

Определение рациональной формы укосины для стальных укосных копров многофункционального назначения

DOI: <http://dx.doi.org/10.18796/0041-5790-2022-10-55-59>

Существующие расчеты конструктивных элементов укосных стальных надшахтных копров включают в себя расчет укосины, который сводится к определению внутренних усилий с последующими проверками по предельным состояниям по аналогии с балками постоянного сечения. Так как изгибающие моменты обычно меняются по длине укосины неравномерно, подбирая ее сечение по наибольшему изгибающему моменту, получают излишний запас материала во всех сечениях укосины, кроме того, которому соответствует максимальное значение момента. Такой подход не позволяет получить конструкцию минимальной материалоемкости. Для получения рационального сечения укосины нужно стремиться к тому, чтобы по возможности наибольший объем материала работал при напряжениях, равных допускаемым или близким к ним. В предложенной укосине переменного по высоте сечения эффективность достигается оптимизацией его размеров в соответствии с эпюрами внутренних усилий. При этом параметры полученного сечения должны удовлетворять условию равнопрочности растянутой и сжатой зон при изгибе. Для конструкции из стали, материала, одинаково работающего на растяжение и сжатие, условие равнопрочности выполняется для сечений, симметричных относительно нейтральной оси. К таким сечениям относится сечение в форме симметричного двутавра либо близкого к нему по критерию рациональности, так называемое коробчатое сечение, в которых большая часть материала сосредоточена в зонах, максимально удаленных от нейтральной оси. Предложенный подход по оптимизации параметров укосины позволяет получить эффективную конструкцию, обладающую минимальной площадью и максимальными значениями осевых моментов инерции при заданной нагрузке, т. е. конструкцию минимальной материалоемкости при соблюдении условий прочности.

Ключевые слова: стальные укосные копры, стальные укосные копры многофункционального назначения, построение рациональной формы укосины.

Для цитирования: Кассихина Е.Г., Русакова Н.А. Определение рациональной формы укосины для стальных укосных копров многофункционального назначения // Уголь. 2022. № 10. С. 55-59. DOI: <http://dx.doi.org/10.18796/0041-5790-2022-10-55-59>.

ВВЕДЕНИЕ

Укосные шахтные копры являются наиболее ответственными сооружениями шахтной поверхности, поскольку они обеспечивают вертикальный транспорт и связаны с системами вентиляции и безопас-

КАССИХИНА Е.Г.

Канд. техн. наук, доцент кафедры
«Физические процессы и строительная
геотехнология освоения недр»
ФГБОУ ВПО «КузГТУ им. Т.Ф. Горбачева»,
650000, г. Кемерово, Россия,
e-mail: kalena-07@mail.ru

РУСАКОВА Н.А.

Канд. техн. наук, доцент кафедры
«Прикладные информационные технологии»
ФГБОУ ВПО «КузГТУ им. Т.Ф. Горбачева»,
650000, г. Кемерово, Россия

ности подъема [1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13]. В конструктивном отношении укосные копры являются пространственными стержневыми системами, предназначенными для размещения шкивов подъемных установок (рис. 1).

На отметке размещения копровых шкивов на копер действуют значительные силы натяжения канатов подъемной машины, для восприятия которых предназначена укосина 1 – наклонный конструктивный элемент в виде фермы или рамы. При этом часть нагрузки воспринимается станком 2, на который, как правило, опирается укосина.

На кафедре «Физические процессы и строительная геотехнология освоения недр» КузГТУ разработан стальной копер многофункционального назначения (рис. 2, а), в котором вся нагрузка R от натяжения канатов подъемной машины передается на укосину 1. При этом отдельно стоящий станок 2 связи с укосиной не имеет [14, 15, 16].

Целью исследования является определение рациональной конфигурации укосины копра многофункционального назначения (МФН) для получения конструкции минимальной материалоемкости при соблюдении условий прочности.

