НАУЧНО-АНАЛИТИЧЕСКИЙ И ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ ЖУРНАЛ

горное оборудование и электромеханика

8 2013

Учредитель: Издательство "НОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ"

Главный редактор	Глаг	вный	реда	кто	ρ
------------------	------	------	------	-----	---

КАНТОВИЧ Л.И.

Зам. гл. редактора:

ИВАНОВ С.Л. ЛАГУНОВА Ю.А.

Редакционный совет:

козовой г.и.

(сопредседатель)

ТРУБЕЦКОЙ К.Н.

. (сопредседатель)

АНТОНОВ Б.И.

ГАЛКИН В.А. КОЗЯРУК А F

КОСАРЕВ Н.П.

МЕРЗЛЯКОВ В.Г.

НЕСТЕРОВ В.И.

ЧЕРВЯКОВ С.А.

Редакционная коллегия:

АНЛРЕЕВА П И

ГАЛКИН В.И.

ГЛЕБОВ А.В.

ЕГОРОВ А.Н.

ЕДЫГЕНОВ Е.К.

ЖАБИН А.Б.

ЗЫРЯНОВ И.В.

КАРТАВЫЙ Н.Г.

КУЛАГИН В.П.

МЫШЛЯЕВ Б.К.

ПЕВЗНЕР Л.Д.

ПЛЮТОВ Ю.А. ПОДЭРНИ Р.Ю.

САВЧЕНКО А.Я.

САМОЛАЗОВ А.В.

CEMEHOB B.B.

СТАДНИК Н.И.

СТРАБЫКИН Н.Н.

ТРИФАНОВ Г.Д.

ХАЗАНОВИЧ Г.Ш.

ХОРЕШОК А.А.

ЮНГМЕЙСТЕР Д.А.

Редакция:

БЕЛЯНКИНА О.В. ДАНИЛИНА И.С.

Телефон редакции

(499) 269-53-97

Факс (499) 269-55-10

E-mail: gma@novtex.ru http://novtex.ru/gormash

СОДЕРЖАНИЕ

СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ОАО "УРАЛМАШЗАВОД"

Червяков С. А.	80 лет	OAO	"Уралмашзавод"	— гиганту	тяжелого і	машино-
строения России						2

ЭКСКАВАТОРОСТРОЕНИЕ

Маковеев А. В. Основные металлоконструкции мощных карьерных	х экскава-	
торов Уралмашзавода	5	,

Побегайло П. А. История создания карьерных гидравлических экскаваторов 24

ДРОБИЛЬНО-РАЗМОЛЬНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ

ОБРАЗОВАНИЕ

Журнал включен в Перечень ведущих рецензируемых научных журналов и изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени доктора и кандидата наук, и входит в систему Российского индекса научного цитирования.

СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ОАО "УРАЛМАШЗАВОД"

УДК 622.73

С. А. Червяков, канд. техн. наук, директор по продажам, ОАО "Уралмашзавод", г. Екатеринбург E-mail: mail@uralmash.ru

80 лет ОАО "Уралмашзавод" гиганту тяжелого машиностроения России

Приведена краткая историческая справка о главном заводе тяжелого машиностроения России.

Ключевые слова: Уралмаш, заводское производство, машины и оборудование для горного и металлургического производства, для топливно-энергетического комплекса.

S. A. Chervyakov

80 Years of "Uralmashzavod" — Giant Heavy Machinery Russia

The article provides a brief historical background of the main plant of heavy machinery in Russia.

Keywords: Uralmash, factory production, machinery and equipment for the mining and metallurgical industry, for the fuel and energy complex.

Еще с тридцатых годов прошлого столетия со словом "Уралмаш" в общественном сознании стали ассоциироваться огромные машины, важные стройки, крупные конструкторы и технологи, умелые рабочие. И действительно, когда в 1930-е годы на Урале, в Сибири и на Украине строились крупнейшие в мире металлургические комбинаты, всем было известно, что машинами и оборудованием их оснащает Уралмаш. Так что совсем не случайно еще тогда писатели и журналисты прозвали Уралмаш "отцом заводов и фабрик", "заводом заводов".

Трудно представить тяжелую промышленность России без Уралмашзавода. Добывается ли нефть, уголь или руда — на буровой установке и на борту экскаватора знакомая марка фирмы — "УЗТМ". "УЗТМ" — на агломерационных и обжиговых машинах, спекающих руду. "УЗТМ" — на чугуновозах и шлаковозах, спешащих к доменным печам... 75 % доменных печей отечественной металлургической промышленности укомплектованы оборудованием, сделанным на Уралмашзаводе.

