

ОПРЕДЕЛЕНИЕ МАССОГАБАРИТНЫХ ПАРАМЕТРОВ ЕМКостей ДЛЯ ДОСТАВКИ СОРТОВОГО УГЛЯ ИЗ ЗАБОЯ РАЗРЕЗА ПОТРЕБИТЕЛЮ

МУЛЕНКОВА А. О., ДРОЗДОВА Н. А., ДЕМЧЕНКО И. И.

Доставка сортового угля в специализированных угольных контейнерах (КСУ) имеет ряд обоснованных преимуществ: сохранение качества и количества топлива, улучшение экологии, обеспечение высокого КПД топочного оборудования за счет использования сортового угля, повышение механизации и экономичности процесса доставки за счет снижения площади складов. Погрузка сортового угля в КСУ в забое разреза сокращает трудоемкость технологического процесса, уменьшает эксплуатационные затраты карьерного транспорта и количество перевалок сортового угля. Получение сортового угля в забое разреза предполагает введение в технологию добычи горнотранспортного комплекса и технологического автотранспортного средства с находящимися на нем КСУ. Массовые параметры КСУ являются значимыми для определения грузоподъемности автотранспортного средства. В работе определены значения массогабаритных характеристик КСУ – рассчитаны масса тары, брутто и нетто КСУ с унифицированными габаритными размерами. Определены нагрузки на силовой каркас КСУ. На основе прочностных расчетов произведен выбор конструктивных элементов КСУ, способных выдерживать повышенные нагрузки. Обоснована эффективность конструкции КСУ за счет его низкой металлоемкости.

Ключевые слова: сортовой уголь; специализированный контейнер; прочностный расчет; напряжение; нагрузка; коэффициент тары; масса брутто; масса нетто.

Технология получения сортового угля в забойных условиях, позволяя сократить количество операций и оборудования, повышает конкурентоспособность продукции. Размещение перерабатывающего оборудования в забое разреза предусматривает погрузку полученного в забое сортового угля в специализированные угольные контейнеры (КСУ), расположенные на технологическом автотранспортном средстве (ТАТС).

Предлагаемые промышленностью универсальные и специализированные контейнеры непригодны для перевозки и хранения сортового угля в силу особенностей их эксплуатации в структуре горнотранспортного комплекса и специфических свойств угля как груза. Главным требованием к конструкции КСУ является удобство верхней погрузки и разгрузки: для частного сектора – порционная, для средних и крупных потребителей – опрокидывание. На рис. 1 показана модель малотоннажного КСУ с разборной передней стенкой для порционной разгрузки, разработанная в Сибирском федеральном университете [1].

Транспортирование сортового угля в КСУ на пути его доставки из забоя до потребителя выполняют разными видами транспорта, поэтому габаритные раз-

Муленкова Анастасия Олеговна – ассистент кафедры горных машин и комплексов Института горного дела, геологии и геотехнологий. 660041, г. Красноярск, просп. Свободный, 79, Сибирский федеральный университет. E-mail: 15anastasiya@mail.ru

Дроздова Нина Аркадьевна – кандидат технических наук, доцент кафедры технической механики Института горного дела, геологии и геотехнологий. 660041, г. Красноярск, просп. Свободный, 79, Сибирский федеральный университет. E-mail: zinjak@yandex.ru

Демченко Игорь Иванович – доктор технических наук, доцент, профессор кафедры горных машин и комплексов Института горного дела, геологии и геотехнологий. 660041, г. Красноярск, просп. Свободный, 79, Сибирский федеральный университет. E-mail: demtchenkoi@yandex.ru

меры КСУ должны соответствовать размерам универсальных контейнеров [2]. В связи с этим определение массовых параметров КСУ является важной задачей, так как оказывает влияние на грузоподъемность средств транспорта.



Рис. 1. Модель малотоннажного специализированного контейнера для сортового угля:

1 – съемные панели передней стенки; 2 – боковая стенка; 3 – ступенька для отбора сортового угля (половина крышки контейнера, установленная в пазы откидывающихся опор); 4 – откидывающиеся опоры; 5 – элемент строповки

Сортовой уголь является насыпным грузом, значение насыпной плотности которого изменяется в пределах от 0,58 до 1 т/м³. Поэтому КСУ с определенными габаритными размерами и внутренним объемом V вместит массу угля m'_n , которая будет больше максимальной загрузки m_n универсального контейнера, конструктивно предназначенного для доставки тарно-штучных грузов с аналогичными объемом и габаритами (табл. 1).