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Все традиционные расчеты укосин копров (см. рис. 1) сводятся к определению внутренних усилий с последующими проверками по предельным состояниям для конструкций по аналогии с балками постоянного сечения (рис. 3, а).

Так как изгибающие моменты обычно меняются по длине укосины (рис. 2, а; 3, б), подбирая ее сечение по наибольшему изгибающему моменту M_{max} , мы получаем излишний запас материала во всех сечениях укосины, кроме того которому соответствует M_{max} .

Такой подход при проектировании укосины копра МФН не позволяет получить конструкцию минимальной материалоемкости, принимая во внимание, что на нее приходится вся нагрузка R от натяжения канатов.

Для экономии материала, а также для увеличения гибкости конструк-

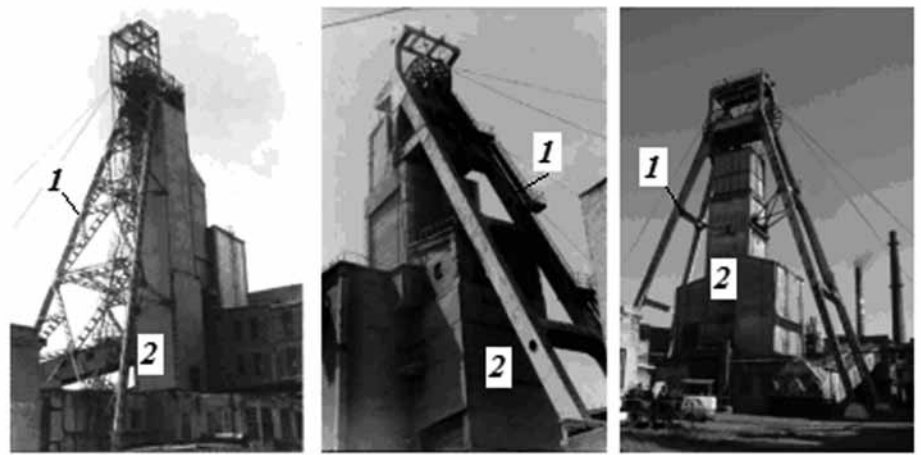


Рис. 1. Укосные шахтные копры: 1 – укосина; 2 – станок

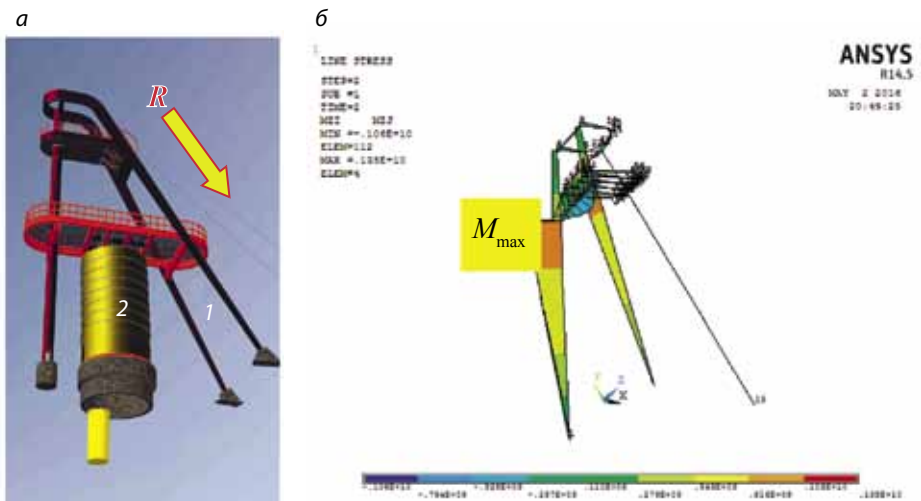


Рис. 2. Копер многофункционального назначения: а – конструктивная схема; б – эпюра моментов от усилия R (натяжение канатов подъемной машины); 1 – укосина; 2 – станок

