

ISBN 978-83-945717-4-0

Transport Problems 2017

IX INTERNATIONAL
SCIENTIFIC
CONFERENCE

28.06-30.06 2017

Katowice

Sulejów

VI INTERNATIONAL
SYMPOSIUM OF YOUNG
RESEARCHERS

26.06-27.06 2017

Katowice



Conference
proceedings



Faculty of Transport
Silesian University of Technology

Silesian University of Technology
Faculty of Transport



Transport Problems 2017

Proceedings

IX International Scientific Conference

VI International Symposium of Young Researchers

UNDER THE HONORARY PATRONAGE
OF MAYOR OF KATOWICE CITY

Media patronage:
Transport Problems International Scientific Journal
ISSN 1896-0596, Silesian University of Technology,
Faculty of Transport

Transport Problems
International Scientific Journal

No.	Authors, Title	Pages	
		Begin	End
12.	Halyna NESTERENKO, Mykhailo MUZYKIN, Volodymyr HOROBETS, Svetlana AVRAMENKO WORKING CAPACITY RESEARCH OF TRACK SECTIONS	779	789
13.	Igor NESTERUK IMPROVING COMMERCIAL EFFICIENCY OF NEUTRAL BUOYANT VEHICLES WITH THE USE OF LAMINAR UNSEPARATED HULLS	790	799
14.	Piotr NOWAKOWSKI, Mariusz WALA CHARACTERISTICS OF WASTE ELECTRICAL AND ELECTRONIC EQUIPMENT COLLECTION – CASE STUDY OF MOBILE COLLECTION IN WODZISŁAW ŚLĄSKI	800	808
15.	Galina OSENINA, Aleksei CHESNOKOV, Vladimir VOITENKO SAFETY OF PASSENGER TRAFFIC ON THE RAILWAY TRANSPORT	809	813
16.	Kunduz SHARIPBEKOVA, Zhanarys RAIMBEKOV INFLUENCE OF LOGISTICS EFFICIENCY ON THE ECONOMIC GROWTH OF THE EAEU COUNTRIES	814	822
17.	Paweł SŁOWIŃSKI, Rafał BURDZIK THE EFFECT OF ECO-DRIVING TRAINING IN DRIVERS AND ITS IMPACT ON FUEL CONSUMPTION	823	827
18.	Igor SOSNOV, Yuri Y. OSENIN, Yuriy Iv. OSENIN, Aleksei CHESNOKOV EXPERIMENTAL TEST OF WEAR OF ROLLING FRICTION PAIRS WITH THE SLIP HAVING HARD PARTICLES IN THE CONTACT ZONE	828	834
19.	Svetla STOILOVA, Radina NIKOLOVA AN APPLICATION OF AHP METHOD WHICH EXAMINE THE TRANSPORT PLAN OF PASSENGER TRAINS-APPLICATION TO BULGARIAN RAILWAY NETWORK	835	846
20.	Krystian SZEWCZYŃSKI, Andrzej KUBIK, Rafał WRÓBEL, Henryk BĄKOWSKI MODEL OF THE AUTONOMOUS VEHICLE TO TRANSPORT PEOPLE AND CARGO	847	850
21.	Assem UTEGENOVA, Kassym YELEMESSOV, Ivan STOLPOVSKIKH, Sergey KUZMIN, Aleksander SŁADKOWSKI DESIGNING A LIFTING MACHINE FOR ROCK GROUND TRANSPORTATION FROM QUARRIES WITH USING OF CONTAINER TECHNOLOGY	851	858
22.	Sebastian WIERZBICKI, Przemysław MARZEC, Henryk BĄKOWSKI THE LOW-COST OFFER IN CONTROL SYSTEM FOR CNC MACHINE USING IN CAR INDUSTRY	859	863
23.	Arkady YUDIN, Anatoly KOMISSAROV, Yuliia LAGUNOVA, Aleksander SŁADKOWSKI, Madinur AKHMETOVA, Ivan STOLPOVSKIKH METHOD OF PARAMETERS CALCULATION AND DESIGN OF THE SELF-PROPELLANT OVERLOAD POINT OF CONVEYOR SYSTEMS WITH VIBRATING FEEDER - CRUSHER	864	871

