качества большой группы комбайнов, представляющих интерес для калийной промышленности. Для этого осуществлялось ранжирование сравниваемых машин по величине обобщенного коэффициента качества $K_{об}$. В настоящем параграфе сопоставлены величины $K_{об}$, характеризующие комбайны непрерывного действия, с фактическими показателями работы машин, эксплуатируемых на предприятиях объединений «Уралкалий» и «Белорускалий» в течение последних 4—11 лет. Установлена практическая ценность использованного метода оценки качества, правильность выбора номенклатуры критериев и определения их относительной весомости. При анализе за основной эксплуатационный показатель, отражающий качество машин, принята их фактическая среднемесячная производительность.

В период освоения комбайнов проходческого типа в условиях калийных рудников на эксплуатационные показатели их работы влияют две группы факторов — независимых и зависимых от времени. К первой группе относятся совершенство общей компоновочной схемы, прогрессивность ее основных параметров и соответствие их конкретным горнотехническим условиям, ко второй — уровень конструктивной доведенности отдельных, наиболее важных узлов, степень освоенности машины обслуживающим персоналом и совершенство организации работ на участке в широком смысле этого понятия. Так как вторая группа факторов во многом зависит от длительности периода освоения машины (существенно различного для разных типов), то сравнение производительности комбайнов на данный календарный период нельзя считать надежной основой для оценки машин разного исполнения. Более объективное сравнительное представление о машинах может быть

* В написании параграфа принимал участие М. Д. Любощинский,

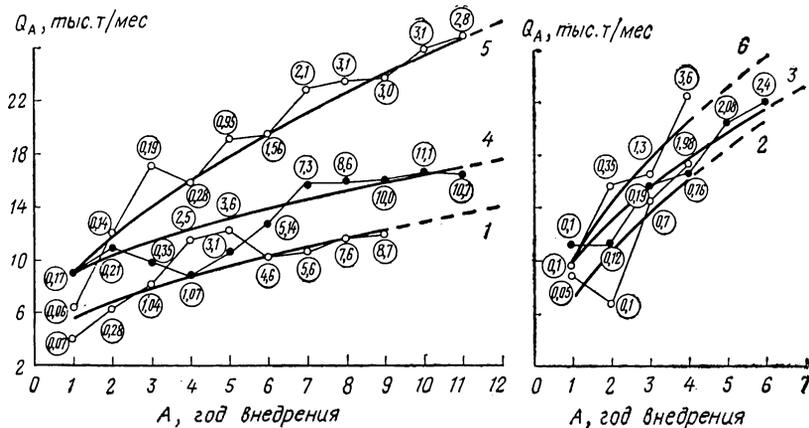


Рис. 5.4.1. Зависимость среднемесячной производительности комбайнов от года внедрения в объединении:

«Уралкалий»: 1 — ПК-8; 2 — «Урал 10КС»; 3 — «Урал 20КС»; «Белорускалий»: 4 — ПК-8; 5 — ПК-10; 6 — «Урал 10КС». В кружках обозначена добыча за год (млн. т), последний год внедрения — 1976

получено только при учете влияния фактора времени (т. е. периода, прошедшего с начала их внедрения) на показатели машин. Для этого следует принять общую для всех машин условную базу отсчета, например начало промышленных испытаний конкретной машины. В этом случае может быть учтено влияние на производительность машин первой и второй групп факторов.

На рис. 5.4.1. показаны зависимости среднемесячной производительности основных типов комбайнов непрерывного действия от года внедрения:

$$Q_A = a_q n_A^{0,67} + b_q, \text{ тыс. т/мес.} \quad (5.4.1)$$

Значения эмпирических коэффициентов a_q и b_q , входящих в выражение (5.4.1), для отдельных типов комбайнов приведены в табл. 5.4.1.

Так как теснота связи, определяемая корреляционным отношением η и его надежностью t_n , значительная, то аппроксимация процесса скорости нарастания среднемесячной производительности выражением (5.4.1) вполне правомерна.

Нарастание среднемесячной производительности определялось прежде всего величиной коэффициентов a_q и b_q , отражающих влияние факторов первой группы. Показатель степени при коэффициенте n_A для рассмотренных типов машин постоянен, что говорит о примерно одинаковом влиянии времени освоения, т. е. о влиянии факторов второй группы на величину среднемесячной производительности. Иначе, доводка и освоение рассматриваемых машин протекали примерно одинаково. Вероятным максимумом роста производительности согласно (5.4.1) является уровень эксплуата-

Таблица 5.4.1

Комбайн	Коэффициенты в формуле (5.4.1) и характеристики тесноты связи для комбайнов по объединениям							
	«Уралкалий»				«Белорускалий»			
	a_q	b_q	η_k	t_n	a_q	b_q	η_k	t_n
ПК-8	2	3,5	0,9	5,7	2,0	7	0,86	13,5
«Караганда 7/15С»	3	2,0	0,3	2,2	—	—	—	—
ПК-10	—	—	—	—	4,5	4,5	0,92	25,4
«Урал 20КС»	5	5,0	0,9	33,3	6,3 *	6,3 *	—	—
«Урал 10КС»	6	1,0	0,8	—	7,0	3,0	0,94	17,4

* Оценка.

ционной производительности, определяемой по [143] для конкретного типа комбайна с учетом возможного коэффициента использования оборудования K_n .

Поскольку коэффициенты a_q и b_q совместно, но не в одинаковой степени определяющие скорость нарастания Q_A , для рассматриваемых типов комбайнов различны, то относительная величина a_q в той или иной мере должна отражать качество этих комбайнов. Поэтому коэффициент $a_{q_{отн}}$ может быть принят для комплексной оценки степени прогрессивности общей компоновочной схемы конкретных машин и реализованных в них основных технических решений. Значения $a_{q_{отн}}$ для конкретных машин, определенные относительно осредненной суммы коэффициентов a_q и b_q , следующие:

Комбайн	$a_{q_{отн}}$
ПК-8	0,25
«Караганда 7/15С»	0,38
ПК-10	0,57
«Урал 20КС»	0,63
«Урал 10КС»	0,83

Если коэффициент $a_{q_{отн}}$ действительно может отражать свойства комбайнов, то его величина для отдельных машин должна тесно коррелировать с установленными в табл. 5.3.2 значениями обобщенного показателя качества $K_{об}$. Поскольку приведенные в табл. 5.4.1 типы комбайнов относятся к разным группам (табл. 5.3.2), то при сравнении $a_{q_{отн}}$ и $K_{об}$ необходимо также учитывать относительную потребительскую ценность этих групп по приведенной в табл. 5.3.3 величине $K_{об.гт.}$. В табл. 5.4.2 приведены результаты сравнения $a_{q_{отн}}$ и $K_{об.отн.}$

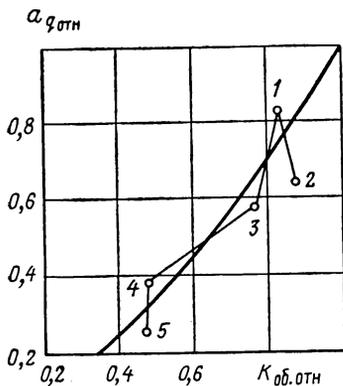


Рис. 5.4.2. Зависимость показателя интенсивности эксплуатационной производительности от обобщенного показателя уровня качества комбайнов:

1 — «Урал 10КС»; 2 — «Урал 20КС»; 3 — ПК-10; 4 — «Караганда 7/15С»; 5 — ПК-8

Корреляционный анализ между $a_{q,отн}$ и $K_{об.отн}$ (рис. 5.4.2) показал наличие между ними тесной связи, определяемой выражением

$$a_{q,отн} = K_{об.отн}^{1,5} \quad (5.4.2)$$

при $\eta = 0,9$ и $t_{н} = 10,9 > 3$.