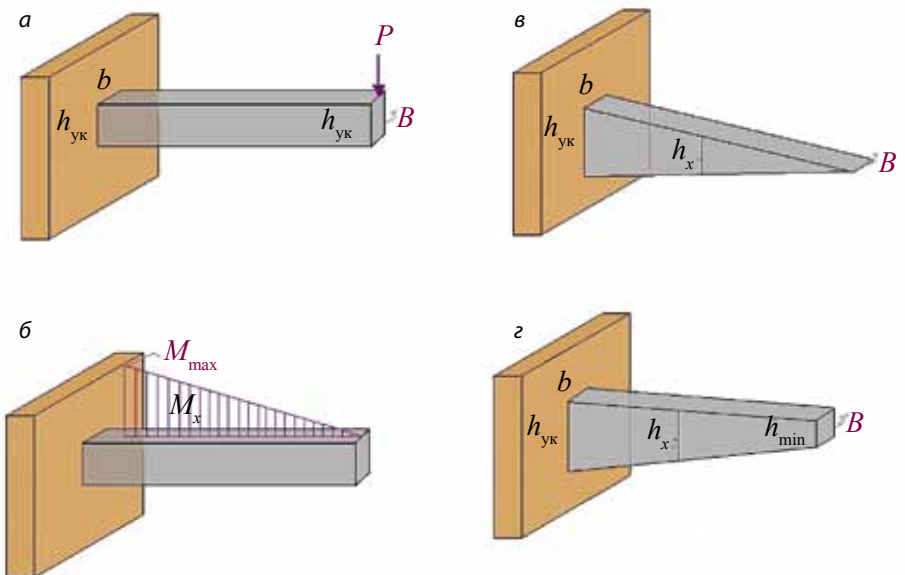


Рис. 3. Расчетная схема укосины: а – схема укосины как балки постоянного сечения; б – эпюра моментов от усилия R (натяжение канатов подъемной машины); в – схема укосины как балки равно сопротивления без учета касательных напряжений; г – схема укосины как балки равно сопротивления с учетом касательных напряжений

ции применяют балки равного сопротивления. Под этим названием подразумевают балки, у которых во всех сечениях наибольшее нормальное напряжение одинаково и должно быть равно допускаемому $[\sigma]$. Условие, определяющее форму такой балки, имеет вид:

$$\sigma_{\max} = \frac{M_x}{W_x} \leq [\sigma]. \quad (1)$$

Здесь M_x и W_x – изгибающий момент и момент сопротивления в любом сечении балки; $W(x)$ для каждого сечения балки должен меняться пропорционально изгибающему моменту.

Покажем ход вычисления рациональной конфигурации укосины по аналогии с балкой равного сопротивления на примере. Рассмотрим укосину пролетом l , защемленную одним концом и нагруженную на другом конце B силой P (см. рис. 3, а). Выберем сечение укосины в виде прямоугольника. Задачу о надлежащем изменении момента сопротивления можно решать, меняя высоту или ширину сечения, или тот и другой размер вместе. Примем ширину балки постоянной $b = b_0$, а высоту – переменной h_x . Момент сопротивления в сечении на расстоянии x от свободного конца будет $W_x = b(h(x))^2/6$, а изгибающий момент $M_x = -Px$; момент сопротивления опорного сечения $W_0 = b(h_{\text{ук}})^2/6$, а наибольший изгибающий момент в опорном сечении $M_{\max} = |Pl|$. В расчете имеют значения лишь абсолютные величины M_x и M_{\max} .

По формуле (1) получаем в любом сечении:

$$\frac{M_{\max}}{W_0} = \frac{M_x}{W_x} = [\sigma], \quad (2)$$

откуда

$$\frac{Pl6}{bh_{\text{ук}}^2} = \frac{Px6}{b(h(x))^2} = [\sigma]. \quad (3)$$

Таким образом, получаем зависимость:

$$h(x) = h_{\text{ук}} \sqrt{\frac{x}{l}}. \quad (4)$$

Это означает, что при учете только нормальных напряжений $[\sigma]$ функция h_x в сечении B обращается в нуль (рис. 4), а в опорном сечении достигает максимального значения $h_{\text{ук}}$. Очертание укосины получается согласно рис. 3, в.