Таблица 1

Масса нетто специализированных контейнеров для сортового угля

Внутренний объем контейнера V , м ³	Типоразмер универсального контейнера	Максимальная масса нетто универсального контейнера m_n , т	Типоразмер КСУ	Максимальная масса нетто КСУ, m'_n , т
61,3	1А	24,0	КСУ-67,9	62,0
45,7	1В	22,0	КСУ-50,4	46,2
30,0	1С	21,9	КСУ-32,7	30,4
14,3	1D	8,2	КСУ-16,3	14,5
10,4	УУК-5	4,0	КСУ-11,6	10,5
5,1	УУК-3	2,5	КСУ-5,7	5,2
3,7	АУК-1,25	1,0	КСУ-3,3	3,0
1,9	АУК-0,625	0,4	КСУ-1,5	1,4

Увеличение максимальной загрузки КСУ приводит к увеличению нагрузок, действующих на силовой каркас и, как следствие, к необходимости усиления конструкции КСУ. Усиление конструкции происходит за счет изменения параметров

основных конструктивных элементов силового каркаса, что влечет за собой изменение массы тары m_0 КСУ.

Определены действующие на конструкцию КСУ нагрузки, вызванные максимальной массой вмещаемого груза и внешними силами (рис. 2). При штабелировании КСУ на несущую конструкцию нижнего контейнера действуют силы P_1 (верхняя нагрузка на стойку) и P_2 (нижняя нагрузка на стойку). Конструкция пола при этом испытывает равномерно распределенную нагрузку P_3 . В результате подъема КСУ за четыре верхних строповочных элемента на несущую конструкцию действует сила P_4 . В этом случае на пол контейнера за счет ускорений и замедлений, возникающих при вертикальном подъеме контейнера, действует максимальная нагрузка P_5 . В связи с увеличением максимальной загрузки КСУ изменяются нагрузки на боковые P_6 и на торцевые стенки P_7 от массы угля, находящегося в контейнере.

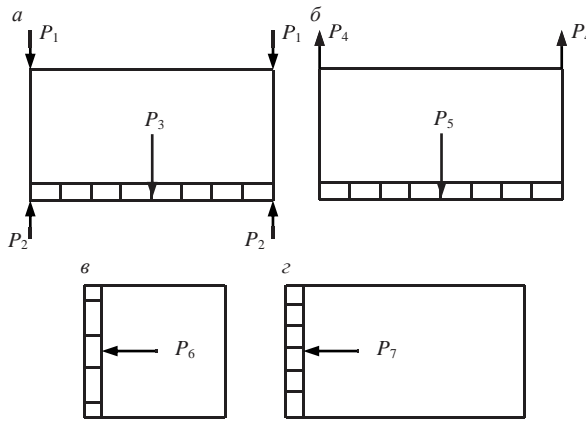


Рис. 2. Схема воздействия сил на КСУ:
а – при штабелировании, вид с торца; б – при подъеме за верхние строповочные элементы, вид с торца; в – нагрузка на боковую стенку; з – нагрузка на торцевую стенку

Численные значения основных нагрузок P , кН, действующих на КСУ, определены по формулам:

$$P_1 = \frac{m_{\text{бр}} n \cdot 1,8g}{4}; \quad P_2 = P_1 + \frac{1,8m_{\text{бр}}g}{4}; \quad P_3 = 1,8m_{\text{бр}} - m_0; \quad P_4 = \frac{m_{\text{бр}}g}{2};$$

$$P_5 = 2m_{\text{бр}} - m_0; \quad P_6 = 0,6q_{\text{max}}g; \quad P_7 = 0,4q_{\text{max}}g,$$

где $m_{\text{бр}}$ – максимальная масса брутто контейнера, т; n – количество ярусов установки КСУ, ед., $n_{\text{max}} = 6$; g – ускорение свободного падения, м/с²; q_{max} – максимальная грузоподъемность КСУ, кг (ГОСТ Р 51876–2008. Контейнеры грузовые серии 1. Технические испытания. Ч. 1. Контейнеры общего назначения. М.: Стандартинформ, 2008. 37 с.).

Максимальная вертикальная нагрузка на силовой каркас КСУ возникает при штабелировании. На нижний контейнер своей массой брутто $m_{\text{бр}}$ давят расположенные выше КСУ. Вся нагрузка P_1 распределяется на несущие элементы: стойки и стенки контейнера (выполнены гофрированными).