Ключевые слова: контейнерная технология, горная масса, шагающий экскаватор, стрела подъемной машины

Асем УТЕГЕНОВА*, Касым ЕЛЕМЕСОВ, Иван СТОЛПОВСКИХ

Казахский национальный исследовательский технический университет имени К.И. Сатпаева
ул. Сатпаева 22а, 050013, Алматы, Казахстан

Сергей КУЗЬМИН

Рудненский индустриальный институт
50 лет Октября, 38, г. Рудный, Костанайская область, Казахстан

Александр СЛАДКОВСКИ

Силезский технический университет, Факультет транспорта
ul. Krasińskiego 8, 40-019 Katowice, Poland

*Corresponding author. E-mail: asem_u_18@mail.ru

DESIGNING A LIFTING MACHINE FOR ROCK GROUND TRANSPORTATION FROM QUARRIES WITH USING OF CONTAINER TECHNOLOGY

Summary. The questions of perfection of technology of transportation of rock mass from deep horizons of the quarry are considered. The proposed new energy-saving container technology for lifting the rock mass from quarries with mobile complexes of quarry hoisting machines reduces the costs of lifting, reduces the gassiness of the atmosphere and improves the mining regime. Container delivery of rock mass allows carrying out a single excavation and lifting it from the quarry with lifting machines with a minimum tare factor. The main element of the developed container technology is a lifting machine. For its design, computer modelling using the "Compass V14.0" software package was used.

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ПОДЪЕМНОЙ МАШИНЫ ДЛЯ ТРАНСПОРТИРОВКИ ГОРНОЙ МАССЫ ИЗ КАРЬЕРОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ КОНТЕЙНЕРНОЙ ТЕХНОЛОГИИ

Аннотация. Рассмотрены вопросы совершенствования технологии транспортирования горной массы с глубоких горизонтов карьера. Предлагаемая новая энергосберегающая контейнерная технология подъема горной массы из карьеров мобильными комплексами карьерных подъемных машин снижает затраты на подъем, уменьшает загазованность атмосферы и улучшает режим горных работ. Контейнерная доставка горной массы позволяет выполнять однократную экскавацию и поднимать ее из карьера подъемными машинами с минимальным коэффициентом тары. Главным элементом, разработанной контейнерной технологии является подъемная машина. Для её проектирования использовалось компьютерное моделирование с использованием пакета прикладных программ «Компас V14.0».

Выполненный анализ существующих технологий открытых горных работ и современного состояния горного производства указывает на насущную потребность в разработке новой ресурсосберегающей и экологически безопасной технологии [1]. Была предложена новая контейнерная технология транспортировки горной массы в контейнерах без строительства в карьере технологических и транспортных коммуникаций. Достоинствами данной технологии являются:

1. Одноразовая экскавация горной массы при погрузке ее в контейнер снижает энергозатраты;
2. Доставка горной массы транспортом сборочного звена от забоев к месту подъема выполняется на минимальные расстояния по горизонтальным автодорогам, что приводит к снижению необходимого парка автотранспорта, удельного расхода топлива, шин и выбросов вредных газов в атмосферу;
3. Коэффициент тары контейнера ($0,25 \div 0,30$) значительно меньше коэффициента тары автосамосвала ($0,70 \div 0,80$) или железнодорожного состава ($0,80 \div 0,82$), поэтому удельные затраты энергии на подъем горной массы в контейнере подъемной машиной сокращаются в 1,4 раза;
4. Комплекс подъемных машин обладает мобильностью, что позволяет перемещать его на новое место при производстве взрывных работ или в другой карьер при последовательной отработке группы карьеров. Повышаются возможности регулирования и соблюдения оптимального режима горных работ;
5. Исключается необходимость дополнительного энергоемкого дробления горной массы в отличие от технологических схем с применением конвейерных подъемников;
6. Контейнерная доставка вскрышных пород и использование карьерных подъемных машин при отвалообразовании позволит уменьшить необходимый земельный отвод и формировать компактный высокий отвал с минимальными затратами на подъем породы;
7. Все оборудование для контейнерной доставки является достаточно простым в изготовлении и может быть произведено на самом горном предприятии [2].