Однако необходимо обеспечить прочность и по отношению к касательным напряжениям $[t]$. Наименьшая высота балки, требуемая этим условием, определится из уравнения:

$$\tau_{\max} = \frac{3}{2} \cdot \frac{Q_{\max}}{h_{\min} b} = [t], \quad (5)$$

или, так как $Q_{\max} = P$

$$h_{\min} = \frac{3P}{2[t]b}. \quad (6)$$

Для получения рациональной конфигурации укосины необходимо аппроксимировать полученную функцию $h(x)$ некоторой линейной функцией. В качестве аппроксимирующей функции будем рассматривать касательную к функции $h(x)$, проведенную в точке $B(l, h_{\text{ук}})$ (см. рис. 4). Чтобы построить конфигурацию укосины, отложим от точки A расстояние, соответствующее h_{\min} (точка C). Соединяя точку C с точкой $D(l, 0)$, получаем необходимую площадь $ABDC$. При $x = l$ высота равна $BD = h_{\text{ук}}$. Изменяя h_{\min} в допустимых пределах, мы можем получить различные конфигурации укосины в соответствии с эпюрами внутренних усилий.

Таким образом, получено уточненное очертание укосины с учетом нормальных и касательных напряжений (рис. 3, з).

Получение конструкции укосины минимальной материалоемкости достигается не только работой большей части ее сечений при напряжениях, равных допускаемым или близким к ним. Прежде всего рациональное сечение укосины при изгибе должно удовлетворять условию равнопрочности растянутой и сжатой зон балки (рис. 5, а). Иными словами необходимо, чтобы наибольшие напряжения растяжения σ_p^{\max} и наибольшие напряжения сжатия $\sigma_{\text{сж}}^{\max}$ одновременно достигали допускаемых напряжений $[\sigma_p^{\max}] = [\sigma_{\text{сж}}^{\max}] = [\sigma]$.

Для конструкции из стали, одинаково работающей на растяжение и сжатие, условие равнопрочности выполняется для сечений, симметричных относительно нейтральной оси. К таким сечениям относится, например, прямоугольное сечение (рис. 5, б). Однако в этом случае материал, рав-

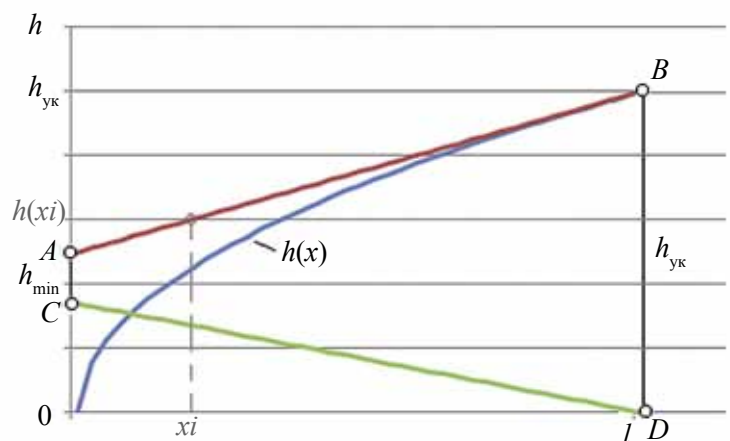


Рис. 4. Построение рациональной конфигурации укосины

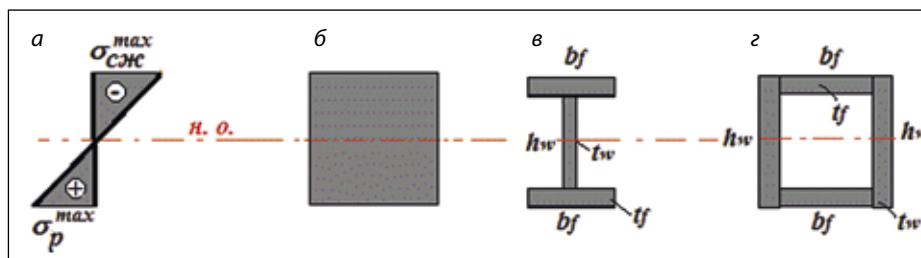


Рис. 5. Варианты сечений укосины: а – эпюра напряжений; б – прямоугольное сечение; в – двутавровое сечение; г – коробчатое сечение

