

ЗАКОНОМЕРНОСТИ ВЛИЯНИЯ НЕРАВНОМЕРНОСТИ НАГРУЖЕННОСТИ ИСПОЛНИТЕЛЬНЫХ ОРГАНОВ НА УСТОЙЧИВОСТЬ КОМБАЙНОВ И ВЫБОР МОЩНОСТИ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ

В.Н. Захаров¹, Ю.Н. Линник², В.Ю. Линник², А. Цих³

¹ Институт проблем комплексного освоения недр РАН, Москва, Россия

² Государственный университет управления, Москва, Россия, e-mail: vy_linnik@guu.ru

³ Фрайбургская академия, MS QF GmbH, Одервиц, Германия

Аннотация: При работе угледобывающих комбайнов в условиях, когда удельное содержание в угольном пласте крупных твердых включений и крепких породных прослоек велико, что характерно для шахт Кузбасса, разрушение пласта сопровождается повышенной динамической нагруженностью исполнительного органа, и может достигать критических значений при отказах нескольких резцедержателей в одной линии резания. Экспериментально установлено, что по мере отказов резцедержателей и с увеличением скорости подачи комбайна имеет место нарастание размахов варьирования потребляемой электродвигателями комбайна мощности, что отрицательно сказывается на устойчивом электромагнитном моменте и устойчивой мощности двигателей. Предложены зависимости, позволяющие рассчитывать устойчивые мощность и электромагнитный момент двигателей комбайнов, предназначенных для выемки пластов сложного строения. В тех случаях, когда нагрузки на исполнительных органах при перерезании крепких породных прослоек и крупных твердых включений в пласте превышают предельно допустимый уровень, нарушается устойчивость комбайнов. Предложены формулы для расчета устойчивости комбайнов исходя из максимально возможных значений внешних нагрузок, возникающих при разрушении пластов сложного строения.

Ключевые слова: угледобывающий комбайн, исполнительный орган, отказ резцедержателей, неравномерность нагруженности, пласт, твердые включения, породные прослойки, устойчивая мощность электродвигателей, электромагнитный момент, устойчивость комбайна.

Для цитирования: Захаров В. Н., Линник Ю. Н., Линник В. Ю., Цих А. Закономерности влияния неравномерности нагруженности исполнительных органов на устойчивость комбайнов и выбор мощности электродвигателей // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2021. – № 5. – С. 24–34. DOI: 10.25018/0236_1493_2021_5_0_24.

Effect of nonuniform loading of cutting tools on operational stability of cutter-loaders and on selection of power of motors

V.N. Zakharov¹, Yu.N. Linnik², V.Yu. Linnik², A. Zich³

¹ Institute of Problems of Comprehensive Exploitation of Mineral Resources of Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

² State University of Management, Moscow, Russia, e-mail: vy_linnik@guu.ru

³ Freiburg Academy, MS QF GmbH, Oderwitz, Germany

Abstract: When coal cutter-loaders cut coal seams enclosing very many large solid inclusions and hard dirt beds, which is typical of coal mines in Kuzbass, the coal cutting process results in the increased dynamic loading of cutting tools. Such loading can reach a critical level, and a group of cutter supports can fail in the same cutting line. It is experimentally proved that as cutter supports fail and with increasing advance speed of a cutter-loader, the ranges of power consumed by the cutter-loader motors grow, which negatively affects stable electromagnetic moment and stable power of motors. This article presents relations for calculating stable power and electromagnetic moment of motors for cutter-loaders meant for cutting seams of complex structure. When loading of cutting tools in cutting hard dirt beds and large solid inclusions in coal exceeds the maximum permissible level, stability of cutter-loaders is violated. The formulas are proposed for calculating stability of cutter-loaders based on the maximal possible values of external loads generated in cutting of complex structure seams.

Key words: coal cutter-loader, cutting tool, cutter support failure, nonuniform loading, seam, solid inclusions, dirt beds, stable power of motors, electromagnetic moment, cutter-loader stability.

For citation: Zakharov V. N., Linnik Yu. N., Linnik V. Yu., Zich A. Effect of nonuniform loading of cutting tools on operational stability of cutter-loaders and on selection of power of motors. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2021;(5):24-34. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236_1493_2021_5_0_24.