В табл. 5.4.3 приведены данные о достигнутой среднемесячной производительности комбайнов, учитывающие срок эксплуатации с начала их внедрения.

Комбайнами типа «Урал», получившими лучшую оценку по величинам $K_{об}$ и $a_{q,отн}$, несмотря на меньший их срок работы достигнуто существенное увеличение производительности по сравне-

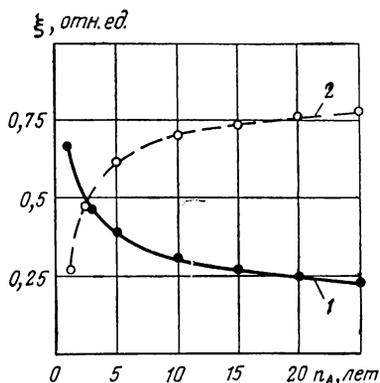


Рис. 5.4.3. Зависимость относительной интенсивности освоения комбайнов от времени эксплуатации:

1 — по средней производительности; 2 — по реализации технических возможностей

Таблица 5.4.2

Группа	Комбайн	$K_{об}$	Эталонные межгрупповые показатели		$K_{об.отн} = K_{об} J_{гр.отн}$
			$J_{гр}$	$J_{гр.отн}$	
I	«Урал 10КС»	0,92	0,76	0,9	0,83
	ПК-8	0,69	0,67	0,7	0,47
II	«Караганда 7/15С»	0,48	0,85	1,0	0,48
	ПК-10	0,76	0,85	1,0	0,76
III	«Урал 20КС»	0,87	0,85	1,0	0,87

Таблица 5.4.3

Объединение	Комбайн	Добыча руды			Время внедрения	
		Общая за пер- вые 4 года вне- дрения, млн. т	Среднемесячная на 4-м году эксплуатации, тыс. т	Среднемесячная за 1976 г., тыс. т	Длительность, лет	Начало, год
«Уралкалий»	ПК-8	3,88	10,4 **	11,9	9	1968
	«Караганда 7/15С»	4,17	13,3 **	11,2	9	1968
	«Урал 20КС»	1,17	16,8	21,2	6	1971
	«Урал 10КС»	2,84	17,3	17,3	4	1973
«Белорускалий»	ПК-8	1,8	9,5 *	16,4	11	1966
	ПК-10	0,67	15,7	27,0	11	1966
	«Урал 10КС»	5,26	22,3	22,3	4	1973

* Средняя за 1970—1972 гг.

** Средняя за 1968—1970 гг.

нию с аналогами. Комбайны типа «Урал» превосходят аналоги и по максимальным показателям. Например, в 1977 г. в объединении «Уралкалий» максимальная месячная производительность комбайна «Урал 20КС» достигла 114 тыс. т, а максимальная годовая наработка одним комбайном превысила 424 тыс. т. Эти показатели являются рекордным достижением для комбайнов непрерывного действия не только для объединения «Уралкалий», но и для отрасли в целом.

Таким образом, оценка эксплуатационных качеств (потребительских свойств) комбайнов, выполненная двумя полностью независимыми методами, базирующимися на анализе фактических показателей работы или определении уровня качества методом комплексной (обобщенной) оценки, достаточно надежна, так как подтверждена практикой. Исходя из этого метод комплексной оценки с использованием предложенной номенклатуры критериев качества (с учетом установленной их относительной весомости) может быть рекомендован для определения сравнительных показателей качества комбайнов проходческого типа. Наиболее целесообразно применение этого метода на проектных стадиях работы. Например, при отборе вариантов оптимизации параметров конструкции или других работах, когда необходимо получить комплексную оценку с позиций потребителя.

Дальнейший анализ выражения (5.4.1) может помочь установлению влияния времени на вторую группу факторов, т. е. на процесс доводки и освоения машин обслуживающим персоналом.

Для этого используется первая производная выражения (5.4.1), представленная в относительных единицах,

$$\dot{Q}_{A \text{ отн}} = \frac{dQ_A}{dt} = a'_{q \text{ отн}} \cdot 0,67 \frac{1}{n_A^{0,33}}. \quad (5.4.3)$$

В такой интерпретации $Q_{A \text{ отн}}$ (при $a'_{q \text{ отн}} = 1$) должна отражать влияние времени на факторы второй группы, характеризующие лишь интенсивность рассматриваемого процесса. Вместе с тем выражение (5.4.3), представленное при $a_{q \text{ отн}} = 1$ в виде

$$\xi = 1 - 0,67 \frac{1}{n_A^{0,33}}, \quad (5.4.4)$$

может трактоваться как относительная характеристика полноты освоения технических возможностей комбайнов проходческого типа (технологического звена), эксплуатируемого в условиях калийной промышленности.

С помощью выражений (5.4.3) и (5.4.4), графически представленных на рис. 5.4.3, установлено следующее. При величине $n_A \geq 15$ лет относительная интенсивность нарастания эксплуатационной производительности комбайнов проходческого типа стабилизировалась. При этом интенсивность $\xi Q_{A \text{ отн}}$ за первые пять лет эксплуатации снижается с 0,28 до 0,02. В результате процесса освоения и доводки за этот же период в среднем может реализоваться около 0,75 технических возможностей данного класса машин. Дальнейшее освоение, отражающее конечный характер этого процесса, протекает очень медленно. Следовательно, после реализации основного «потенциального ресурса», т. е. суммы возможностей, определяемой особенностями конструкции или достоинствами компоновочных схем, учитываемых коэффициентом $a_{q \text{ отн}}$, целесообразно планировать замену эксплуатируемых в этот период машин более совершенными, со значительно лучшими показателями технического уровня. При невозможности получения более совершенных машин следует переходить на более совершенные формы организации труда, способствующие повышению использования оборудования во времени.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В настоящей книге авторы прежде всего стремились дать по возможности полный очерк результатов исследований с анализом влияния многообразных факторов на эксплуатационные качества комбайнов для камерной выемки калийных руд. Исследование, выполненное при системном подходе к изучаемому объекту, является первой попыткой: научного обоснования оптимизации и выбора параметров комбайнов проходческого типа, осуществляемого на базе изучения калийной руды как объекта разрушения инструментом режцового типа; анализа структурных особенностей компоновочных схем комбайнов; детальных исследований режимов работы исполнительных органов и процесса нагружения электропривода при случайном характере возмущающих воздействий.