номерно распределенный по высоте сечения, неэффективно используется в зоне нейтральной оси. Чтобы получить более экономичное сечение, необходимо возможно большую часть материала переместить в зоны, максимально удаленные от нейтральной оси. Таким образом, приходим к рациональному сечению в форме симметричного двутавра (рис. 5, в) переменной высоты от h_{\min} до $h_{\text{ук}}$, обладающему минимальной площадью A при заданной изменяющейся эпюре изгибающих моментов. К двутавровому сечению близко по критерию рациональности так называемое коробчатое сечение (рис. 5, г), которое более надежно с точки зрения устойчивости. Принимаем коробчатое сечение с переменными значениями высоты стенок $h_w = h_{\text{ук}} - h_{\min}$ по всей длине укосины в качестве рационального с точки зрения минимизации расхода материала.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Предложенный подход к оптимизации параметров укосины переменного сечения позволяет получить эффективную конструкцию, обладающую минимальной площадью и максимальными значениями осевых моментов инерции при заданной нагрузке, то есть конструкцию минимальной материалоемкости при соблюдении условий прочности.

Список литературы

1. Русских А.Г. Практические аспекты обследования надшахтных копров // Международный научно-исследовательский журнал. 2016. № 9 (51). Часть 4. С. 17-20. DOI: 10.18454/IRJ.2016.51.103.
2. Butler D.W., Schneyderberg A.C. Headframe selection – steel vs. concrete // Mining Congress Journal. 1982. 7(1). 15.
3. Edwards F.A. Hoisting systems. SME Mining engineering handbook [M]. Society for Mining, Metallurgy and Exploration, 1992. Vol. 2.
4. Rojas-Sola J.I., Montalvo-Gil J.M., Castro-Garcia M. 3D modeling and functional analysis of a headframe for mineral extraction // Dyna. 2013. Vol. 181. P. 118-125.
5. Nechytailo A.Ye., Horokhov Ye.V., Kushchenko V.N. Analysis of the mode of deformation of the sub-pulley structures on shaft sloping headgear structures / 18th International Conference on the Application of Computer Science and Mathematics in Architecture and Civil Engineering 1. Weimar. 2009.
6. Hartman H.L., Mutmanský J.M. Introductory Mining Engineering- John Wiley and Sons. 2002. 592 p.
7. Hartman H.L., Britton S.G., Mutmanský J.M. SME Mining Engineering Handbook, Society for Mining, Metallurgy and Exploration.
8. Ross I. Goldcorp going electric with Chapleau gold mine. Northern Ontario Business. 2016. URL: <http://www.mining.com/web/goldcorp-going-electric-with-chapleau-gold-mine> (дата обращения 15.09.2022).
9. Rojas-Sola J.I., Palomares-Muñoz I. 3D modelling and static analysis of a Spanish articulated metal headframe for mineral extraction // Dyna. 2015. Vol. 6. 602 p.
10. Kelly L. Historical end. Northern Ontario business [J]. 2014. Vol. 34(3). P. 31.
11. Reuther Ernst-Ulrich. Einführung in den Bergbau. Essen: Auflage Verlag Glückauf GmbH, 1992.
12. Reuther Ernst-Ulrich. Lehrbuch der Bergbaukunde. Essen: Auflage, VGE Verlag GmbH, 2010. Vol. 1.
13. Ernst R. Wörterbuch der Industriellen Technik. Wiesbaden, 1989.
14. Кассихина Е.Г. Новая конструктивная форма надшахтного копра многофункционального назначения // Горный журнал. 2017. № 8. С. 56-60.
15. Selection of a Rational Form for the Steel Winding Tower as a Preventive Measure to Increase its Industrial Safety / E.G. Kassikhina, Qiao Weiguo, V.V. Pershin et al. / Taishan Academic Forum – Project on Mine Disaster Prevention and Control 1. Atlantis Press. 2014.
16. Kassikhina E.G., Pershin V.V., Glazkov J.F. New Technical Solution for Vertical Shaft Equipping Using Steel Headframe of Multifunction Purpose // E3S Web of Conferences. 2017. Vol. 21. P. 01007.