Введение

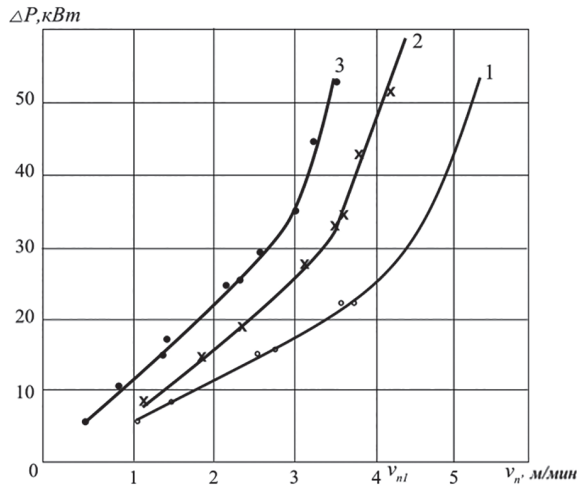
При разрушении угольных пластов, особенно имеющих сложное строение (наличие крепких породных прослоек и крупных твердых включений), нагрузки на резаках и на исполнительном органе в целом могут значительно отличаться от средних значений. Последнее отрицательно сказывается не только на надежности угледобывающих комбайнов и исполнительных органов [1–4], но и их элементах трансмиссий [5–7]. Так, исследованиями установлено [8, 9], что при работе угледобывающих комбайнов на пластах сложного строения доля отказов резцедержателей в общей структуре отказов шнековых исполнительных органов (шнеков) составляет от 45 до 100%, что приводит к нарушению схемы расстановки резцов и, как следствие, к нарушению устойчивой мощности и допустимого крутящего момента электродвигателей. Наличие в пласте крепких неоднородностей нарушает также

устойчивость комбайна на раме конвейера.

Влияние неравномерности нагруженности исполнительного органа на устойчивую мощность и допустимый крутящий момент двигателей комбайнов

Исследованиями установлено, что нарушение равномерности нагруженности шнеков угледобывающих комбайнов происходит, с одной стороны, из-за нарушения схемы расстановки резцов при отказах резцедержателей, а с другой, из-за изменчивости прочностных свойств разрушаемого угольного массива, особенно в тех случаях, когда в нем содержатся крупные твердые включения и крепкие породные прослойки.

Экспериментальные исследования по оценке влияния отказов резцедержателей на неравномерность нагруженности шнеков проводились в различных условиях разрушаемости угольных пластов,



Зависимости размаха варьирования мощности ΔP от скорости подачи комбайна v_n при работе с полным комплектом резцедержателей, при отказе резцедержателей в одной и двух линиях резания (кривые 1, 2 и 3 соответственно)

Range of variation in power ΔP versus advance speed v_{ad} of cutter-loader v_p in operations with all cutter supports and with cutter supports failed in one and two cutting lines (curves 1, 2 and 3, respectively)

оцениваемое показателем эквивалентной сопротивляемости пласта резанию A_3 (Н/мм), этим параметром оценивается влияние на нагрузки не только угля, но и содержащихся в нем породных прослоек и твердых включений [10]. Увеличение неравномерности нагрузок в процессе разрушения угольного массива косвенно оценивалось по данным об изменении размаха варьирования мощности $\Delta P = P_{\max} - P_{\min}$ (кВт) или относительного размаха варьирования $K_{н.р} = (P_{\max} - P_{\min})/P_{\text{М}}$, которые определялись по результатам записи мгновенной мощности, потребляемой электродвигателями комбайна $P_{\text{М}}$ (кВт), оснащенного шнеками со средне затупленными резцами. Расчетные зависимости $\Delta P = f(v_n)$ показали (рисунок), что с увеличением скорости подачи комбайна v_n имеет место нарастание размахов варьирования мощности ΔP , увеличивающиеся по мере отказов резцедержателей. При отказе двух резцедержателей в одной линии резания и более в других линиях практически во всем диапазоне

изменения V_n отмечается значимое превышение значений ΔP относительно их уровня при разрушении пласта шнеками с полным комплектом режущего инструмента.

Аналогичные зависимости были получены и при проведении экспериментов с комбайнами, оснащенными шнеками различных размеров и типами резцов. Во всех случаях характер зависимостей $\Delta P = f(v_n, n_{\text{от}})$ был такой же, как и на рисунке, однако размах варьирования мощности ΔP при одинаковых значениях v_n и числе вышедших из строя резцедержателей $n_{\text{от}}$ существенно зависел от ширины захвата шнека и числа резцов на нем. Это объясняется различной степенью влияния отказов резцедержателей на силовую уравновешенность исполнительных органов, отличающихся числом одновременно взаимодействующих с забоем резцов — чем больше резцов одновременно участвуют в разрушении забоя, тем он более уравновешен. А поскольку на исполнительных органах с большей шириной захвата и

меньшим диаметром (0,8–1,0 м) обычно устанавливается на 8–12 резцов больше, чем на шнеках большего диаметра с меньшей шириной захвата, то и размах варьирования мощности на первых меньше, чем на вторых.