В качестве машины для доставки контейнеров на верхние горизонты могут использоваться одноковшовые экскаваторы и деррик-краны. В наибольшей степени предложенным требованиям контейнерной технологии отвечает шагающий экскаватор, который широко распространен на горнорудных предприятиях. Для подъема контейнера необходимо использовать обе лебедки подъема и тяги, при этом могут возникать недопустимые нагрузки на стреле. Стрела является наиболее ответственным узлом экскаватора, которая должна выдерживать нагрузку от веса груженого контейнера, кроме того при проектировании стрелы необходимо учитывать инерционные и ветровые нагрузки на рабочее оборудование.

На основе анализа доказано, что для создания подъемной машины необходимо спроектировать новую конструкцию, в основе которой лежит шагающий экскаватор ЭШ-10/70. Наиболее нагруженной металлоконструкцией подъемной машины является стрела, которая должна удерживать груженный контейнер массой 95 тонн и обеспечить его подъем на высоту 40 метров.

Для определения необходимой длины стрелы и угла её наклона была разработана специальная методика. Схема к расчету приведена на рис. 1.

Радиус разгрузки подъемной машины R_p , м [3], определяется по формуле

$$R_p = L_c \cos(\gamma) + d, \quad (1)$$

где L_c – длина стрелы, м;

γ – угол наклона стрелы, град.;

d – расстояние от оси вращения подъемной машины до пяты ее стрелы, м.

Высота нижнего уступа $H_{ну}$, м, определяется по формуле

$$H_{ну} = (R_p - B - C) \operatorname{tg}(\beta), \quad (2)$$

где B – расстояние от оси контейнера до нижней бровки нижнего уступа, м;

C – безопасное расстояние от оси вращения драглайна до верхней бровки нижнего уступа, м;

β – угол откоса уступа, град.

Высота верхнего уступа $H_{\text{вы1}}$, м, по условию безопасности вращения подъёмной машины определяется по формуле

$$H_{\text{вы1}} = (R_p - C_1 - R_k) \operatorname{tg}(\beta), \quad (3)$$

где R_k – радиус вращения кузова подъёмной машины, м; C_1 – безопасное расстояние между кузовом подъёмной машины и откосом верхнего уступа, м;

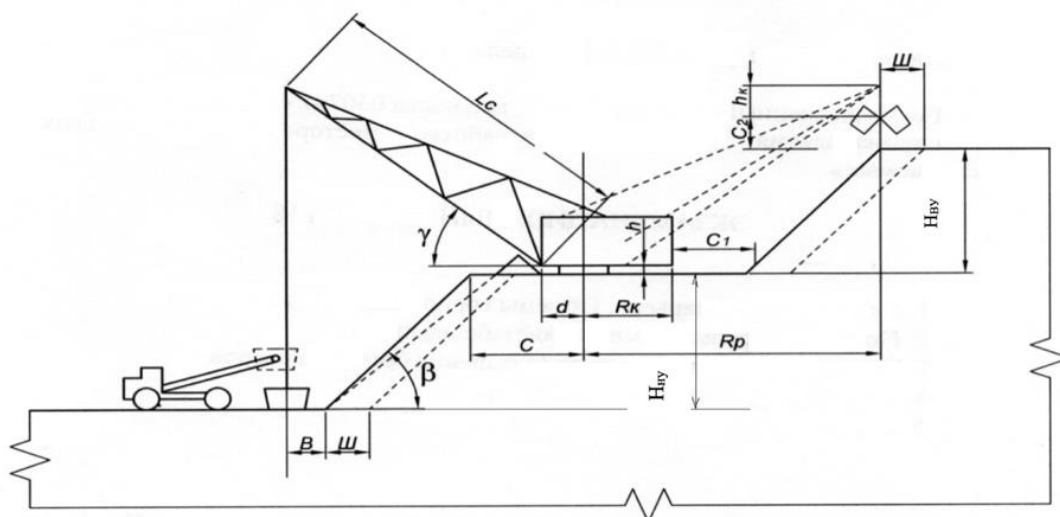


Рис. 1. Схема к определению высоты подъёма

Высота верхнего уступа $H_{\text{вы2}}$, м, по условию подъёма контейнера определяется по формуле