Original Paper

UDC 622.673.2 © E.G. Kassikhina, N.A. Rusakova, 2022
 ISSN 0041-5790 (Print) • ISSN 2412-8333 (Online) • Ugol' – Russian Coal Journal, 2022, № 10, pp. 55-59
 DOI: <http://dx.doi.org/10.18796/0041-5790-2022-10-55-59>

Title

RATIONAL JIB FORM DETERMINING FOR THE MULTI-PURPOSE STEEL HEADFRAMES

Authors

Kassikhina E.G.¹, Rusakova N.A.¹

¹ T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University, Kemerovo, 650000, Russian Federation

Authors Information

Kassikhina E.G., PhD (Engineering), Associate Professor of the Department of Physical processes and construction geotechnology of subsurface development, e-mail kalena-07@mail.ru

Rusakova N.A., PhD (Engineering), Associate Professor of the Department of Applied information technologies

Abstract

Available calculations of the angle headframe structural elements include calculation of a jib that reduced to determining internal forces with the subsequent control on the limit states by analogy with beams of constant cross-section. Since bending moments usually vary unevenly along the jib length, selecting its cross-section by the largest bending moment, an excess

supply of material is obtained in all sections of the jib, except for the one that corresponds to the maximum value of the moment. This method does not let us to obtain a design with minimal material consumption. To obtain a rational jib cross-section, it is essential to strive to ensure that the largest possible volume of material works at stresses equal to or close to the permissible ones. In the proposed jib of variable cross-section height, the efficiency is achieved by optimizing its size in accordance with the internal force diagrams. Herewith, the parameters of the resulting cross-section should meet the condition of strength balance of the stretched and compressed zones at bending. For a structure made of steel, material equally working on stretch and compression, the strength balance condition is met for the sections that are symmetrical relative to the neutral axis. Such sections include a section in a form of the symmetrical H-beam,

or close to it, by the rationality criterion, so-called box-section, in which most of the material is concentrated in areas maximally remote from the neutral axis. The proposed method for the jib parameters optimization permits to obtain an effective structure with minimum area and maximum values of axial moments of inertia at given load, i.e., a structure of minimal material consumption under the conditions of strength.

Keywords

Steel angle headframe, Multifunctional steel angle headframe, Building rational jib configuration chart.

References

1. Russkikh A.G. Practical aspects of investigation of head pile drivers [J]. *Mezhdunarodnyy nauchno- issledovatel'skiy zhurnal*, 2016, (9), Pt. 4, pp. 17-20. (In Russ.). DOI: 10.18454/IRJ.2016.51.103.
2. Butler D.W. & Schneyderberg A.C. Headframe selection – steel vs. concrete [J]. *Mining Congress Journal*, 7(1), 15 (1982)
3. Edwards F.A. Hoisting systems. *SME Mining engineering handbook* [M]. Society for Mining, Metallurgy and Exploration, 1992, (2).
4. Rojas-Sola J.I., Montalvo-Gil J.M. & Castro-Garcia M. 3D modeling and functional analysis of a headframe for mineral extraction. *Dyna*, 2013, (181), 118-125.
5. Nechytailo A.Ye., Horokhov Ye.V. & Kushchenko V.N. Analysis of the mode of deformation of the sub-pulley structures on shaft sloping headgear structures. 18th International Conference on the Application of Computer Science and Mathematics in Architecture and Civil Engineering 1. Weimar, 2009.
6. Hartman H.L. & Mutmansky J.M. *Introductory Mining Engineering*. John Wiley and Sons, 2002, 592 p.
7. Hartman H.L., Britton S.G. & Mutmansky J.M. *SME Mining Engineering Handbook*. Society for Mining, Metallurgy and Exploration.