Поскольку на неравномерность потребляемой мощности, помимо других факторов, связанных с характеристиками разрушаемого угольного массива, влияют и отказы резцедержателей, то это обстоятельство необходимо учитывать в соответствующих расчетах, связанных с определением необходимой мощности двигателей комбайнов.

Влияние неравномерности потребляемой мощности, зависящей от неравномерности нагруженности исполнительного органа, на уровень устойчивой мощности электродвигателей комбайна, определяется из выражения [11]

$$P_{уст} = (M_{уст} n_{дв}) / 9750, \text{ кВт} \quad (1)$$

где $n_{дв}$ — частота вращения двигателя, об/мин; $M_{уст}$ — устойчивый момент электродвигателя, Н·м.

Для выбора двигателя комбайна и определения его устойчивой мощности необходимо определить допустимый крутящий момент на валу двигателя, являющийся одним из технических ограничений процесса разрушения угольного массива. Устойчивая мощность привода комбайна обеспечивается тогда, когда с принятой вероятностью отклонения электромагнитного момента двигателя не превышают его максимально возможной величины. При соблюдении такого принципа средний электромагнитный момент, обеспечивающий устойчивую работу двигателя, в условиях шахты равен

$$M_{уст} = cM_{max} - K_n \sigma_n - K_y \sigma_y, \quad (2)$$

где M_{max} — максимальный стеновый электромагнитный момент (Н·м), принимается по паспортным данным электродвигателя; K_n и K_y — относительные от-

клонения, принимаемые в зависимости от требуемой вероятности работы без опрокидывания двигателя; σ_n и σ_y — средние квадратические отклонения электромагнитного момента, вызываемые неравномерностью нагруженности исполнительного органа и неточностью управления машиной соответственно, Н·м.

Коэффициент c в формуле (2) учитывает снижение максимального момента двигателя в условиях реальной шахтной электросети и определяется по следующему эмпирическому выражению:

$$c = 1 / (1 + 0,000266 M_{max}). \quad (3)$$

Исходя из предположения о нормальном распределении мощности [10], значение коэффициента $K_n = 3$, а K_y принимается равным 1,3 при ручном управлении комбайном и 1,8 при автоматизированном.

Величины σ_n и σ_y при нормальном распределении мощности P_m определяются по формулам

$$\sigma_n = 9750 \Delta P / 6 n_{дв}, \quad (4)$$

$$\sigma_y = v_y M_{уст}, \quad (5)$$

где v_y — коэффициент вариации момента, определяемый неточностью управления комбайном.

Практика эксплуатации очистных комбайнов показала, что значения v_y обычно составляют $0,08 \div 0,1$ при ручном управлении машиной и $0,03 \div 0,05$ — при автоматизированном.

Расчеты, выполненные по вышеприведенным формулам, для различных типов комбайнов с различным числом отказавших резцедержателей, при применении их в различных условиях по разрушаемости пластов показали, что во всех случаях, по мере отказов резцедержателей, наряду с увеличением общей мощности P_m и размаха варьирования ΔP , наблюдается существенное возрастание среднего квадратического отклонения потребляемой мощности

(в $1,2 \div 1,5$, $1,4 \div 1,7$ и $2,2 \div 2,5$ раза при отказе двух, четырех и шести резцедержателей соответственно в зависимости от типа комбайна и характеристик разрушаемости угольного пласта), что влечет за собой уменьшение устойчивого момента двигателя $M_{уст}$ и устойчивой мощности $P_{уст}$ комбайна.

Изложенные выше результаты исследований о влиянии отказов резцедержателей на энергетические параметры работы угледобывающих комбайнов позволили дать физическое толкование установленным закономерностям, которое заключается в следующем. При отказах резцедержателей происходит перераспределение нагрузок на исполнительном органе, вследствие чего нарушается его силовая уравновешенность, характеризующая конструктивным коэффициентом вариации окружной силы $v_{1ц}$. Вместе с тем отказы резцедержателей и увеличение из-за этого шага резания приводят к образованию межрезцовых целиков угля, вынужденное разрушение которых лопастями шнека вызывает повышение динамичности процесса резания, характеризующееся показателями неравномерности ΔP , σ_n и общих затрат мощности на процесс добычи угля. При малых скоростях подачи комбайна $v_n < 2,0 \dots 2,5$ м/мин на увеличение динамичности процесса резания в основном влияют прерывисто-установившийся режим резания угля и нарушение силовой уравновешенности исполнительного органа. При дальнейшем увеличении v_n возрастает вероятность контактирования лопастей шнека с неразрушенными межрезцовыми целиками угля, что вызывает дополнительный расход энергии и, в итоге, резкое увеличение потребляемой мощности и ее неравномерности. Чем больше при этом количество отказавших резцедержателей, тем выше вероятность появления межрезцовых целиков и контактирования о них лопастей при

меньших скоростях подачи (по сравнению с работой комбайнов с новыми шнеками).