Исследование завершено комплексной оценкой комбайнов различных типов как основного технологического звена очистной выемки калийных руд. Дальнейшие исследования и опытно-конструкторские работы в этой, еще недостаточно изученной области, в первую очередь должны быть посвящены: продолжению исследований режима работы комбайнов и исполнительных органов новых модификаций; повышению стойкости режущего инструмента и детальному изучению ее связей с абразивностью калийной руды; определению эффективности средств для автоматического поддержания величины потребляемой мощности на заданном уровне и, наконец, применению повышенного питающего напряжения для энергоснабжения комбайнов.

1. *Лоханин К. А., Грибов В. Ф.* Работы Гипроуглемаша в области создания комбайнов для добычи калийных руд — В кн.: Совершенствование технологии и механизации очистных работ на комбинате «Белорускалий», Мянск, ВНИИГ, 1972, с. 102—113.
2. *Отраслевой стандарт.* Комбайны очистные. Выбор параметров и расчет сил резания и подачи на исполнительных органах. Методика. ОСТ 12.47.001.73. М., Донгипроуглемаш, 184 с.
3. *Позин Е. З.* Основы выбора и поддержания оптимальных режимов работы исполнительных органов угледобывающих комбайнов. Автореферат дисс. на соиск. уч. степ. докт. техн. наук. М., ИГД им. А. А. Скочинского, 1968. 48 с.
4. *Определение* производительности комбайнов для добычи калийных руд с учетом сопротивляемости резанию. — «Горный журнал», 1972, № 7, с. 52—56. Авт.: И. С. Зильберт, Д. М. Любощинский, Я. А. Лейман и др.
5. *Использование* паспортов режима работы для определения зависимости производительности выемочных машин от сопротивляемости массива. — В кн.: Механизация и автоматизация горных работ, № 8. Караганда: Гипроугледормаш, 1971, с. 11—21. Авт.: И. С. Зильберт, Д. М. Любощинский, Я. А. Лейман и др.
6. *Резание* угля. М., Госгортехиздат, 1962. 440 с. Авт.: А. И. Берон, А. С. Казанский, Б. М. Лейбов и др.
7. *Антонов П. Е.* Исследование влияния изменчивости сопротивляемости угля резанию и скорости подачи на нагрузку электродвигателя узкозахватных очистных комбайнов в Карагандинском бассейне. Автореферат дисс. на соиск. уч. степ. канд. техн. наук. М., ИГД им. А. А. Скочинского, 1971. 19 с.
8. *Бреннер В. А.* Основы выбора расчетных параметров угледобывающих машин очистных и проходческих комплексов (на примере Карагандинского угольного бассейна). Автореферат дисс. на соиск. уч. степ. докт. техн. наук. М., МГИ, 1970. 38 с.
9. *Им В. А.* Определение сопротивляемости калийных руд резанию. — В кн.: Технология и механизация разработки угольных пластов Карагандинского бассейна, вып. 40. Караганда, КНИУИ, 1972, с. 222—225.
10. *Пинский В. Л., Соболев А. В., Брусиловский Д. В.* Машинная выемка калийных руд. Л., «Химия», 1971. 90 с.
11. *Брусиловский Д. В., Садков С. П., Иванова В. Т.* Определение сопротивляемости соляных пород резанию. В сб.: Промышленность горнохимического сырья и природных солей. М., НИИТЭИхим, вып. 4, 1965.
12. *Барон Л. И., Брусиловский Д. В.* Определение сопротивляемости соляных пород резанию методом технологической пробы. — В кн.: Технология добычи угля подземным способом, № 5 (29). М., «Недра», 1969, с. 51—53.
13. *Исследование* сопротивляемости калийных руд Верхнекамского и Старобинского месторождений. — В кн.: Механизация и автоматизация

горных работ. Алма-Ата, «Казахстан», 1975, с. 45—52. Авт.: И. С. Зильберт, Д. М. Любощинский, Я. А. Лейман и др.

14. *Соболь А. В.* Развитие калийной промышленности, вып. 10. Развитие машинной выемки калийных руд. Л., ВНИИГ, 1971. 64 с.

15. *Развитие калийной промышленности*, вып. 4. Калийная промышленность Франции. Л., ВНИИГ, 1971. 71 с. Авт.: Е. А. Здуновская, А. В. Соколов, В. В. Вязовов и др.

16. *Лейман Я. А.* Исследование режимов работы горных комбайнов с двухдвигательным приводом исполнительного органа. Автореферат дисс. на соиск. уч. степ. канд. техн. наук. Караганда, КПТИ, 1974. 24 с.

17. Результаты испытаний комбайна ПК-8. — «Горный журнал», 1967, № 5, с. 48—49. Авт.: К. А. Лоханин, Л. А. Струев, И. В. Щукин и др.

18. *К вопросу комплексной механизации выемки калийных солей на рудниках Солигорского комбината*: — «Механизация и гидромеханизация горных работ», вып. XXXI. М., «Недра», 1965, с. 51—58. Авт.: А. В. Докукин, А. Д. Игнатьев, В. Л. Долгов и др. (Научные сообщения ИГД им. А. А. Скочинского).

19. *Долгов В. Л.* Некоторые результаты исследований работы роторных исполнительных органов проходческих комбайнов, разрушающих забой по щелевой схеме. — В кн.: Технология и механизация подземной добычи угля. М., «Недра», с. 77—89 (Научные сообщения ИГД им. А. А. Скочинского).

20. *Исследование динамической нагруженности многодвигательного привода исполнительного органа проходческого комбайна ПК-8*. (Научные сообщения ИГД им. А. А. Скочинского), вып. 80. М., 1970, с. 70—78. Авт.: Ю. Д. Красников, Е. Н. Шмарьян, З. Я. Хургин и др.

21. *Светличный Д. М., Девятов В. З., Ледяцов Л. А.* Технико-экономическое обоснование применения выемочных машин на Верхнекамских калийных рудниках, вып. VIII. Пермь, Пермское книжное издательство, 1965, с. 221—248 (Научные труды ПермНИУИ).

22. *Брусилковский Д. В.* Исследование сплошной и щелевой схем разрушения соляных пород калийных рудников роторными исполнительными органами комбайнов. Автореферат дисс. на соиск. уч. степ. канд. техн. наук. М., ИГД им. А. А. Скочинского, 1969. 24 с.

23. *Зайков В. И.* Эффективность применения комбайновых исполнительных органов различных типов при разработке калийных солей. — В кн.: Расчет и конструирование горных машин и комплексов. М., «Недра», 1971, с. 56—66.

24. *Зайков В. И., Солодухин В. В.* Исследование режимов работы приводов исполнительных органов и подачи комбайнов ПК-8 и ПК-10. — В кн.: Расчет и конструирование горных машин и комплексов. М., «Недра», 1971, с. 185—195.

25. *Грибов В. Ф., Солодухин В. В., Шевченко Г. Е.* Результаты исследований энергетических показателей проходческо-добычного комбайна ПК-10. — В кн.: Угольное и горнорудное машиностроение. Оборудование для подземной добычи угля и руды. 2—67—19. НИИИНФОРМТЯЖМАШ, 1968, с. 22—26.