Величина критической нагрузки $P_{\text{кри}}$, кН, для каждого несущего элемента [3] вычисляется по формуле

$$P_{\text{кри}} = \frac{\pi^2 EI_{\text{min}}}{(\mu l)^2},$$

где E – модуль продольной упругости, для стали $E = 2 \cdot 10^5$ МПа; I_{min} – наименьший из главных центральных моментов инерции, м^4 , для гофрированной стенки определяется произведением количества шагов гофров и центрального момента инерции одного шага, для стойки является справочной величиной в зависимости от типа и параметров элемента, из которого выполнена стойка; μ – коэффициент приведения длины элемента, зависящий от способа закрепления, при жестком закреплении с двух сторон $\mu = 1$; l – высота стойки и стенки, равная габаритной высоте КСУ.

Нагрузки в конструкции контейнера должны быть значительно меньше критических для предупреждения потери устойчивости. Поэтому при расчете максимальной нагрузки, воспринимаемой элементом конструкции КСУ, учитывается коэффициент запаса устойчивости n_y ; для стальных элементов рекомендуют принимать $n_y = 1,5-3,0$.

Таблица 2

Масса нетто специализированных контейнеров для сортового угля

Типоразмер КСУ	Параметры стойки, выполненной из гнутого швеллера						Толщина стенки, мм
	Площадь поперечного сечения F , см^2	Наименьший радиус инерции сечения i , см	Расчетное напряжение σ , МПа	Основные размеры (рис. 3), мм			
				b	h	s	
КСУ-67,9	84,20	4,12	159,47	120	105	8	3,0
КСУ-50,4	71,10	3,49	158,40	120	105	8	3,0
КСУ-32,7	46,50	2,97	158,30	120	105	8	3,0
КСУ-16,3	23,47	3,35	154,89	120	105	8	2,0
КСУ-11,6	16,07	5,18	159,65	100	160	4	2,0
КСУ-5,7	8,87	2,59	154,36	80	80	4	1,5
КСУ-3,3	6,47	1,92	154,21	60	60	4	1,5
КСУ-1,5	3,50	1,28	152,17	50	40	3	1,5

b – ширина полки, мм; h – высота стенки, мм; s – толщина гнутого профиля, мм.

Суммарная максимальная нагрузка P_1 , кН, которую способна воспринимать конструкция КСУ, распределяется на стойки и гофрированные стенки:

$$P_1 = 4P_{\text{кр.ст}} + 3P_{\text{кр.гофр}},$$

где $P_{\text{кр.ст}}$ – критическая нагрузка на одну стойку, кН; $P_{\text{кр.гофр}}$ – критическая нагрузка на одну гофрированную стенку, кН. В конструкции малотоннажного КСУ нагрузку воспринимают четыре стойки и только три стенки, так как одна выполнена разборной, состоящей из пластин (рис. 1).

Составляющая $P_{\text{кр.гофр}}$ суммарной максимальной загрузки P_1 – численно одинаковая величина для одностипных универсальных и специализированных кон-

тейнеров. Изменение массы КСУ достигается за счет рационального подбора поперечного сечения стоек, осуществляемого по формуле:

$$F \geq \frac{P_{\text{расч}}}{\varphi[\sigma]}, \quad (1)$$

где F – площадь поперечного сечения, м^2 ; $P_{\text{расч}}$ – критическая сила, приходящаяся на одну стойку с учетом коэффициента запаса устойчивости n_y , $P_{\text{расч}} = ((P_1 - 3P_{\text{гофр}})/4)n_y$; φ – коэффициент понижения основного напряжения в зависимости от гибкости стержня ([3], табл. 22); $[\sigma]$ – допустимое напряжение на простое сжатие, $[\sigma] = 160 \text{ МПа}$.

Подбор подходящих вариантов площадей поперечных сечений стоек производят по формуле (1) методом последовательных приближений. Представленный прочностной расчет приводит к выбору нормированного типоразмера элемента стойки по расчетному значению площади поперечного сечения.

Предпочтительно в качестве стойки использовать гнутые профили в виде швеллера, так как они при достаточной гибкости, прочности и жесткости имеют минимальную массу (по сравнению с прокатными швеллерами и уголками). Поэтому в первую очередь идет подбор элементов из гнутого профиля. По результатам расчетов силового каркаса контейнера и его стенок выбраны основные элементы для использования в конструкции КСУ (табл. 2).