На вариацию электромагнитного момента, а следовательно, и на уровень устойчивой мощности двигателей комбайна, помимо отказов резцедержателей, влияет также изменчивость прочностных свойств пласта [12–14]. В таких случаях рекомендуется устойчивый электромагнитный момент ($H \cdot m$) определять по формуле

$$M_{уст} = M_{\max,ф} / [1,1 + (1,75 \dots 2)v_{\text{Аи.о}}],$$

$$M_{уст} = M_{\max,ф} / [1,1 + (1,75 \dots 2)v_{\text{Аи.о}}], \quad (6)$$

где $M_{\max,ф}$ — фактический (в условиях питания от реальной сети шахты) максимальный электромагнитный момент двигателя, $H \cdot m$

В этом выражении величина коэффициента вариации сопротивляемости резанию $v_{\text{Аи.о}}$ зависит от средних значений показателя эквивалентной сопротивляемости пласта резанию A_3 в зоне работы исполнительного органа и показателя степени хрупкости B угля.

В зависимости от показателя степени хрупкости значения $v_{\text{Аи.о}}$ определяются по эмпирическому выражению:

$$v_{\text{Аи.о}} = (0,18 - 0,00034A_3)B. \quad (7)$$

Экспериментально установлено, при работе на пластах сложного строения, относящихся к группам 2 и 3 типовых условий [10], где вариация прочностных свойств пласта высока, значения $v_{\text{Аи.о}} = 0,05 \dots 0,6$.

Установлено, что при прочих равных условиях устойчивая мощность электродвигателей комбайнов $P_{уст}$ увеличивается с ростом максимального стенового момента $M_{\max,ст}$ ($H \cdot m$) и показателя эквивалентной сопротивляемости пласта резанию A_3 (H/mm). Это связано с тем, что с увеличением A_3 уменьшается значение $v_{\text{Аи.о}}$. Напротив, с ростом пока-

зателя степени хрупкости угля значения $v_{\text{Аи.о}}$ увеличиваются, а $M_{\text{уст}}$ и $P_{\text{уст}}$, наоборот, уменьшаются.

Объяснением полученных результатов является следующее: наличие в пластах крупных твердых включений и крепких породных прослоек может до 40% и более увеличивать сопротивляемость пласта резанию по сравнению с чистым углем. При этом значительно уменьшается скорость подачи комбайна, что связано с уменьшением значений устойчивой мощности, связанным с преодолением этих крепких неоднородностей, особенно в случаях, когда мощность двигателей не рассчитана на разрушение таких пластов.

Приведенные данные об изменении устойчивой мощности, конечно же, не означают, что при работе очистных комбайнов на пластах с вязкими углями фактическая производительность будет выше, чем при выемке пластов с хрупкими углями. При работе на пластах с хрупкими углями значительно ниже средние нагрузки при резании, поскольку в этом случае меньше фактические значения сопротивляемости резанию и разрушаемости, а значит, меньше $P_{\text{уст}}$.

Устойчивость очистных комбайнов

В тех случаях, когда нагрузки на исполнительных органах при перерезании крепких неоднородностей в пласте превышают предельно допустимый уровень, нарушается устойчивость комбайнов. В этой связи расчет устойчивости необходимо вести по максимально возможным значениям внешних нагрузок, возникающим при разрушении пластов сложного строения.

Внешние силы, действующие на очистной комбайн, условно подразделяются на возмущающие и восстанавливающие. Возмущающие зависят от нагрузок на исполнительном органе, к которым

относится равнодействующая сила резания и часть силы подачи, необходимая для осуществления процесса разрушения угольного забоя. К восстанавливающим относятся силы тяжести, сопротивления погрузки угля, натяжения холостой ветви тяговой цепи, часть силы подачи и др.

В общем случае устойчивость комбайна при работе соблюдается, если момент возмущающих сил M_B относительно возможной оси разворота не будет превосходить момента восстанавливающих сил M_Y относительно той же оси, т.е. если соблюдается условие:

$$M_B \leq M_Y. \quad (8)$$

Как показали исследования [15, 16], на устойчивость комбайнов в основном влияют низкочастотные изменения возмущающих сил. В этой связи суммарный коэффициент вариации возмущающего момента, необходимый для расчета устойчивости, определяется по формуле

$$v_c = \sqrt{v_{1u}^2 + v_{4u}^2 + v_{5u}^2} \quad (9)$$

где v_{1u} — конструктивный коэффициент вариации окружной силы; v_{4u} — коэффициент вариации сопротивляемости резанию по длине очистного забоя, вызывающей низкочастотные изменения нагрузки (изменяется от 0,25 при $A_3 < 120$ Н/мм до 0,12 при $A_3 > 120$ Н/мм); v_{5u} — коэффициент вариации толщины стружки, обусловленный колебанием скорости подачи комбайна (увеличивается до 0,35 с ростом средней нагрузки, снижается до 0,05 с увеличением скорости подачи и линейно зависит от жесткости системы подачи).