26. *Светличный Д. М., Ростин А. П., Растин Я. И.* Сравнительные испытания комбайнов «Джой 6РМ-2В» и ШБМ-2 на руднике 1-го Солигорского калийного комбината. В кн.: «Научные труды», сб. IX. Пермь, Пермское книжное издательство, 1966, с. 155—168.

27. *Шахтные самоходные вагоны*. М., «Недра», 1972. 161 с. Авт.: В. А. Бреннер, А. В. Бауман, С. К. Кожакханов и др.

28. *Рогов Е. И.* Системный анализ в горном деле. Алма-Ата, «Казахстан», 1976. 207 с.

29. *Позин Е. З.* Сопротивляемость углей разрушению режущим инструментом. М., «Наука», 1972. 238 с.

30. *Разрушение* углей исполнительными органами выемочных машин, М., Госгортехиздат, 1961. 220 с. Авт.: Д. М. Любощинский, Е. З. Позин, Ю. Н. Казак и др.
31. *Лейбов Б. М.* Метод определения сопротивляемости углей разрушению. М., Углетехиздат, 1957. 24 с.
32. *Позин Е. З.* Инструкция по определению показателей сопротивляемости углей разрушению при резании с помощью динамометрического сверла СДМ-1. М., ИГД им. А. А. Скочинского, 1964. 35 с.
33. *Рау М. В.* Неоднородность горных пород и их физических свойств. М., «Наука», 1968. 107 с.
34. *Антонов П. Е., Зильберт И. С., Любощинский Д. М.* Сопротивляемость разрушению углей Карагандинского бассейна. — В кн.: Сопротивляемость горных пород разрушению при добычании. М., Изд-во АН СССР, 1962, с. 73—83.
35. *Позин Е. З.* Изменчивость сопротивляемости угля разрушению резанием. — В кн.: Разрушение горных пород механическими способами. М., «Наука», 1966, с. 23—34.
36. *Никулин Г. Н.* Определение показателей сопротивляемости углей разрушению прибором СДМ-1 на пологих пластах шахт Кизеловского бассейна. — «Технология и экономика угледобычи», № 3. М., «Недра», 1966, с. 60—61.
37. *К вопросу* о классификации углей Карагандинского бассейна по показателю сопротивляемости резанию. — «Механизация и автоматизация горных работ», № 4, М., «Недра», с. 3—12. Авт.: П. Е. Антонов, А. И. Берон, В. И. Евремов и др.
38. *Некоторые данные* по сопротивляемости углей Печорского бассейна разрушению. — В кн.: Технология и экономика добычи угля в Печорском бассейне, вып. 3. М., «Недра», 1968, с. 214—219. Авт.: Д. И. Гоц, В. А. Котов, В. И. Никонов и др.
39. *Жигульский И. П., Ковалев К. М.* Анализ факторов, влияющих на изменчивость сопротивляемости угля разрушению резанием. — «Технология добычи угля подземным способом», № 10 (22). М., «Недра», 1968, с. 47—50.
40. *Сопротивляемость* углей резанию в Макеевском районе Донбасса. — «Технология добычи угля подземным способом», 1968, № 5, М., «Недра», с. 60—92. Авт.: А. А. Кравченко, П. Д. Залмаев, В. А. Атабеков и др.
41. *Волков А. Н., Южаков В. Ф., Болдырев П. И.* Исследование сопротивляемости резанию углей Ленинск-Кузнецкого района. — В сб.: Механизация и автоматизация производственных процессов, № 15. Кемерово, Кемеровское книжное издательство, 1968, с. 86—100.
42. *Исследование* сопротивляемости углей резанию в антрацитовых районах. — «Уголь», 1969, № 1, с. 47—48. Авт.: А. А. Кривченко, Н. Д. Залмаев, В. А. Атабеков и др.
43. *Жигульский И. П., Тархов В. М.* Исследование сопротивляемости антрацита разрушению. — «Технология добычи угля подземным способом», № 7, (31). М., «Недра», 1969, с. 55—59.
44. *Определение* сопротивляемости резанию антрацитовых пластов. — «Уголь Украины», 1970, № 5, с. 16—17. Авт.: А. А. Кривченко, В. А. Каданцев, В. А. Бармин и др.
45. *Гаврилов П. Д.* Сопротивляемость резанию углей Кузбасса. — В сб.: «Механизация горных работ», № 21. Кузбасский политехнический институт, Кемерово, 1970, с. 47—58.
46. *Жигульский И. П., Ковалева К. М.* Анализ факторов, влияющих на изменчивость сопротивляемости угля разрушению резанием. — В сб. Совершенствование технологии добычи антрацитов, вып. 9. М., «Недра», 1971, с. 89—95.

47. Позин Е. З., Жигульский И. П., Котов Э. П. Исследование изменчивости сопротивляемости резанию антрацитов Восточного Донбасса по простиранию пластов. В сб. *Технология и техника струговой выемки антрацитов*. «Труды ШахтНИУИ», вып. 11, 1971, Шахты, с. 280—289.
48. Кривченко А. А. Сопротивляемость углей резанию в некоторых районах Донбасса. — *«Уголь Украины»*, 1972, № 11, с. 14—16.
49. Зейферт В. П., Гефенлидер Э. А. Определение сопротивляемости угля разрушению основных каменноугольных месторождений Средней Азии. — В сб.: *Технология и механизация разработки мощных пологих пластов Карагандинского бассейна*. «Научные труды Всесоюзного научно-исследовательского и проектно-конструкторского угольного института», вып. 42. Караганда, 1972, с. 92—96.
50. Соболев А. В., Пинский В. Л., Брусиловский Д. В. Механизация очистных работ на калийных рудниках. Л., «Химия», 1974. 180 с.
51. Лабораторные и шахтные исследования по разрушению калийных пород Верхнекамского месторождения резцовым инструментом. — В кн.: *Научные труды ПермНИУИ, VIII*. Пермь, Пермское книжное издательство, 1965, с. 249—266. Авт.: В. З. Деветьев, Д. М. Светличный, А. Н. Трегубов и др.
52. Деветьев В. З., Светличный Д. М., Трегубов А. Н. Исследование сопротивляемости разрушению соляных пород Верхнекамского месторождения резцовым инструментом. — В сб.: *Разрушение горных пород механическими способами*. М., «Наука», 1966, с. 57—63.
53. Проскуряков Н. М., Пермиков Р. С., Черников А. К. Физико-механические свойства соляных пород. Л., «Недра», 1973, 271 с.
54. Длин А. М. Математическая статистика в технике. М., «Советская наука», 1958. 466 с.
55. Зильберт И. С., Любоцинский Д. М., Позин Е. З. Сопоставительные определения показателей сопротивляемости угля разрушению приборами ДКС и СДМ-1 в Карагандинском бассейне. — В кн.: *Механизация и автоматизация горных работ*, вып. III. М., «Недра», 1967, с. 152—161.
56. Лейбов Б. М., Позин Е. З. К методике определения сопротивляемости углей резанию в забое. — «Научные сообщения», вып. III. ИГД им. А. А. Скочинского, М., Госгортехиздат, с. 83—92.
57. Смирнов Н. В., Душин-Барковский И. В. Курс теории вероятностей и математической статистики для технических приложений. М., «Наука», 1969. 511 с.
58. Гмурман В. Е. Теория вероятностей и математическая статистика. М., «Высшая школа», 1972. 368 с.
59. Венецкий И. Г., Кильдишев Г. С. Основы теории вероятностей и математической статистики. М., «Статистика», 1968. 360 с.
60. Зильберт И. С., Любоцинский Д. М., Позин Е. З. К вопросу о влиянии технологических схем выемки угля на проявление отжима в зоне работы исполнительных органов выемочных машин. — В сб.: *Механизация и автоматизация горных работ*, вып. III. М., «Недра», 1967, с. 162—170.
61. Жигульский И. П., Позин Е. З. Исследование совместного влияния ширины призабойного пространства, скорости подвигания и длительности обнажения забоя на изменение сопротивляемости антрацита резанию. — В сб.: *Технология и техника струговой выемки антрацитов*, вып. 13, ШахтНИУИ. Шахты, 1973, с. 133—137.
62. Антонов П. Е., Зильберт И. С., Любоцинский Д. М. Оценка влияния характеристики средств крепления на проявление отжима угля. — В кн.: *Механизация и автоматизация горных работ*, № 7. М., «Недра», 1971, с. 30—35.