$$H_{\text{вы2}} = L_c \sin(\beta) + h - h_k, \quad (4)$$

где h – высота оси пяты стрелы над уровнем земли, м;

h_k – высота переподема контейнера при установке на верхний уступ в соответствии с требованиями правил безопасности, м. Высота переподема на промежуточных площадках зависит от высоты стояния тележек для перевозки контейнеров между смежными машинами. Высота тележки составляет 1265 мм. Следовательно, чтобы установить контейнер, высота переподема принимается равной 1,5 м.

На перегрузочных складах глубоких карьеров предусмотрена возможность разгрузки контейнеров в думпкары. При этом появляется значение C_2 , - открытие створок днища при выгрузке. Для используемых контейнеров эта величина равна 2,1 м.

Высота верхнего уступа (по условию минимума) определяется в результате сравнения $H_{\text{вы1}}$ с $H_{\text{вы2}}$. За значение уступа принимается меньшее значение. Высота подъёма определяется по формуле

$$H_{\text{п}} = H_{\text{ны}} + H_{\text{вы}}. \quad (5)$$

Следует отметить, что определение рациональной высоты подъёма зависит от конкретных условий эксплуатации карьера. В данной работе рассматривается пример Сарбайского карьера. Рациональной для карьера является высота одного подъёма равная 80 метров. Для различных линейных параметров подъёмной машины, условий безопасности и угла откоса уступа 65 градусов были выполнены расчеты. Стрела подъёмной машины 50 метров обеспечивает подъём на верхний и нижний уступ на высоты по 40 метров (по условиям данного карьера это спаренные уступы по 20 м). На основании выполненных вычислений построен график зависимости высоты подъёма от угла наклона стрелы подъёмной машины (рис. 2). Предлагаемая методика и расчеты выполняются на основании патента [7].

Анализируя графики рис. 2 и учитывая необходимость подъёма на нижнем и верхнем уступах на 40 м, принимается угол установки стрелы подъёмной машины 56° . При этом общая высота подъёма достигает 80 м за один подъём. Следует отметить также, что на рис. 2

присутствуют два графика определения высоты верхнего уступа. При этом для углов установки стрелы до 56^0 суммарная высота подъема определяется как сумма высоты нижнего уступа и высоты верхнего уступа определяемого по условию подъема контейнера. При углах установки стрелы более 56^0 суммарная высота подъема определяется как сумма высоты нижнего уступа и высоты верхнего уступа определяемого по условию безопасности вращения. Этим объясняется излом кривой суммарной высоты подъема.

Для вычисления прочности стрелы был использован пакет прикладных программ, содержащихся в программном комплексе «Компас V14.0», позволяющих проводить прочностные расчеты при помощи метода конечных элементов (МКЭ). Была построена модель стрелы в исходных размерах и проведено её разбиение. Стрела в расчетах принята выполненной из стальной квадратной трубы по ГОСТ 8639-82 [6] с размерами стороны 500 мм. Толщина стенки профиля составляет 50 мм. Стрела удерживается в рабочем положении подкосами за середину, а верхняя часть удерживается канатной подвеской из двух жестких вантов. Исходные данные к расчету и полученные результаты компьютерного моделирования приводятся в таблице 1.