Момент возмущающих сил равен (Н·м)

$$M_B = \bar{M}_B(1 + Kv_c) \quad (10)$$

где \bar{M}_B — среднее значение возмущающего момента, Н·м; K — стандартное отклонение.

Данное выражение можно использовать в качестве ограничения при определении допустимой величины среднего крутящего момента и выборе режимных параметров

$$\bar{M}_{кр} = \frac{M_{в.пред}}{(1 + Kv_c)} \quad (11)$$

где $M_{в.пред}$ — предельный момент возмущающей сил, Н·м.

При выполнении расчетов исходя из ориентировочного предельного момента M_{np} , определяемого без учета изменчивости нагрузок, статическая устойчивость комбайнов, работающих с рамы конвейера, обеспечивается при соблюдении условия

$$M_{np} > (1 + \sqrt{2}v_k)M_m \quad (12)$$

где M_m — тяговый момент двигателя.

Коэффициент вариации v_k для шнековых исполнительных органов, работающих на пластах мощностью более 1,3 м, принимается равным 0,5, а при работе на пластах с $H_{пл} < 1,3$ м $v_c = 0,25$.

Расчет предельного момента M_{np} по устойчивости и опорные реакции определяются путем составления и решения системы уравнений, описывающих равновесное положение комбайна при разворотах относительно сторон опорного многоугольника с учетом различных режимов работы. При этом наряду с силами, действующими на исполнительный орган, учитываются силы веса G комбайна, сопротивления погрузке $F_{погр}$, натяжения холостой ветви тягового органа R_x , сила подачи $Y_{п}$, равнодействующие сил резания на исполнительном органе, составляющие опорных реакций и координаты точек приложения всех сил.

Устойчивость комбайна определяется для хода вниз и вверх по лаве при максимальной и минимальной вынимаемой мощности пласта, минимальном и максимальном углах падения, на которые рассчитано применение данного ти-

па комбайна. Режимы работы задаются моментом на валу двигателя (от нуля до максимального стандового) [1].

Если в результате выполненных расчетов не удовлетворяется условие (12), то принимается решение о внесении конструктивных изменений в комбайн для обеспечения его устойчивости (при $M_{np} < 1,1M_m$) или производится уточненный расчет устойчивости при

$$1,1M_m < M_{np} \leq (1 + \sqrt{2}v_k)M_m$$

для случаев нормальной работы до нонотонного опрокидывания и встрече исполнительного органа с крупным твердым включением (крепким породным прослойком).

Устойчивость работы комбайна при его нормальной работе считается допустимой, если предельный момент $M_{н.у.} \geq 1,1M_m$.

Предельный момент для наименее устойчивой схемы работы равен

$$M_{н.у.} = \frac{(\bar{M}_{об} M_y \Delta_{2np})}{\bar{M}_e} \quad (13)$$

где $\bar{M}_{об}$ — средний крутящий момент в общем приводе комбайна; Δ_{2np} — предельное значение коэффициента влияния изменчивости возмущающего момента, определяемое при решении системы уравнений, описывающих равновесное положение комбайна. Обычно $\Delta_{2np} < 1$.

При проверке устойчивости комбайна для случая встречи с твердым препятствием оценке подвергается расположение крупного твердого включения, которое создает наибольший возмущающий момент при его перерезании. Расчет устойчивости заключается в определении высоты подъема H_{np} опоры, стабилизирующей комбайн в плоскости пласта, и сравнении ее с высотой боковой щеки опорной лыжи H_6 . Устойчивость комбайна считается обеспеченной, если $H_{np} \leq 0,7H_6$.

Для уменьшения возмущающих моментов рекомендуется:

- располагать исполнительные органы как можно ближе к центру корпуса комбайна;

- применять встречное вращение исполнительных органов;

- по возможности равномерно располагать резцы на исполнительных органах;

- предусматривать такую опорную конструкцию, чтобы равнодействующая всех внешних сил при любом их сочетании проходила через опорные поверхности.

С целью получения исходных данных для расчета устойчивости выемочной машины определяют равнодействующие сил резания и координаты точек их приложения для различных положений исполнительных органов.