63. *Зильберт И. С., Любоцинский Д. М.* Влияние горнотехнологических факторов на производительность выемочных машин. В кн.: *Механизация и автоматизация горных работ*, № 6. М., «Недра», 1971, с. 151—157.

64. *Антонов П. Е., Зильберт И. С., Любоцинский Д. М.* Влияние времени на изменение усилий резания углей Карагадинского бассейна. — В кн.: *Механизация и автоматизация горных работ*, № 6. М., «Недра», 1971. с. 140—146.

65. *Жигульский И. П., Кривогуз Г. И., Позин Е. З.* Влияние продолжительности на изменение сопротивляемости угля резанию в очистном забое. — В сб.: *Совершенствование технологии добычи антрацитов*, вып. 9. М., «Недра», 1971, с. 95—99.

66. *Вентцель Е. С.* Теория вероятностей. М., «Наука», 1969. 576 с.

67. *Бородюк В. П., Филаретов Г. Ф.* Организация эксперимента при сборе статистических данных для регрессивного анализа. — В кн.: *Планирование эксперимента*. М., «Наука», 1966, с. 41—57.

68. *Мирский Г. Я.* Аппаратурное определение характеристик случайных процессов. М., «Энергия», 1972. 55 с.

69. *Федоров А. И.* Методы математической статистики в биологии и опытно-дело. Алма-Ата, Казгосиздат, 1957. 215 с.

70. *Карасев А. И.* Теория вероятностей и математическая статистика. М., «Статистика», 1970. 344 с.

71. *Зильберт И. С.* Исследование влияния горнотехнологических факторов на сопротивляемость резанию углей Карагадинского бассейна. Автореферат дисс. на соиск. уч. степ. канд. техн. наук. М., ИГД им. А. А. Скочинского, 1967. 23 с.

72. *Позин Е. З.* Оценка изменчивости сопротивляемости угля резанию в очистном забое. — «Научные сообщения», вып. XXI, ИГД им. А. А. Скочинского. М., Госгортехиздат, 1963, с. 171—181.

73. *Казак Ю. Н., Любоцинский Д. М.* Об учете непостоянства сопротивляемости угольных пластов разрушению при создании исполнительных органов горных машин. «Изв. вузов, Горный журнал», 1963, № 12, с. 107—114.

74. *Казак Ю. Н., Любоцинский Д. М.* О расчете максимальных усилий резания углей резами выемочных машин. Труды Карагадинского политехнического института, вып. 4. Вопросы горного дела. М., 1960, с. 155—160.

75. *Святный Н. А.* Исследование сопротивляемости углей резанию и ее влияние на производительность угледобывающих машин в условиях Донецкого бассейна. Автореферат дисс. на соиск. уч. степ. канд. техн. наук. М., ИГД им. А. А. Скочинского, 1969. 17 с.

76. *Бондарик Г. К.* Основы теории изменчивости инженерно-геологических свойств горных пород. М., «Недра», 1971. 272 с.

77. *Эксплуатационные характеристики асинхронного привода очистных комбайнов.* — В сб.: *Механизация и автоматизация горных работ*, № 4, Гипроулегормаш. М., «Недра», 1968, с. 12—33. Авт.: П. Е. Антонов, В. М. Беккер, В. А. Бреннер и др.

78. *О способах поддержания оптимальных режимов работы очистных комбайнов с асинхронным приводом.* — В кн.: «Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых», № 1. Новосибирск, «Наука», 1971, с. 99—111. Авт.: Е. З. Позин, П. Е. Антонов, И. С. Зильберт и др.

79. *Коняев К. В.* Спектральный анализ случайных процессов и полей. М., «Наука», 1973. 168 с.

80. *Динамические процессы горных машин.* М., «Наука», 1972. 150 с. Авт.: А. В. Докукин, Ю. Д. Красников, З. Я. Хургин и др.

81. *Гайдукевич В. И., Мельникова А. А.* Вероятностная обработка осциллограмм электрических величин. М., «Энергия», 1972. 113 с.

82. Котюк А. Ф., Ольшевский В. В., Цветков Э. И. Методы и аппаратура для анализа характеристик случайных процессов. М., «Энергия», 1967. 240 с.
83. Романенко А. Ф., Сергеев Г. А. Вопросы прикладного анализа случайных процессов. М., «Советское радио», 1968. 255 с.
84. Тихонэв В. И. Статистическая радиотехника. М., «Советское радио», 1966. 678 с.
85. Солодовников В. В., Усков А. С. Статистический анализ объектов регулирования. М., Машгиз, 1960. 131 с.
86. Poterou C. D. The Breakage of Coal by cvedge action «Colliery Guard», 1963, № 5353.
87. Poterou C. D., Foote P. A laboratory investigations of the relation between ploughability and the mechanical properties of coal «Colliery Engineering», 1960, № 434.
88. Николин В. И., Лысков Б. А. Влияние глубины залегания пород Донбасса на их физико-механические свойства. — «Уголь», 1964, № 12, с. 26—29.
89. Лысков Б. А., Свержевский В. Л. Изменение физико-механических свойств пород Красноармейского района Донбасса с увеличением глубины залегания. — «Уголь Украины», 1965, № 6, с. 15—16.
90. Овчаренко Б. П., Шамаева М. П., Комаров А. И. Приближенная оценка прочности пород по глубине залегания и метаморфизму. — «Уголь Украины», 1965, № 4, с. 11—13.
91. Трупак Н. Г. Изменение физико-механических свойств горных пород на больших глубинах и влияние их на проведение и крепление выработок. — «Горный журнал», 1968, № 1, с. 32—35.
92. Зильберт И. С., Любошинский Д. М. К вопросу о влиянии глубины разработки пластов на сопротивляемость угля резанию. — В сб.: Механизация и автоматизация горных работ, № 6. М., «Недра», 1971, с. 146—150.
93. Шторж Р. Теория вероятностей. Математическая статистика. Статистический контроль качества. М., «Мир», 1970. 368 с.
94. Айвазян С. А. Статистическое исследование зависимостей. М., «Металлургия», 1968. 227 с.
95. Зыков В. А. Классификация комбайнов для выемки калийных руд. — В кн.: Технология и механизация разработки калийных и каменносолевых месторождений, вып. 66. Л., ВНИИГ, 1974, с. 53—56.
96. Базер Я. И., Храпов Ю. Г., Соколов Ю. Л. Проходческие комбайны для угольных шахт. Угольное и горнорудное машиностроение. 8—66—7. М., НИИИНФОРМТЯЖМАШ, 1967, 129 с.
97. Белашов Н. Д., Лактионов А. В. К вопросу оценки эффективности резцовых исполнительных органов углепроходческих комбайнов. — «Научные сообщения», ИГД им. А. А. Скочинского, вып. 95. Комплексная механизация угольных шахт. Вопросы разработки и применения новых горных машин. М., 1972, с. 47—55.
98. Базер Я. И., Крутилин В. И., Соколов Ю. Л. Проходческие комбайны. М., «Недра», 1974. 304 с.
99. Барон Л. И., Глатман Л. Б., Губенков Е. К. Разрушение горных пород проходческими комбайнами. Научно-методические основы. Разрушение резцовым инструментом. М., «Наука», 1968. 216 с.
100. Логунцов Б. М. Горные машины 1968. Проходческие комбайны. М., ВИНТИ, 1970. 185 с.
101. Братченко Б. Ф., Хорин В. Н. Угольная промышленность США. М., «Недра», 1971. 312 с.
102. Хенрих Р. Калийный рудник «Алвизал» (Соскачеван, Канада). Экспресс-информация. — «Горнорудная промышленность», № 21. М., ВИНТИ, 1972, с. 11—17.