Высота подъёма, м

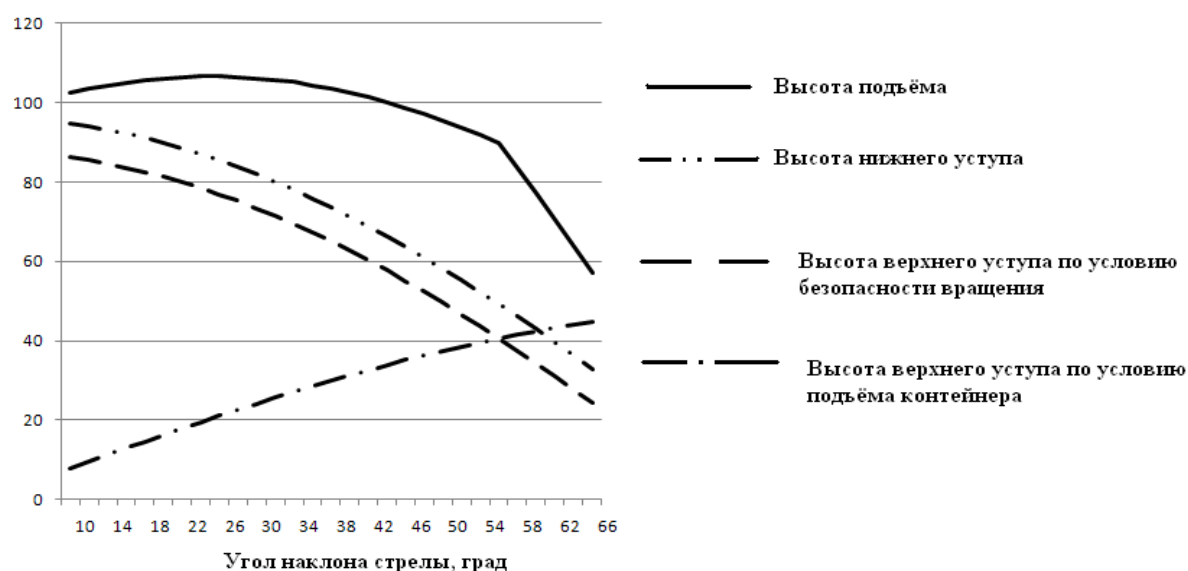


Рис. 2. Зависимости высоты подъёма от угла наклона стрелы подъёмной машины

Табл. 1

Параметры и результаты моделирования конструкции стрелы

Параметр	Значение
<i>Исходные данные</i>	
Сталь	Сталь 10
Предел текучести, МПа	235
Предел прочности, МПа	410
Коэффициент Пуассона	0,3
Плотность, кг/м ³	7800
<i>Параметры КЭ дискретизации</i>	
Максимальная длина стороны элемента, мм	200
Количество конечных элементов	27530
Количество узлов	9220
<i>Результаты расчета</i>	
Масса модели, кг	46108.72
Максимальное эквивалентное напряжение по Мизесу, МПа	53,1
Минимальный коэффициент запаса по текучести •MAX	4,66

Минимальный коэффициент запаса по прочности •MAX	8,1
--	-----

Расчеты по установлению прочности стрелы первоначально проводились полностью для всей длины стрелы. В результате расчета определено, что максимальные напряжения проявляются в середине верхнего участка стрелы в зоне крепления верхней поперечины стрелы с деталью канатодержателей растяжек. На рис. 3, 4 это сечение изображено в виде (•MAX). Скриншот результатов расчета прогиба верхней части стрелы приведен на рис. 3.