Льется сталь.... Машина непрерывного литья заготовок УЗТМ — сегодня самая высокопроизводительная в мире. Хорошо знакомую марку в овале можно увидеть на разнообразнейших прокатных станах, прокатывающих горячий и холодный лист, трансформаторный и нержавеющий лист, всевозможные профили различного назначения.

На всем пути — от добычи полезных ископаемых до готовых изделий — трудится техника Уралмашзавода — 250 типов самых разнообразных машин! И дело не только в количестве или уникальности Уралмашевской техники. Огромная ответственность возложена на завод: от него во многом зависит, сколько в России будет добыто угля, нефти, выплавлено руды, получено проката...

Едва ли не каждая промышленная установка или машина с маркой "УЗТМ" предопределяет развитие целых отраслей промышленности экономики страны.

В заводском музее со старых фотографий на посетителей смотрят первостроители завода, обутые в лапти, в суконных рубахах, вооруженные в основном топорами, лопатами и грабарками. Именно благодаря упорному и самоотверженному труду этих недавних крестьян всего за пять лет был построен один из крупнейших в мире заводов тяжелого машиностроения. Многие из них стали в дальнейшем знатными рабочими и видными инженерами.

Еще при проектировании Уралмашу отводилась особая роль в экономике страны, как предприятию, которое во многом будет определять темпы задуманной индустриализации. При этом завод был так спроектирован, что в дальнейшем беспрепятственно развивался, наращивая не только объемы производства, но и выпуская все новые виды продукции.

Прошло всего пять лет после пуска Уралмаша, а на нем уже удалось наладить выпуск машин и оборудования восьмидесяти наименований. Молодой коллектив машиностроителей уверенно брался за любые заказы, в том числе очень сложные по конструкции и технологии изготовления изделия. Еще в довоенное время был изготовлен первый блюминг для Магнитки и начато серийное производство лучших в мире 122-мм гаубиц, а также различных сложных изделий для военновоздушных сил и военно-морского флота.

Все это говорит о том, что первые специалисты и рабочие Уралмаша были незаурядными людьми. Начав буквально с нуля, они очень быстро освоили самые прогрессивные машиностроительные технологии. Но на этом они не остановились — Уралмаш славен тем, что тысячи рабочих и инженеров стали активными рационализаторами. Не случайно, что уже в 1930-е гг. Уралмаш играл роль своеобразной школы для рабочих и специалистов многих машиностроительных предприятий. Их представители обучались на Уралмаше организации производства и управления, осваивали передовые технологические процессы.

Впечатляющи достижения завода в 1941—1945 гг. Это был самый настоящий подвиг коллектива. Летом 1941 г. Уралмашзавод начал переходить на крупносерийный выпуск бронекорпусов для танков КВ, а в конце 1941 г. он уже опережал довоенные показатели Ижорского завода по среднесуточному выпуску бронекорпусов в 7 раз. При этом была значительно снижена себестоимость оборонной продукции при сохранении ее высокого качества. Трудно поверить, но это факт — еще в июле 1941 г. никто из уралмашевцев не имел понятия о броневой стали, а заводское производство было совершенно не приспособлено для выпуска такой продукции.

Чтобы добиться таких выдающихся результатов, заводским специалистам пришлось очень напряженно потрудиться, внести много новинок в конструкцию и технологию производства бронекорпусов и танковых башен. В частности, на Уралмаше впервые в мире освоили крупносерийное производство литых танковых башен с дифференцированной толщиной брони вместо сварных, что считалось ранее невозможным. В дальнейшем эта технология с помощью уралмашевских технологов была внедрена на других танкостроительных заводах. Она не только улучшила качество башен, но и позволила резко увеличить выпуск боевой техники в СССР. Упорно трудились тогда и коллективы артиллерийских цехов завода. Уралмашевские 122-мм гаубицы М-30 и 152-мм гаубицы Д-1, танковые



Рис. 1. Монтаж пушки Д-10 в машину



Рис. 2. Готовые танки Т-34 на погрузке в цехе

пушки Д-5, Д-10 (рис. 1) и Д-25 считаются военными специалистами лучшими образцами боевой техники периода Второй мировой войны. Действующая армия имела их в достатке — в конце войны на заводе выпустили 30-тысячное артиллерийское орудие.