103. Комбайн «Мариятта 1012 АСД». Кол Эдж, № 3, т. 74. 1969. 122 с.
104. *Лаврешин В. Е.* Проходческий комбайн ШБМ-2. М., Госгортехиздат, 1960, 220 с.
105. *Лоханин К. А., Струев Л. А., Нейтур Х. З.* Проходческий комбайн ПК-8. М., «Недра», 1969. 144 с.
106. *Мудд И. Б.* Ле техник Миньер дан лавенир. Анналь миньер, 1971. Экспресс-информация. — «Горнорудная промышленность», № 12. М., ВИНТИ, 1972, с. 1—12.
107. *Любоцинский Д. М.* Некоторые результаты исследования комбайнов в условиях Верхнекамского месторождения калийных руд. Материалы Всесоюзного научно-технического совещания работников горнохимической промышленности. М., ОНТИ Госгорхимпроект, 1971, с. 99—118.
108. *Промышленные испытания проходческо-очистных комбайнов «Урал 20КС».* — «Горный журнал», 1976, № 4, с. 52—53. Авт.: Г. А. Гиршович, Р. В. Благовещенский, И. И. Браккер и др.
109. *Результаты промышленных испытаний и оценка эффективности применения комбайна «Урал 10КС» на Солигорских рудниках.* — «Горный журнал», 1975, № 6, с. 46—47. Авт.: Е. И. Кузьмин, М. К. Гапонов, В. И. Тодоров и др.
110. *Проходческий комбайн «Караганда 7/15».* М., «Недра», 1969. 205 с. Авт.: В. А. Бреннер, Н. И. Жислиг, Г. С. Иконников и др.
111. *Комбайн ПК-10.* М., «Недра», 1973. 217 с. Авт.: К. А. Лоханин, В. Ф. Грибов, Р. В. Благовещенский и др.
112. *Михайлов В. Г., Крапивин М. Г.* Горные инструменты. М., «Недра», 1970. 215 с.
113. *Исследование износостойкости режущего инструмента.* — «Горные машины и автоматика», № 11. М., ЦНИЭИуголь, 1973, с. 5—7. Авт.: Е. З. Позин, М. Ф. Кунтыш, В. В. Тон и др.
114. *Прокофьев А. С., Зильберт И. С., Любоцинский Д. М.* О методике расчета параметров резания комбайнов для добычи калийных руд. — В кн.: Механизация и автоматизация горных работ, № 9. М., «Машиностроение», 1975, с. 40—50.
115. *Прейскурант № 19—02 «Оптовые цены на оборудование горношахтное и горнорудное».* Часть 1. М., Прейскурантиздат, 1971. 272 с.
116. *Росин Р. И.* Проходческий комбайн ПК-3. М., Углетехиздат, 1956. 28 с.
117. *Докукин А. В., Долгов В. Л.* Анализ работы комбайна 6РМ-2В фирмы «Джой». Краткий научный отчет. М., ИГД им. А. А. Скочинского, 1967. 24 с.
118. *Барон Л. И., Шестимиров А. А.* Совершенствование конструкций проходческих комбайнов в странах Западной Европы. М., ЦНИЭИуголь, 1972. 92 с.
119. *Определение неравномерности нагрузки привода и скоростей подачи очистных комбайнов в зависимости от сопротивляемости угля.* — Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых, 1967, № 6, с. 54—62. Авт.: П. Е. Антонов, А. И. Берон, И. С. Зильберт и др.
120. *Позин Е. З., Любоцинский Д. М., Антонов П. Е.* Формирование нагрузки электродвигателя очистного комбайна. — «Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых», 1973, № 1, с. 51—56.
121. *Режимы нагружения асинхронного привода очистных комбайнов.* — В кн.: Горные машины и автоматика, вып. 4. М., «Недра», 1968, с. 47—59. Авт.: П. Е. Антонов, В. А. Бреннер, И. С. Зильберт и др.
122. *Определение нагрузки электродвигателей в связи с изменчивостью свойств угля в забое.* — «Уголь», 1969, № 3, с. 44—49. Авт.: А. И. Берон, Е. З. Позин, П. Е. Антонов и др.