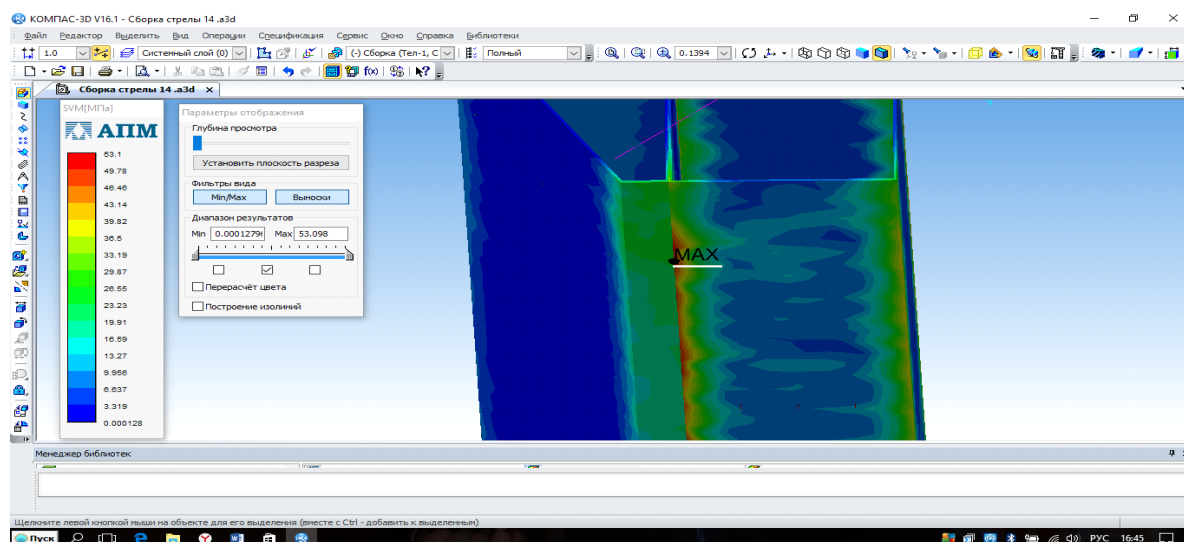


Рис. 3. Распределение эквивалентных напряжений в зоне критического сечения подъемной стрелы, определенных по критерию Губера-Мизеса-Генки

Минимальный коэффициент запаса по текучести материала наблюдается в середине верхнего участка стрелы после крепления деталей канатодержателей растяжек и составляет – 4,661. В этом же месте минимальный коэффициент запаса по прочности материала составил 8,133 при рекомендуемом нормативном значении для металлоконструкций 1,6. Однако, дальнейшие мероприятия по снижению запасов прочности до нормативного значения нецелесообразны, так как материал для изготовления стрелы при одной и той же марке стали может иметь отклонения по кристаллической структуре в худшую сторону. Снижение запасов прочности может отрицательно сказаться на безопасности подъемно-транспортных операций. Остальные фрагменты скриншотов результатов расчета для минимального коэффициента запаса по текучести и по прочности не приведены.

Необходимая мощность двигателя механизма подъема определяется по формуле

$$N = \frac{m \cdot g \cdot V}{1000 \cdot \eta} \quad (6)$$

где m – масса груженого контейнера, кг;

V – скорость движения контейнера, м/с;

η – общий КПД механизма.

$$N = \frac{95000 \cdot 9,81 \cdot 1}{1000 \cdot 0,89} = 1047,135 \text{ кВт}$$

С учетом использования в приводе двух двигателей принимается к установке МПЭ 500-500 УХЛЗ, ТЗ: $N_{\text{дв}}$ – номинальная мощность, $N_{\text{дв}}=560$ кВт; $n_{\text{дв}}$ – частота вращения ротора, $n_{\text{дв}}=1000$ об/мин.

Был произведен выбор всех элементов привода подъёмной лебедки. Выбранные элементы привода были проверены по следующим условиям: мощность двигателя должна быть достаточной для обеспечения разгона механизма с заданным ускорением и при работе

двигателя в повторно-кратковременном режиме он не должен перегреваться. Выполненные расчеты подтверждают правильность выбора элементов привода.

Коэффициент использования полезной работы механизма подъема за цикл для спроектированной машины составил 0,8, что существенно выше лучших показателей при работе драглайнов. Для них он в среднем составляет около 40% [4].

С помощью статического расчета было определено максимальное удельное давление на грунт ходовой части машины, которое составило 0,19 МПа.