Таким образом, резюмируя вышеизложенное, можно сделать следующие выводы:

1. При выемке пластов сложного строения и отказах резцедержателей в таких условиях на исполнительных органах угледобывающих комбайнов формируются нагрузки, существенно превышающие средние. Последнее характеризует динамическую сторону процесса разрушения пласта, влияющую на величину устойчивого электромагнитного момента и устойчивую мощность электродвигателей, что необходимо учитывать при выборе двигателей.

2. При перерезании крупных по размерам твердых включений и породных прослоек, содержащихся в угольных пластах сложного строения, на исполнительных органах формируются нагрузки, превышающие предельно допустимый уровень, что наряду с отказами резцедержателей, в таких условиях увеличивающими неравномерность нагруженности исполнительных органов, нарушает устойчивость комбайнов.

3. При проектировании комбайнов, предназначенных для выемки пластов сложного строения, выбор электродвигателей и расчет устойчивости необходимо вести по максимально возможным значениям внешних нагрузок, возникающим при встрече с крупными твердыми включениями и крепкими породными прослойками с учетом возможных в таких условиях отказов резцедержателей.

4. Результаты исследований о влиянии неравномерности нагруженности исполнительных органов на устойчивость комбайнов и выбор мощности электродвигателей и полученные при этом расчетные зависимости базируются на экспериментальных данных, полученных авторами при работе очистных комбайнов в различных по разрушаемости угольных пластов условиях, с учетом результатов ранее выполненных исследований, отраженных в списке использованной литературы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Линник Ю. Н. Основы расчета надежности и эффективности функционирования исполнительных органов угледобывающих комбайнов в различных условиях эксплуатации: автореферат дис. ... доктора техн. наук: 05.05.06. — М.: Ин-т горн. дела, 1991. — 39 с.

2. Du Chang Long, Li Ti Jian Study on pick arrangement of shearer drum based on load fluctuation // Journal of China University of Mining and Technology. 2008, vol. 18, no. 2, pp. 305–310.

3. Хорешок А. А., Цехин А. М., Борисов А. Ю. Влияние условий эксплуатации горных комбайнов на конструкцию их исполнительных органов // Горное оборудование и электромеханика. — 2012. — № 6. — С. 2–5.

4. Hoseinie S. H., Ghodrati Behzad, Hosseini A. Availability analysis of drum shearer machine; A case study / Proceedings of the 24th International Mining Congress of Turkey, IMCET 2015. 2015, pp. 913–918.

5. Горбатов П. А. Прогнозирование максимальных нагрузок в подсистемах привода исполнительных органов очистных комбайнов. — Донецк: Технопарк ДонНТУ УНИТЕХ, 2011. — 130 с.

6. Гуляев В. Г., Тарасевич В. И. Методика исследования динамических характеристик и структур трансмиссий исполнительных органов угледобывающих комбайнов // Горный журнал. — 1973. — № 11. — С. 106–110.

7. Шпрехер Д. М., Колесников Е. Б., Бабокин Г. И. Повышение надежности электро-механической системы очистного комбайна // Горное оборудование и электромеханика. — 2017. — № 6. — С. 9–14.

8. Zich A., Linnik Yu. N., Linnik V. Yu. Verlängerung der Betriebsdauer von Meiselhalterungen an schneidenden Kohlegewinnungsmaschinen // Mining Report 5. Gluckauf. 2017, no. 153, pp. 474–479.

9. Линник Ю. Н., Линник В. Ю., Гарифуллин Ф. Ф. Нагруженность и долговечность средств крепления резцов при износе гнезд резцедержателей угледобывающих комбайнов // Уголь. — 2018. — № 11. — С. 24–31.

10. Линник Ю. Н., Шерсткин В. В., Линник В. Ю. Интегральный показатель оценки разрушаемости угольных пластов // Горный журнал. — 2015. — № 8. — С. 16–18.

11. Позин Е. З., Меламед В. З., Тон В. В. Разрушение углей выемочными машинами. — М.: Недра, 1984. — 288 с.

12. Горбатов П. А., Лысенко Н. М., Воробьев Е. А. Установление динамических характеристик подсистемы привода исполнительных органов очистного комбайна нового поколения // Горное оборудование и электромеханика. — 2008. — № 2. — С. 13–17.

13. Kumar C., Prakash A. Design Methodology for cutting drum, power rating and operational control of surface miner under varied rock conditions— an approach // Journal of Mining Sciences. 2018, vol. 54, no. 4, pp. 582–590.

14. Kumar C., Prakash A. Experimental investigations on thermal behavior during pick-rock interaction and optimization of operating parameters of surface miner // International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences. 2020, vol. 133, article 104360. DOI: 10.1016/j.ijrmms.2020.104360.