123. Влияние длины тягового органа на неравномерность нагрузки главного двигателя комбайна. — Горные машины и автоматика, вып. 1 (58). М., «Недра», 1965, с. 12—15. Авт.: И. С. Зильберт, Н. П. Кулаков, Д. М. Любощинский и др.
124. Выбор параметров регулятора нагрузки очистного комбайна. — Горные машины и автоматика, вып. 3 (84). М., «Недра», 1967, с. 10—13. Авт.: П. Е. Антонов, В. А. Бреннер, И. С. Зильберт и др.
125. Любощинский Д. М., Зильберт И. С., Лейман Я. А. Некоторые особенности работы кинематически не связанного электропривода исполнительных органов комбайнов. — «Уголь», 1971, № 7, с. 40—45.
126. Исследование кинематически связанного двухдвигательного привода комбайнов. — В кн.: Механизация и автоматизация горных работ, № 9. Гипроуглерошап. М., «Машиностроение», 1975, с. 3—14. Авт.: В. А. Бреннер, И. С. Зильберт, Я. А. Лейман и др.
127. Глушко В. В. Характеристики режимов работы горных машин и их автоматическое управление. М., «Недра», 1973. 240 с.
128. Корреляционный анализ нагрузок выемочных машин. М., «Наука», 1969. 195 с. Авт.: А. В. Докукин, Ю. Д. Красников, Э. Д. Хургии и др.
129. Киклевич Н. А., Киклевич Ю. Н. Режимы работы исполнительных органов и привода угольных комбайнов. М., «Недра», 1965. 135 с.
130. Давыдов В. Л., Скородумов Б. А. Статика и динамика машин в типичных режимах эксплуатации. М., «Машиностроение», 1967, 431 с.
131. Исследование на АВМ двухдвигательного привода горных комбайнов. — В кн.: Механизация и автоматизация горных работ, № 10. Алма-Ата, «Казахстан», 1974, с. 3—13. Авт.: В. А. Бреннер, И. С. Зильберт, Я. А. Лейман и др.
132. Исследование связи между частотой процесса резания и режимами разрушения угля. — В кн.: Механизация и автоматизация горных работ, № 7. М., «Недра», 1971, с. 14—20. Авт.: П. Е. Антонов, И. С. Зильберт, Н. П. Кулаков и др.
133. Красников Ю. Д. Формирование спектра нагрузок угледобывающей машины как элемента системы «Человек — машина — горный массив». — В кн.: Международный симпозиум по динамике тяжелых машин горной и металлургической промышленности: Секция динамики для подземных горных разработок, 1974. Тезисы докладов. Донецк, 1974.
134. ОСТ 24.070.16. Машинны очистные комбайны. Выбор основных параметров асинхронных двигателей. Методика. Донгипроуглемаш. Донецк, 1968.
135. Свешников А. А. Прикладные методы теории случайных функций. М., «Наука», 1968. 463 с.
136. Глушко В. В., Светличный П. Л. Номограммы для определения фактических пусковых и максимальных моментов. — В кн.: Новые средства автоматизации для угольной промышленности, № 2. М., «Наука», 1964.
137. Светличный П. Л. Электропривод и электроснабжение горных машин. М., «Недра», 1968. 32 с.
138. Миллер Е. В. Основы теории электропривода. М., «Высшая школа», 1968, 408 с.
139. Сравнительные данные о техническом уровне отечественных и зарубежных выемочных комбайнов и забойных конвейеров. М., ИГД им. А. А. Скочинского, 1968. 36 с. Авт.: А. Г. Фролов, Л. Д. Борисенко, И. Д. Пшеничный и др.
140. Гейлер Л. В. Электропривод в тяжелом машиностроении. М., Машгиз, 1958. 587 с.
141. Готчиев А. В., Солод В. И. Расчет производительности выемочных комплексов и агрегатов. М., «Недра», 1966, 100 с.

142. Позин Е. З., Любоцинский Д. М., Антонов П. Е. Исследование перемещения узкозахватных комбайнов. — В кн.: Технология и техника струговой выемки антрацитов, вып. 12. Шахты, ШахтНИУИ, 1972, с. 195—203.

143. Предварительные результаты испытаний комплекса КМК-97к для добычи сальвинита. — В кн.: Совершенствование технологии и механизации очистных работ на комбинате «Белорускалий». Л. — Минск, ВНИИГ, 1972, с. 75—83. Авт.: В. А. Сорокин, Т. Е. Денкевич, Р. С. Пермьяков и др.

144. Испытание опытного образца комбайна ПК-11 на комбинате «Белорускалий». — В кн.: Технология и механизация разработки калийных и каменносоляных месторождений, вып. 66. Л., ВНИИГ, 1974, с. 41—48. Авт.: Л. Д. Иванов, В. Н. Зеленкин, Б. А. Волков и др.

145. Бондарев К. Д., Токарев А. И., Дубков А. В. Эксплуатационные испытания нового исполнительного органа комбайна ШБМ-2. «Угльное и горнорудное машиностроение», 2—70—8. Добычные и проходческие машины и оборудование». М., НИИИНФОРМТЯЖМАШ, 1970, с. 52—54.

146. Шестимиров А. А. Сравнительный анализ тенденций изобретательского поиска инструментов и схем разрушения забоя для породопроходческих комбайнов в СССР и за рубежом, вып. 106 — «Разрушение горных пород». М., ИГД им. А. А. Скочинского М., 1973, с. 89—96 (Научные сообщения ИГД им. А. А. Скочинского).

147. Зыков В. А., Зеленкин В. Н., Волков Б. А. Пути повышения технического уровня проходческих комбайнов для калийной промышленности. — В кн.: Технология и механизация разработки калийных и каменносоляных месторождений, вып. 66. Л., ВНИИГ, 1974, с. 55—61.

148. Амосов В. А. Исследование затупленности режущего инструмента на силовые и энергетические показатели разрушения каменной соли, вып. 14 (22). ч. I. Артемовск, 1970 (Труды ВНИИСоля).

149. Основные технические показатели работы угледобывающих комбайнов в Карагандинском бассейне. — В кн.: «Оптимизация режимов работы исполнительных органов угледобывающих машин». М., «Наука», 1967, с. 57—70. Авт.: П. Е. Антонов, В. М. Беккер, В. А. Бреннер и др.

150. Зильберт И. С., Любоцинский Д. М., Прокофьев А. С. К вопросу методики построения паспортов режимов работы. — В кн.: «Механизация горных работ», № 8. Караганда, 1971, с. 3—11.

151. Пинский В. Л., Соболев А. В. Отраслевая методика расчета производительности очистных и проходческих комплексов, включающих комбайн и средства самоходного транспорта (в условиях калийных рудников). Л., ВНИИГ, 1972, 35 с.

152. Зыков В. А., Любоцинский Д. М. Основные направления создания и совершенствования комбайнов для выемки калийных руд. ОНТИ, УФ ВНИИГ, Пермь, 1976, с. 14—19 (Материалы Всесоюзной научно-технической конференции по техническому перевооружению комбината «Уралкалий», Березники, 1974).

153. Нормы амортизационных отчислений по основным фондам народного хозяйства, положение о порядке планирования, начисления и использования амортизационных отчислений в народном хозяйстве. Госплан СССР, М., «Экономика», 1974, 144 с.

154. Типовая методика экономической эффективности капиталовложений и новой техники. «Экономическая газета», 1969, № 39.

155. Зыков В. А., Лозанин К. А. Состояние и перспективы машинной выемки калийных руд. — В кн.: Технология и механизация разработки калийных месторождений и каменносоляных, вып. 66. Л., ВНИИГ, 1974, с. 3—8.

156. Берон А. И. Разрушение угля исполнительными органами режцового типа в режиме крупного скола. Автореферат дисс. на соиск. уч. степ. канд. техн. наук. М., ВУГИ, 1956. 20 с.

157. *Любоцинский Д. М.* Исследование основных параметров рабочих органов с целью увеличения производительности добычных машин и повышения уровня механизированной повалки в условиях Карагандинского бассейна. М., ИГД им. А. А. Скочинского, 1962. 35 с.

158. *Берон А. И.* Основы расчета и особенности органов крупного скола. — «Уголь», 1957, № 2, с. 25—32.