В ноябре 1942 г. на Уралмаше была запущена в серийное производство самоходка на базе танка Т-34 — СУ-122 (рис. 2—4). Эти боевые машины успешно использовались в боях на Волховском, Ленинградском, Сталинградском фронтах и в битве на Курской дуге. Так Уралмаш стал пионером в области серийного производства отечественной самоходной артиллерии.

Особенно доброй славой в действующей армии пользовались уралмашевские самоходки СУ-85, которые показали себя исключительно эффективными истребителями танков. А боевая машина СУ-100 стала самой мощной самоходкой периода Второй мировой войны в своем классе. Ничего подобного уралмашевским СУ-100, которая на расстоянии до двух километров могла уничтожить



Рис. 3. Готовый танк выходит из цеховых ворот



Рис. 4. Приемка-сдача СУ военным

любой вражеский танк, не имела ни одна другая воюющая страна. В конце войны уралмашевцы разработали еще ряд перспективных проектов боевой техники, которые в дальнейшем несколько десятилетий во многом определяли основные направления развития советской самоходной артиллерии.

В дальнейшем уралмашевское вооружение устанавливалось на многих боевых машинах, состоявших на вооружении советской армии, в том числе на самоходной 122-мм гаубице 2С1 ("Гвоздика") и самоходной 152-мм гаубице 2С3 ("Акация"), танках Т-64, Т-72, Т-80, Т-90. В больших количествах состоит на вооружении во многих странах мира уралмашевская гаубица Д-30.

Из войны завод вышел уже совсем другим предприятием. Благодаря приобретенному опыту крупносерийного производства начался в широких масштабах выпуск новой продукции: карьерных экскаваторов, бурового и дробильно-размольного оборудования. Было восстановлено производство машин и оборудования по индивидуальным проектам. В конце 1940-х гг. вся страна следила за ходом строительства первого отечественного рельсобалочного стана в Нижнем Тагиле, который по своей производительности на то время оказался лучшим в мире. А в 1960-е гг. на Уралмашзаводе была создана принципиально новая в мировой практике технология непрерывной разливки стали на криволинейных машинах.

Трудно было найти в бывшем СССР, да и сейчас в России, такое горнорудное или металлургическое предприятие, угольные разрезы или нефтепромыслы, где бы ни использовались машины и оборудование с маркой "УЗТМ". Взять хотя бы важнейшую в экономике любой страны отрасль черную металлургию. Уралмашевская техника используется в ней на всех этапах производственного процесса: при добыче руды, изготовлении агломерата, выплавке чугуна, обжиме слябов и блюмов, изготовлении литых заготовок непрерывным способом и при производстве фасонного и листового проката, уникальных штамповок. Почти весь агломерат, потребляемый российскими доменными печами, изготавливается уралмашевскими агломерационными машинами. Половина железнодорожных рельсов и все железнодорожные колеса в России прокатываются на уралмашевских прокатных станах.

Уралмашевская землеройная техника и дробильно-размольное оборудование широко используются и в цветной металлургии при добыче и обогащении медных, марганцевых, цинковых руд и бокситов. Крылья, оперения и другие детали гражданских и военных самолетов и ракет штампуются на уралмашевских прессах.

Трудно переоценить вклад Уралмаша в развитие топливно-энергетического комплекса страны. В послевоенное время буровые установки Уралмаша сыграли очень важную роль в освоении всех крупнейших в СССР месторождений нефти и газа, что вывело страну на первое место в мире по добыче нефти. И сейчас крупнейшие валютные поступления в Россию обеспечиваются поставками на экспорт сибирского газа, доступ к которому открыли уралмашевские буровые установки, работающие в самых сложных природных условиях. А шагающие драглайны Уралмаша обеспечивают добычу одной трети российского угля, извлекаемого открытым способом.

Все плотины на Волге и великих сибирских реках возводились с применением уралмашевской землеройной техники. Экскаваторы с маркой "УЗТМ" использовались для прокладки всех судоходных и оросительных каналов на территории СССР, причем самый первый шагающий экскаватор — на строительстве Волго-Донского канала.

Известно, что многие российские предприятия нуждаются в техническом перевооружении и капитальной реконструкции. ОАО "Уралмашзавод" готово оказать им содействие в этом.

И пока живет Россия будет стоять и Уралмаш, на котором зиждется фундамент ключевых отраслей экономики страны.