15. Маметьев Л. Е., Борисов А. Ю. Влияние условий эксплуатации на устойчивость проходческого комбайна с двухкорончатым реверсивным стреловидным исполнительным органом // Вестник Кузбасского государственного технического университета. — 2017. — № 3. — С. 103–109.

16. Басалай Г. А. Оценка запаса устойчивости очистных комбайнов на ставе забойного конвейера в рабочем режиме // Горная механика и машиностроение. — 2019. — № 2. — С. 54–64. **ГИАБ**

REFERENCES

1. Linnik Yu. N. *Osnovy rascheta nadezhnosti i effektivnosti funktsionirovaniya ispolnitel'nykh organov ugledobyvayushchikh kombainov v razlichnykh usloviyakh ekspluatatsii* [Basics for calculating the reliability and efficiency of the functioning of the executive bodies of coal mining combines in various operating conditions], Doctor's thesis, Moscow, 1991, 39 p.

2. Du Chang Long, Li Ti Jian Study on pick arrangement of shearer drum based on load fluctuation. *Journal of China University of Mining and Technology*. 2008, vol. 18, no. 2, pp. 305–310.

3. Khoreshok A. A., Tsekhin A. M., Borisov A. Yu. Influence of operating conditions of mining combines on the design of their executive bodies. *Mining Equipment and Electromechanics*. 2012, no. 6, pp. 2–5. [In Russ].

4. Hoseinie S. H., Ghodrati Behzad, Hosseini A. Availability analysis of drum shearer machine; A case study. *Proceedings of the 24th International Mining Congress of Turkey, IMCET 2015*. 2015, pp. 913–918.

5. Gorbatov P. A. *Prognozirovanie maksimal'nykh nagruzok v podsystemakh privoda ispolnitel'nykh organov ochistnykh kombainov* [Prediction of maximum loads in the subsystems of the drive of the shearers' executive bodies], Donetsk, DonNTU UNITEKH, 2011, 130 p.

6. Gulyaev V. G., Tarasevich V. I. Methods for studying the dynamic characteristics and structures of transmissions of the executive bodies of coal mining combines. *Gornyi Zhurnal*. 1973, no. 11, pp. 106–110. [In Russ].

7. Shprekher D. M., Kolesnikov E. B., Babokin G. I. Improving the reliability of the shearer's electromechanical system. *Mining Equipment and Electromechanics*. 2017, no. 6, pp. 9–14. [In Russ].

8. Zich A., Linnik Yu. N., Linnik V. Yu. Verlängerung der Betriebsdauer von Meiselhalterungen an schneidenden Kohlegewinnungsmaschinen. *Mining Report 5. Gluckauf*. 2017, no. 153, pp. 474–479.

9. Linnik Yu. N., Linnik V. Yu., Garifullin F. F. Load and durability of tools for fastening cutters during wear of tool holders of coal miners. *Ugol'*. 2018, no. 11, pp. 24–31. [In Russ].

10. Linnik Yu. N., Sherstkin V. V., Linnik V. Yu. Integral criterion of coal seam breakability. *Gornyi Zhurnal*. 2015, no. 8, pp. 16–18. [In Russ].

11. Pozin E. Z., Melamed V. Z., Ton V. V. *Razrushenie ugley vyemochnymi mashinami* [Coal crushing by excavating machines], Moscow, Nedra, 1984, 288 p.

12. Gorbatov P. A., Lysenko N. M., Vorob'ev E. A. Establishing the dynamic characteristics of the drive subsystem of the executive bodies of a new generation shearer. *Mining Equipment and Electromechanics*. 2008, no. 2, pp. 13–17. [In Russ].

13. Kumar C., Prakash A. Design Methodology for cutting drum, power rating and operational control of surface miner under varied rock conditions – an approach. *Journal of Mining Sciences*. 2018, vol. 54, no. 4, pp. 582–590.

14. Kumar C., Prakash A. Experimental investigations on thermal behavior during pick-rock interaction and optimization of operating parameters of surface miner. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*. 2020, vol. 133, article 104360. DOI: 10.1016/j.ijrmm.2020.104360

15. Mamet'ev L. E., Borisov A. Yu. Influence of operating conditions on the stability of a roadheader with a double-crown reversible arrow-shaped executive body. *Vestnik Kuzbasskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*. 2017, no. 3, pp. 103–109. [In Russ].

16. Basalay G. A. Assessment of the stability margin of shearers on the face conveyor head in operating mode. *Gornaya mehanika i mashinostroenie*. 2019, no. 2, pp. 54–64. [In Russ].