Масса противовеса подъёмной машины I , $m_{пр}$, т, определяется для случая - экскаватор стоит на ровной поверхности, стрела под углом 56^0 к горизонту [5], груженный контейнер поднят на максимальную высоту

$$r_{стр} = R_{п.с} + \frac{l_{стр}}{2} \cos 56^0 = 5 + \frac{50}{2} \cdot 0,56 = 19 \text{ м},$$

$$m_{пр} = \frac{G_{стр} \cdot (r_{стр} - R_0) + G_{к+п} (r_k - R_0) - G_{п.п.с.мех.} (X + R_0)}{g(r_{пр} + R_0)}, \quad (7)$$

где $G_{стр}$ – вес стрелы, кН;

$r_{стр}$ – плечо действия силы тяжести стрелы относительно оси вращения подъёмной машины, м;

$G_{к+п}$ – вес контейнера с породой, кН;

r_k – плечо действия силы тяжести контейнера с породой относительно оси вращения подъёмной машины, м;

$G_{п.п.с.мех.}$ – вес поворотной платформы с механизмами, кН;

R_0 – радиус опорного круга, м;

X – смещение центра тяжести платформы относительно оси центральной цапфы, м;

$r_{пр}$ – плечо действия силы тяжести противовеса относительно оси вращения машины, м.

$$m_{пр} = \frac{461,08 \cdot (19 - 4,2) + 950 \cdot (33 - 4,2) - 4260 \cdot (2,94 + 4,2)}{9,8 \cdot (11 + 4,2)} = 25,3 \text{ т}.$$

При выполнении расчета устойчивости подъёмной машины была уточнена масса противовеса и она составила 32,4 тонны.

На основании произведенных расчетов была спроектирована машина для подъёма контейнеров. Она представлена на рис. 4.

На основе анализа подъёмных устройств доказано, что для создания подъёмной машины необходимо спроектировать новую конструкцию, в основе которой лежит конструкция шагающего экскаватора ЭШ-10/70. Основные параметры подъёмной машины обоснованы необходимой производительностью и высотой уступов для Сарбайского карьера и они составляют: грузоподъёмность – 95 тонн, высота подъёма – 80 метров.

Выполненные статические и прочностные расчеты доказывают работоспособность спроектированной подъёмной машины. Проектирование конструкции стрелы выполнено с помощью методов компьютерного моделирования, при этом были определены нагрузки возникающие в стреле и в узлах её крепления к поворотной платформе и двуголой стойке.

Рациональное расположение оборудования на уступе определено с помощью компьютерного моделирования для различных типов пород, слагающих массив. Полученные параметры борта карьера, необходимые для работы карьерных подъёмных машин, соответствуют реальным условиям Сарбайского карьера.