УДК 622.271

А. В. Маковеев, канд. техн. наук, инж.-констр. 1-й категории, ОАО "Уралмашзавод", г. Екатеринбург E-mail: mail@uralmash.ru

Основные металлоконструкции мощных карьерных экскаваторов Уралмашзавода

Рассмотрены основные, "несущие" металлоконструкции мощных карьерных экскаваторов Уралмашзавода, т. е. узлы, непосредственно воспринимающие нагрузки, связанные с копанием породы.

Ключевые слова: задняя стенка ковша, корпус рукояти, корпус стрелы, корпус двуногой стойки, корпус лебедки подъема, поворотная платформа, нижняя и гусеничные рамы.

A. V. Makoveev

Basic Metal Powerful Shovels Uralmashzavod

The article describes the main "carriers" of powerful metal shovels Uralmashzavod, nodes directly supports the load associated with digging rocks.

Keywords: back wall of the bucket, the handle housing, the housing boom, the two-legged rack housing, the housing recovery winch, turntable, lower and tracked chassis.

Уралмашзавод традиционно специализируется на выпуске карьерных экскаваторов с двухбалочной рукоятью и реечным напором. Зарубежным аналогом наших машин являются экскаваторы фирмы "Харнишфегер". К мощным карьерным экскаваторам, выпускаемым в настоящее время на нашем заводе, относятся такие машины, как ЭКГ-12A, ЭКГ-18, а также находящийся в производстве ЭКГ-30.

К основным, "несущим" металлоконструкциям мощных карьерных экскаваторов Уралмашзавода относятся: задняя стенка ковша, корпус рукояти, корпус стрелы, корпус двуногой стойки, корпус лебедки подъема, поворотная платформа, нижняя и гусеничные рамы. Это узлы, непосредственно воспринимающие нагрузки, связанные с копанием породы ковшом машины.

Помимо основных можно выделить и вспомогательные металлоконструкции. Их назначение — укрытие узлов и их элементов от внешних воздействий (например, кузов машины); обеспечение комфортных условий работы обслуживающему персоналу (верхняя и нижняя кабины); доступ обслуживающего персонала к узлам (лестницы, пло-

щадки и ограждения); размещение узлов, непосредственно не воспринимающих нагрузки, связанные с копанием горной породы (кронштейн кабельного барабана).

Основные металлоконструкции выполняют ряд функций: рукоять — это, прежде всего, передача напорного усилия через ковш, соединенный с ней, на забой; задняя стенка ковша — формирование внутреннего объема ковша, является промежуточным звеном между рукоятью и передней стенкой ковша с размещенными на ней зубьями; стрела — рычага II рода, воспринимающего нагрузки от рукояти и подъемных канатов, огибающих головные блоки и сообщающих ковшу подъемное усилие, удерживается в рабочем положении подвеской и является базой для размещения на ней механизма напора; двуногая стойка — опоры для подвески стрелы, позволяя удерживать последнюю в рабочем положении; корпус редуктора лебедки подъема — опоры для валов зубчатых передач редуктора подъема, передает усилия от подъемных канатов на поворотную платформу через шпильки, которыми крепиться к ней; поворотная платформа — базы для размещения большинства механизмов машины (стрелы, двуногой стойки, лебедки подъема, пневмосистемы, электрооборудования и т. д.). Все усилия, воспринимаемые поворотной платформой от размещенного на ней оборудования, передаются через центральную цапфу и роликовый круг на нижнюю раму, далее — на гусеничные рамы и грунт. Нижняя и гусеничные рамы являются также базой для размещения элементов механизма хода.

Задняя стенка ковша

На экскаваторах ЭКГ-12 и ЭКГ-18 применяется сварная, коробчатой конструкции, задняя стенка ковша 1 (рис. 1), имеющая в плане Π -образную форму. Для увеличения прочности и устойчивости задняя стенка имеет верхний 2 и нижний 3 силовые пояса коробчатой формы, передающие усилие напора на переднюю стенку 4 ковша с зубьями 6.