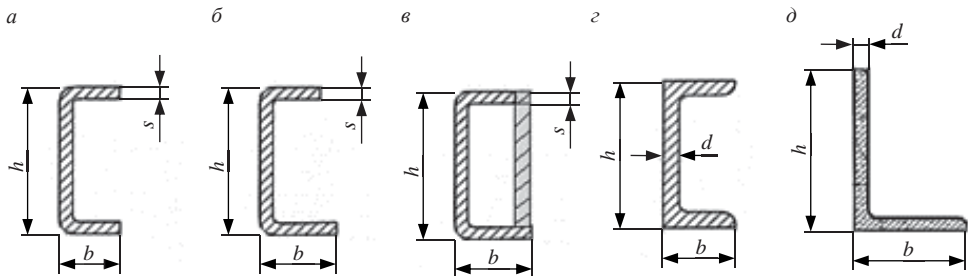


Рис. 3. Формы поперечного сечения стойки КСУ:

a – гнутый профиль, равнополочный швеллер; *б* – гнутый профиль, неравнополочный швеллер; *в* – коробчатое сечение; *г* – прокатный швеллер; *д* – прокатный неравнополочный уголок; *h* – высота стенки, мм; *b* – ширина полки, мм; *s* – толщина гнутого профиля, мм; *d* – толщина прокатных швеллера и уголка

На рис. 3 представлены варианты исполнения стоек из профилей различной формы. Стойки КСУ-32,7 и большего типоразмера из гнутого профиля $120 \times 105 \times 8$ (рис. 3, *a*) могут быть усилены посредством использования гнутого профиля в виде неравнополочного швеллера (рис. 3, *б*) или добавления пластины и преобразования гнутого профиля в коробчатое сечение. При этом увеличивается площадь поперечного сечения F (рис. 3, *в*). Возможно исполнение стоек КСУ из прокатных элементов: швеллеров (рис. 3, *г*), уголков (рис. 3, *д*), однако это приведет к увеличению массы конструкции в 1,5 раза.

Технические характеристики основных элементов и материалов, из которых изготовлены КСУ, соответствуют данным, полученным в результате прочностного расчета и анализа нормативной документации. Несущие элементы конструкции малотоннажных контейнеров (рис. 1) должны быть изготовлены из холодногнутого профиля, стенки – из гофрированного листа толщиной 1,5 мм, крыша – из тонколистового прокатного листа толщиной 1,5 мм, пол – из рифленого листа толщиной 3 мм.

В результате проведенных расчетов можно сделать вывод об эффективности конструкции КСУ, основываясь на ее низкой металлоемкости. На рис. 4 показаны значения коэффициента тары $K_T = m_0/m_{гр}$, оценивающего металлоемкость конструкции грузового контейнера.

Как видно из рис. 4, коэффициент тары КСУ ниже коэффициента тары универсальных контейнеров на 17–68 % для разных типоразмеров, что говорит об эффективности предлагаемых конструкций КСУ и высоком уровне его полезной загрузки. Разброс значений объясняется особенностью конструктивного исполнения малотоннажных КСУ, у которых наблюдается максимально низкая металлоемкость, и недостаточной линейкой стандартизированных профилей, которая не позволяет осуществить более точный выбор конструктивного элемента по расчетным параметрам.