159. *Определение нагрузок на исполнительном органе комбайнов для добычи калийных руд. «Машины и оборудование для горных работ».* М., НИИИНФОРМТЯЖМАШ, 1975, с. 12—17. Авт.: И. С. Зильберт, В. А. Им, Д. М. Любоцинский и др.

160. *Азгальдов Г. Г.* Проблемы измерения и оценки качества продукции. М., «Знание», 1969, 38 с.

161. *Фролов А. Г., Ульяновский А. З., Эйдерман Б. А.* Методика исследования и определения показателей качества шахтных скребковых конвейеров. М., ИГД им. А. А. Скочинского, 1969. 31 с.

162. *Крапивинский З. Н., Кураченко Ю. П., Шпекторов Д. И.* Оценка качества продукции. М., Изд-во стандартов, 1968. 120 с.

163. *Фролов А. Г., Колодяров К. Л., Дарькин И. Н.* Методика оценки степени технического совершенства выемочных комбайнов для пологих пластов. «Научные основы установления рациональных параметров, средств выемки и доставки полезных ископаемых». М., «Наука», 1969, с. 25—34.

164. *Методические положения по оценке качества изделий машиностроения.* Вып. I. ВНИИНМАШ. М., Изд. Гос. Комитета стандартов, мер и измерительных приборов при Совете Министров СССР, 1968. 60 с.

165. *Волчок В. И., Лапин Б. Я.* Комплексная оценка уровня качества строительных и дорожных машин. ВНИИСтройДормаш. В сб.: Вопросы прогнозирования и развития строительных и дорожных машин. М., 1972. с. 32—37.

166. *Методика оценки уровня качества промышленной продукции* ВНИИС, ВНИИНМАШ. М., Изд-во стандартов, 1971. 58 с.

167. *Методика оценки уровня качества изделий угольного машиностроения. Основные положения.* Гипроуглемаш, ИГД им. А. А. Скочинского. М., МУП СССР, 1976. 49 с.

168. *Глущев А. В., Панов В. П.* Комплексная экономическая оценка надежности и долговечности изделий. М., Изд-во стандартов, 1970. 52 с.

169. *Сомов Ю. С., Федоров М. В.* Потребительские качества промышленных изделий. М., Изд-во стандартов, 1969. 219 с.

170. *Филиппов А. Н.* Определение относительной важности научных проблем по результатам экспертных оценок. — Научные сообщения, № 80. М., ИГД им. А. А. Скочинского, 1970, с. 121—129.

171. *Введение в теорию выработки решений.* М., Воениздат, 1972. 342 с. Авт.: В. А. Абчук, Л. А. Емельянов, Ф. А. Магвейчук и др.

172. *Саати Т. Л.* Математические методы исследования операций. М., Воениздат, 1963. 420 с.

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	3
--------------------	---

ГЛАВА 1

Сопротивляемость резанию калийных руд

1.1. Методы определения сопротивляемости калийных руд	8
1.1.1. Определение переходного коэффициента	10
1.1.2. Влияние пластических свойств калийных руд на энергоемкость их разрушения исполнительными органами комбайнов	15
1.2. Сопротивляемость калийных руд и углей	18
1.2.1. Основные сведения о сопротивляемости углей	18
1.2.2. Исследование сопротивляемости калийных руд	21
1.3. Изменчивость сопротивляемости калийных руд	33
1.4. Прогнозирование сопротивляемости пластов	46

ГЛАВА 2

Обобщение и анализ основных технических параметров комбайнов

2.1. Анализ технических параметров комбайнов непрерывного действия	55
2.1.1. Характеристики выработок, проходимых комбайнами	57
2.1.2. Энерговооруженность и энергоснабжение комбайнов	65
2.1.3. Характеристики исполнительных органов. Параметры разрушения забоя	71
2.1.4. Способы погрузки горной массы. Поверхности трения	76
2.1.5. Связи между энерговооруженностью исполнительных органов, массой комбайнов и сечением выработок. Цена комбайнов	79
2.2. Анализ технических параметров комбайнов циклического действия	82
2.2.1. Особенности схем обработки забоя	83
2.2.2. Принципиальные особенности исполнительных органов комбайнов	87
2.2.3. Энерговооруженность и ее связь с массовыми характеристиками. Цена комбайнов	90

ГЛАВА 3

Режимы работы электродвигателей комбайнов

3.1. Математическое описание нагрузки электродвигателей при случайном характере внешнего воздействия	95
3.2. Влияние жесткости шахтной сети на моментные характеристики электродвигателей	99
3.3. Инженерный метод расчета устойчивости мощности электродвигателей	105
3.3.1. Устойчивая электромагнитная мощность электродвигателей	106
3.3.2. Проверка устойчивой мощности электродвигателей по допустимому тепловому режиму	117

3.4. Исследование распределения средних нагрузок двухдвигательного привода комбайнов	121
3.4.1. Кинематически не связанный привод	121
3.4.2. Кинематически связанный привод	126
3.5. Динамические нагрузки на исполнительных органах с двухдвигательным приводом	129

ГЛАВА 4

Режимы работы комбайнов и определение их технических показателей по экспериментальным данным

4.1. Связь между сопротивляемостью пластов и производительностью комбайнов	139
4.2. Методы сравнительной оценки комбайнов по результатам анализа паспортов режима их работы	145
4.3. Технические показатели применения комбайнов	156
4.4. Экономически выгодный уровень производительности комбайнов	166
4.5. Основы методики расчета сил резания и подачи на исполнительных органах комбайнов для выемки калийных руд	172

ГЛАВА 5

Сравнительная оценка комбайнов по показателям качества

5.1. Критерии качества и их весомости	178
5.2. Определение относительных показателей критериев оценки качества	183
5.3. Оценка потребительских качеств комбайнов на основе установленных критериев	189
5.3.1. Методика определения качества комбайнов по частным, групповым и обобщенным показателям	189
5.3.2. Потребительские качества комбайнов	192
5.4. Некоторые итоги оценки эксплуатационных качеств комбайнов	198
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	204
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ	205

ИБ № 2488

Владимир Александрович БРЕННЕР

Израиль Соломонович ЗИЛЬБЕРТ

Валерий Анатольевич ЗЫКОВ

Дмитрий Маркович ЛЮБОЩИНСКИЙ

Режимы работы комбайнов для добычи калийных руд

Редактор издательства С. А. Моисеева

Переплет художника А. Д. Силаева Художественный редактор О. Н. Зайцева

Технический редактор О. Н. Ласточкина Корректор М. Е. Луккина

Сдано в набор 10.06.77 г. Подписано в печать 14.02.78 г. Т-02948. Формат 60×90^{1/16}.
 Бумага № 2. Гарнитурa обычн. Печать высокая. Печ. л. 13,5. Уч.-изд. л. 14,19.
 Тираж 1200 экз. Заказ 317/5815-12. Цена 2 р. 30 к.

Издательство «Недра», 103633, Москва, К-12, Третьяковский проезд, 1/19
 Ленинградская типография № 6 Союзполиграфпрома при Государственном комитете
 Совета Министров СССР по делам издательств, полиграфии и книжной торговли,
 196006, Ленинград, Московский пр., 91.