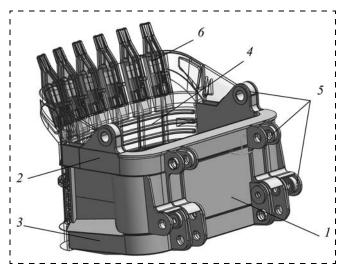


Рис. 1. Задняя стенка ковша ЭКГ-18

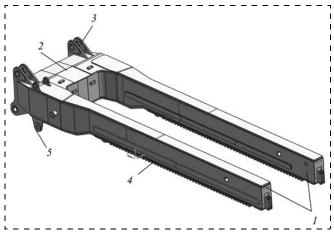


Рис. 2. Рукоять экскаватора ЭКГ-18

На задней стенке выполнены проушины 5: в верхней части — для шарнирного крепления к ковшу коромысла. В задней части стенки — для соединения ковша с рукоятью, для шарнирного крепления днища ковша. Конфигурация задней стенки обеспечивает хорошие условия разгрузки ковша.

Задняя стенка ковша выполнена из листового проката и поковок. Материал — низколегированная сталь.

Корпус рукояти

Традиционно карьерные экскаваторы Уралмашзавода имеют двухбалочную рукоять (рис. 2), представляющую собой сварную рамную конструкцию, балки *1* которой соединены впереди мощным ригелем *2*. Балки и ригель имеют коробчатое сечение. Для повышения устойчивости в балках имеются поперечные диафрагмы, а напротив полос износа установлены продольные листы жесткости. Ригель также имеет ряд продольных и поперечных диафрагм.

В передней части ригеля выполнены проушины 3 с растачиваемыми отверстиями для крепления рукояти к корпусу ковша. Верхние и нижние настилы, а также боковые платики обрабатываются механически. На нижние обработанные настилы привариваются после соответствующей выверки зубчатые рейки 4, посредством которых рукояти сообщается усилие от напорного механизма.

Слева на настилах рукояти имеются проушины *5* для установки элементов механизма открывания днища ковша.

Конструкция рукояти определяется шириной ковша, конструктивными параметрами седлового подшипника, шириной зубчатой рейки, длиной хода самой рукояти, нагрузками, возникающими во время работы.

Во время работы рукоять экскаватора совершает сложное вращательно-поступательное движение. Поступательное движение рукояти сообщается от напорного двигателя через редуктор и реечную передачу; вращательное — от лебедки подъема через канаты. Платики на боковых наружных и верхних настилах контактируют с бронзовыми ползунами седлового подшипника, платики на боковых внутренних настилах — с полосами износа на направляющих стрелы.

Поскольку рукоять во время работы испытывает значительные нагрузки, ее корпус изготовляется из высокопрочной легированной стали.

Корпус стрелы

Корпус стрелы представляет собой балку 1 (рис. 3) коробчатого сечения. Это сварная конструкция, состоящая из трех основных частей: верхней с опорами 2 под ось головных блоков и проушинами 3 под пальцы вант, средней 4, являющуюся корпусом напорного редуктора, и нижней 5 с широко расставленными опорами. Два кронштейна 6, расположенные по бокам от корпуса стрелы, несут на себе обслуживающие площадки. На одном из кронштейнов устанавливается также двигатель напора.

Применение на машинах Уралмашзавода лебедки подъема с двумя консольно расположенными барабанами требует разнесения в стороны головных блоков, что ведет к увеличению ширины верхней части стрелы.

Переход на вантовую подвеску обусловил появление проушин на верхнем настиле у головных блоков, к которым крепятся вилки вант (ЭКГ-18, ЭКГ-30). У экскаватора ЭКГ-12 крепление вант осуществляется к серьгам, которые устанавливаются на головной оси вместо блоков полиспастной подвески. Это позволило перейти на вантовую подвеску, не меняя конструкции корпуса стрелы.

Конструкция средней части корпуса стрелы определяется конструкцией картера редуктора напора, размещаемого в ней, геометрическими параметрами седлового подшипника и рукояти, требованием обеспечения прочности и выносливости в процессе эксплуатации.

При проектировании нижней части стрелы стремятся максимально разнести ее пяты, которыми она опирается на поворотную платформу. Это позволяет лучше воспринимать стрелой рабочие нагрузки. Расстояние, на которое разносят опоры стрелы, ограничивается требованиями железнодорожных перевозок к габариту перевозимых конструкций.

Для возможности сборки, а также для осмотра состояния металлоконструкций в период эксплуатации в секциях стрелы предусмотрены люки.