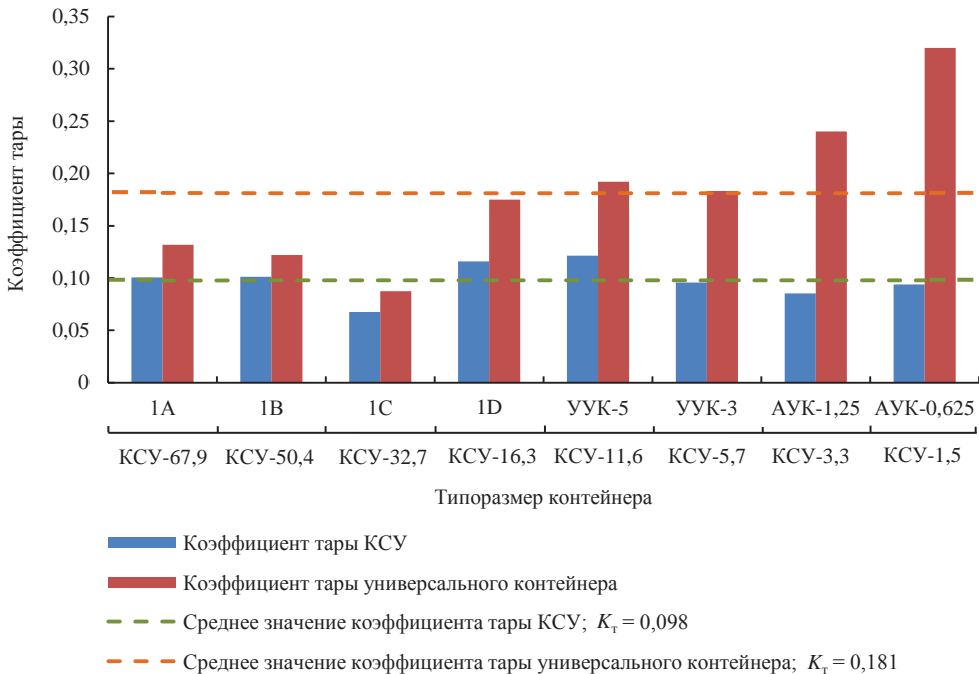


Рис. 4. Коэффициент тары КСУ и универсальных контейнеров

Итак, в представленной работе рассмотрены и определены массогабаритные параметры КСУ. Габаритные размеры КСУ соответствуют размерам универсальных контейнеров и унифицированы. Параметры массы нетто, брутто и тары изменяются за счет увеличения максимальной загрузки контейнера, нагрузок, действующих на его силовой каркас, и конструктивных изменений. Для определения массы тары КСУ проведены прочностные расчеты, на основании которых выбраны основные параметры его конструктивных элементов. Конструкция КСУ обладает меньшей металлоемкостью по сравнению с конструкцией универсальных контейнеров, коэффициент тары КСУ в среднем ниже на 17–68 %.

Рассчитанные массогабаритные параметры специализированных угольных контейнеров в дальнейшем определяют грузоподъемность и параметры грузовой платформы технологических автотранспортных средств при доставке сортового угля на дневную поверхность.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Контейнер для сыпучих грузов: пат. Рос. Федерация. № 2544983 МПК В65D 88/54; заявл. 18.07.13; опубл. 20.03.15. Бюл. № 8. 10 с.

2. Демченко И. И., Буткин В. Д., Косолапов А. И. Ресурсосберегающие и экологичные технологии обеспечения качества углепродукции: монография. М: МАКС Пресс, 2006. 344 с.
3. Писаренко Г. С., Агарев В. А., Квитка А. Л. Сопrotивление материалов. Киев: Высшая школа, 1986. 775 с.

Поступила в редакцию 27 ноября 2017 года

DETERMINATION OF WEIGHT AND SIZE PARAMETERS OF CONTAINERS FOR HIGH-QUALITY COAL DELIVERY FROM THE FACE OF AN OPEN PIT TO THE CONSUMER

Mulenkova A. O., Demchenko I. I., Drozdova N. A. – Siberian Federal University, Krasnoyarsk, the Russian Federation. E-mail: demtchenkoi@yandex.ru

Delivery of high-quality coal in specialized containers of coal (SCC) has a number of reasonable advantages, among which: safety of quality and quantity of fuel, improvement of ecology, maintenance of high coefficient of efficiency of furnace equipment due to the use of high-quality coal, increased mechanization and cost-effectiveness of the delivery process due to reduction of warehouse space. Loading of graded coal in the SCC at the face of an open pit reduces the labor input of the technological process, reduces the operating costs of the quarry transport and the amount of transshipment of the high-quality coal. The production of high-quality coal in the face of an open pit assumes the introduction of a mining and transportation complex and a technological vehicle with the SCC on it. The weight parameters of the SCC are significant for determining the technological vehicle load capacity. The values of the weight and size parameters of the SCC are determined in the paper. The masses of tare, gross and net SCC with unified overall dimensions are calculated. Loads on the power frame of the SCC are determined. On the basis of strength calculations, a choice is made of structural elements of the SCC, capable of withstanding high loads. The efficiency of the design of the SCC due to its low metal capacity is substantiated

Key words: high-quality coal; specialized container; strength calculation; voltage; load; tare-load ratio; gross mass; net mass.

1. Demchenko I. I., Kovalev V. A., Serebrennikov V. L., Mulenkova A. O., Demchenko A. I. *Konteiner dlia sypuchikh gruzov* [Containers for bulk goods]. Patent RF, no. 2544983, 2013.
 2. Demchenko I. I., Butkin V. D., Kosolapov A. I. *Resursosberegaiushchie i ekologichnye tekhnologii obespecheniia kachestva ugleproduksii: monografiia* [Monograph “Resource-saving and environmental technologies to provide the quality of coal production”]. Moscow, MAKS Press Publ., 2006, 344 p.
 3. Pisarenko G. S., Agarev V. A., Kvitka A. L. *Soprotivlenie materialov*. [Resistance of materials]. Kiev, Vysshiaia shkola Publ., 1986. 775 p.
-