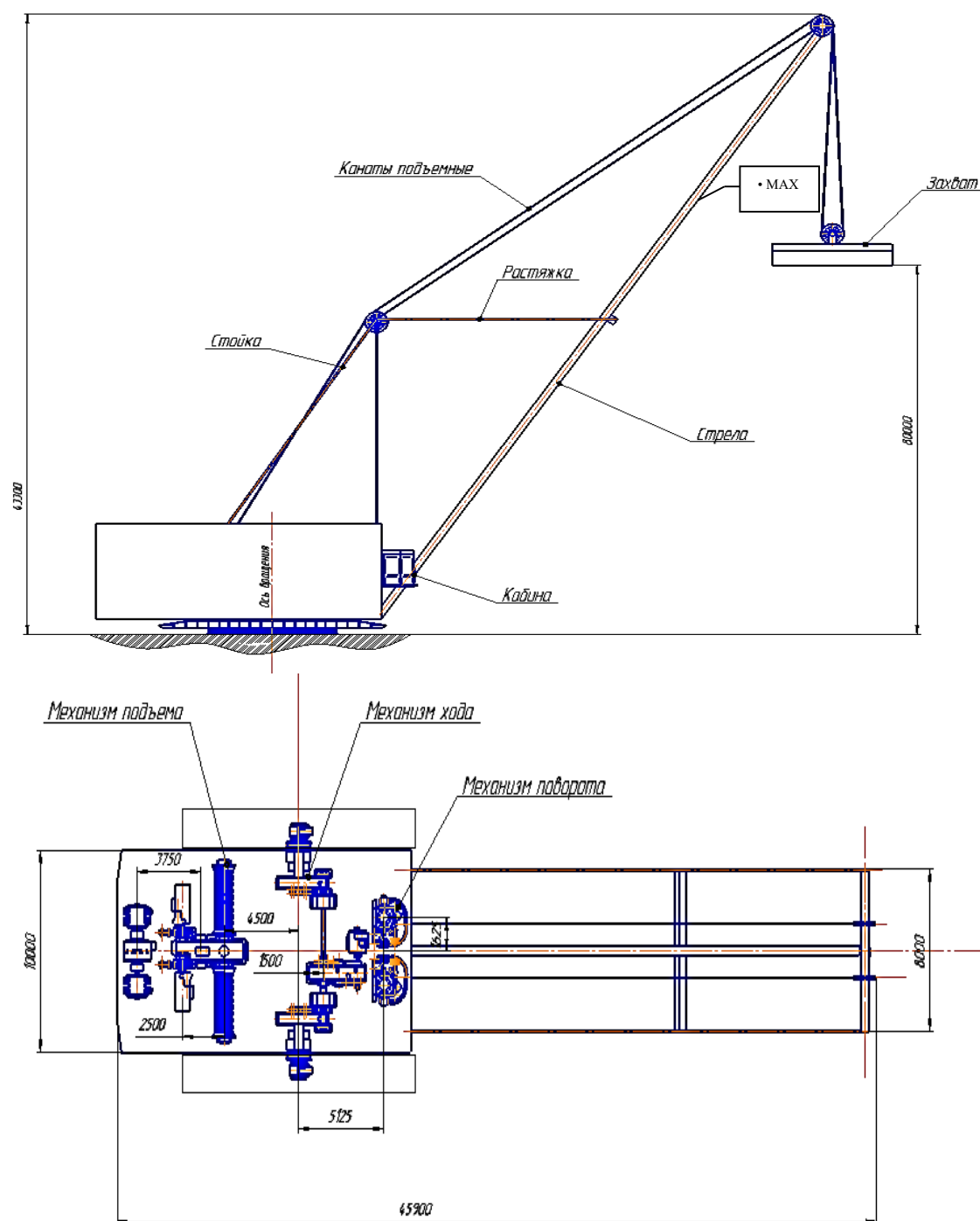


Рис. 4. Общий вид подъёмной машины

Литература

1. Яковлев, В.Л. Некоторые перспективные направления исследований в области карьерного транспорта. *Материалы международной научно-технической конференции по карьерному транспорту*. Екатеринбург. 2002. С. 15-20.

2. Битимбаев, М.Ж. & Кузьмин, С.Л. & Маулямбаев, Т.И. Обоснование возможности использования контейнерной технологии для глубоких карьеров. *Горный журнал Казахстана*. 2016. No. 4. С. 17-22.
3. Ржевский, В.В. *Открытые горные работы. Технология и комплексная механизация*. Москва: Изд-во «Либроком». 2014. 552 с.
4. Бубновский, Б.И. & Ефимов, В.Н. & Морозов, В.И. *Ремонт шагающих экскаваторов*. Москва: Недра. 1991. 347 с.
5. Подэрни, Р.Ю. *Механическое оборудование карьеров*. Москва: Изд-во Московского Государственного Горного Университета. 2003. 606 с.
6. ГОСТ 8639-82. *Трубы стальные квадратные. Сортамент*. Available at: <http://www.gosthelp.ru/text/GOST863982Trubystalnyekva.html>
7. Кузьмин, С.Л. & Тимирханов, Б.Б. & Бруслова, О.М. & Кызыров, К.Б. *Способ транспортирования горной массы на отвал при открытых горных работах*. Инновационный патент Республики Казахстан No. 28355. Оpubл. 14.04.2014. Бюл. No. 4.