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Захаров Валерий Николаевич – чл.-корр. РАН, д-р техн. наук, профессор,

Институт проблем комплексного освоения недр РАН,

Линник Юрий Николаевич¹ – д-р техн. наук, профессор,

Линник Владимир Юрьевич¹ – д-р экон. наук, доцент,

профессор, e-mail: vy_linnik@guu.ru,

Цих Алексей – д-р техн. наук, профессор, Фрайбургская академия,

консультант в области энергоэффективности,

MS QF GmbH, Одервиц, Германия.

¹ Государственный университет управления.

Для контактов: Линник В.Ю., e-mail: vy_linnik@guu.ru.

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

V.N. Zakharov, Corresponding Member of Russian Academy of Sciences,

Dr. Sci. (Eng.), Professor, Institute of Problems of Comprehensive Exploitation

of Mineral Resources of Russian Academy of Sciences, 111020, Moscow, Russia,

*Yu.N. Linnik*¹, Dr. Sci. (Eng.), Professor,
*V.Yu. Linnik*¹, Dr. Sci. (Econ.), Assistant Professor,
Professor, e-mail: vy_linnik@guu.ru,
A. Zich, Dr. Sci. (Eng.), Professor, Freiburg Academy,
Consultant in the Field of Energy Efficiency, MS QF GmbH, Oderwitz, Germany,
¹ State University of Management, 109542, Moscow, Russia.
Corresponding author: V.Yu. Linnik, e-mail: vy_linnik@guu.ru.

Получена редакцией 24.12.2020; получена после рецензии 19.01.2021; принята к печати 10.04.2021.
Received by the editors 24.12.2020; received after the review 19.01.2021; accepted for printing 10.04.2021.



РУКОПИСИ, ДЕПОНИРОВАННЫЕ В ИЗДАТЕЛЬСТВЕ «ГОРНАЯ КНИГА»

СТРУКТУРНЫЕ СХЕМЫ ДЛЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ НИЗКОВОЛЬТНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ ЦЕХОВ ОБОГАТИТЕЛЬНЫХ ФАБРИК

(№ 1236/05-21 от 15.03.2021; 16 с.)

Герасимов Анатолий Игоревич — канд. техн. наук, доцент, НИТУ «МИСиС», e-mail: mggg.eegp@mail.ru.

Рассмотрено совершенствование методики проектирования электроснабжения цехов горных предприятий. Распределительные электрические сети низкого напряжения цехов состоят из радиальных и магистральных линий, в которых от подстанций до электроприемников имеется несколько коммутационных защитных аппаратов и проводников. Выбор электрических аппаратов и проводников связан с выполнением требований существующей нормативно-технической документации. Большое количество предъявляемых требований осложняет процесс проектирования. Структурные схемы, имеющиеся в отечественных и зарубежных источниках, не обеспечивают детальную последовательность процессов проектирования низковольтных электрических сетей цехов. На основе известных методик проектирования электроснабжения низковольтных электрических сетей автором созданы структурные схемы, в которых предлагается четкая система последовательных операций от предложения возможных вариантов и принятия технических решений до технико-экономического обоснования лучшего варианта. Приведены структурные схемы для проектирования низковольтных электрических сетей: общая, с выбором проводников по нагреву, с проверкой проводников по потере напряжения, с технико-экономическим обоснованием варианта электроснабжения.

Ключевые слова: цех, электрические сети, низкое напряжение, проектирование, структура, аппараты, защита, проводники, обоснование.

BLOCK DIAGRAMS FOR THE DESIGN OF LOW-VOLTAGE ELECTRICAL NETWORKS OF PROCESSING PLANTS

A.I. Gerasimov, Cand. Sci. (Eng.), Assistant Professor, National University of Science and Technology «MISIS», 119049, Moscow, Russia, e-mail: mggg.eegp@mail.ru.

The article is devoted to improving the methodology for designing power supply shops of mining enterprises. Distribution electrical low-voltage networks of workshops consist of radial and main lines, in which from switching stations to electrical receivers there are several switching and protection devices and conductors. The choice of electrical devices and conductors is connected with the fulfillment of the requirements of the existing regulatory and technical documentation. A large number of requirements complicates the design process. Structural diagrams, available domestic and foreign sources, do not provide a detailed sequence of processes for designing low-voltage electrical networks of workshops. Based on the well-known methodologies of designing power supply for low-voltage electrical networks, the author has created structural diagrams that propose a clear system of sequential operations from proposing possible options and making technical decisions to a feasibility study of the best option. The article provides structural diagrams for the design of low-voltage electrical networks: general, with selection of conductors by heating, with verification of conductors by voltage loss, with feasibility study of the power supply option.

Key words: workshop, electrical networks, low voltage, design, structure, devices, protection, conductors, justification.