8. Ross I. Goldcorp going electric with Chapleau gold mine. Northern Ontario Business, 2016. Available at.: <http://www.mining.com/web/goldcorp-going-electric-with-chapleau-gold-mine> (accessed 15.09.2022).
9. Rojas-Sola J.I. & Palomares-Muñoz I. 3D modelling and static analysis of a Spanish articulated metal headframe for mineral extraction. *Dyna*, 2015, (6), 602 p.
10. Kelly L. Historical end Northern Ontario business [J], 2014, (34), 31.
11. Reuther. Ernst-Ulrich. Einführung in den Bergbau. Auflage, Verlag Glückauf GmbH, Essen, 1992.
12. Reuther Ernst-Ulrich. Lehrbuch der Bergbaukunde. Erster Band. Auflage, VGE Verlag GmbH, Essen, 2010.
13. Ernst R. Wörterbuch der Industriellen Technik. Wiesbaden, Oscar Brandstetter, 1989.
14. Kassikhina E.G. New multifunctional headframe design. *Gornyy zhurnal*, 2017, (8), pp. 56. (In Russ.).
15. Kassikhina E.G., Qiao Weiguo, Pershin V.V. & Butrim N.O. Selection of a Rational Form for the Steel Winding Tower as a Preventive Measure to Increase its Industrial Safety, Taishan Academic Forum – Project on Mine Disaster Prevention and Control 1. Atlantis Press, 2014.
16. Kassikhina E.G., Pershin V.V. & Glazkov J.F. New Technical Solution for Vertical Shaft Equipping Using Steel Headframe of Multifunction Purpose. *E3S Web of Conferences*, 2017, (21), pp. 01007.

For citation

Kassikhina E.G. & Rusakova N.A. Rational jib form determining for the multi-purpose steel headframes. *Ugol'*, 2022, (10), pp. 55-59. (In Russ.). DOI: 10.18796/0041-5790-2022-10-55-59.

Paper info

Received August 17, 2022

Reviewed August 30, 2022

Accepted September 26, 2022

Бородинский разрез СУЭК модернизирует логистические мощности

Основная задача такой модернизации – повышение эффективности и надежности перевозок железнодорожным транспортом внутри угольного разреза как технологических грузов, так и угля для обеспечения теплостанций Красноярского края и Сибири.

Масштабные изменения коснутся восточной части Бородинского разреза: здесь будет обустроена новая транспортная развязка с тоннелем и размещен пост «Восточно-обменный», где идет распределение железнодорожных составов по путям восточного крыла угольного разреза.

Строительство новой транспортной развязки и перенос поста будут выполняться одновременно. «Это необходимо, чтобы перенаправить потоки вскрышных пород с восточных отвалов в выработанное пространство в центре разреза, не нарушая при этом передвижение составов с углем, и обеспечить дальнейшее продвижение фронта горных работ», – поясняет **главный инженер Бородинского разреза Юрий Килин**.

Кроме того, реконструкция восточного крыла разреза позволит равномерно распределить нагрузку на основное оборудование, обеспечит ритмичную работу железнодорожного транспорта. Строительство объекта запланировано на 2023-2024 гг.

Ранее масштабная реконструкция проводилась на Бородинском разрезе в 2006 г.: в ходе работ была убрана



«перемычка», соединяющая основное поле разреза и восточный участок, в результате образовался единый угольный карьер протяженностью около 7 км. Такое объединение позволило оптимизировать логистику, повысить эффективность производства.

И по объемам производства, и по площади Бородинский разрез является крупнейшим предприятием открытой угледобычи в России. Разрез обеспечивает топливом энергетическую систему как Красноярского края, так и значительной части Сибирского федерального округа.