Корпус редуктора лебедки подъема

Корпус редуктора (рис. 4) является сварной металлоконструкцией коробчатой формы. В корпусе выполнены опоры для валов зубчатых передач редуктора подъема. Нижняя часть корпуса образует картер для смазки передач. Корпус также осуществляет функции укрытия зубчатых передач. Состоит из двух основных частей — непосредствен-

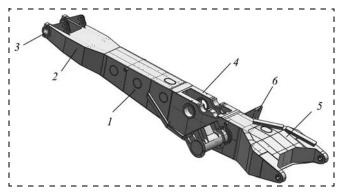


Рис. 3. Корпус стрелы ЭКГ-18

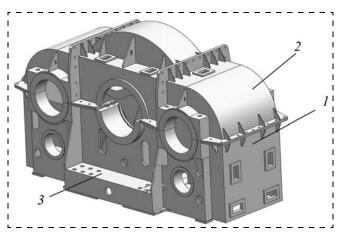


Рис. 4. Корпус редуктора лебедки подъема ЭКГ-30

но корпуса 1 и крышки 2, горизонтальный разъем между которыми выполнен по осям промежуточных валов и вала барабана. Для удобства ремонта крышку делают из нескольких частей, соединенных между собой по вертикальным разъемам. В нижней части корпуса сформирован силовой пояс 3 коробчатой формы с отверстиями под шпильки, которыми корпус редуктора крепится к поворотной платформе.

В качестве материала для изготовления корпуса редуктора лебедки подъема используются листовой прокат и отливки из низколегированной стали.

Поворотная платформа

Поворотная платформа мощных карьерных экскаваторов представляет собой металлоконструкцию, состоящую из нескольких секций, кронштейнов, постаментов и площадок. Секции 1 (рис. 5), кронштейны 2 и постаменты 3 — это сварные металлоконструкции, выполненные из низколегированной стали. Площадки выполняются из низкоуглеродистой стали.

Секции платформы формируют базу, к которой присоединяются остальные элементы платформы. Деление базы на секции обусловлено требования-

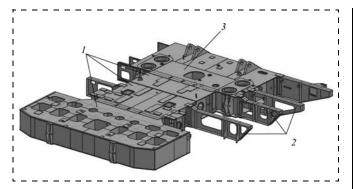


Рис. 5. Секции и кронштейны поворотной платформы ЭКГ-18

ми транспортировки, обработки, конструкцией и расположением оборудования на платформе.

У экскаваторов ЭКГ-12А и ЭКГ-18 база поворотной платформы состоит из трех секций. В передней секции платформы, на которой размещается поворотный механизм, выполнены стаканы под его выходные валы, установлена ступица под стакан центральной цапфы, а также имеются проушины под опоры стрелы и переднюю раму двуногой стойки. Для размещения кабелей электрического оборудования в секции выполнены желоба.

Средняя секция является опорой для лебедки подъема. К секции, на высокопрочных болтах, присоединяются постаменты, на которых выполнены платики под лапы электродвигателей подъема. Механическая обработка поворотной платформы в цехе производится при соединенных между собой передней и средней секциях, а также постаментах под электродвигатели.

Задняя секция является корпусом закладного противовеса.

Все три секции имеют коробчатую конструкцию с рядом продольных и поперечных балок. В первой секции, в месте установки на нижнем настиле рельса опорно-поворотного устройства, вварены секции круговой балки. Круговая балка установлена также во второй секции, в месте крепления рельса.

При монтаже секции и постаменты соединяются между собой высокопрочными болтами. К собранной базе также высокопрочными болтами крепятся кронштейны под площадки и кабину машиниста. Сами площадки выполнены в два яруса. Уровень первого яруса совпадает с верхним настилом базы, уровень второго — с нижним. На первом ярусе располагают шкафы электрооборудования, станции смазки, элементы кузова машины и другое оборудование. На нижнем ярусе размещают желоба для электрических кабелей, станции смазки.

База поворотной платформы ЭКГ-30 состоит из четырех секций 1-4 (рис. 6). В отличие от экс-

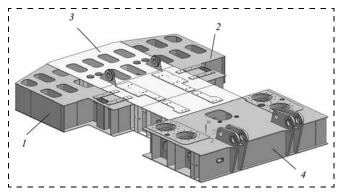


Рис. 6. Секции поворотной платформы ЭКГ-30

каваторов ЭКГ-12А и ЭКГ-18, у ЭКГ-30 функцию корпуса закладного противовеса выполняют средняя секция 3, у которой в задней части имеются полости для него, и две боковые секции, выполненные совместно с постаментами под электродвигатели подъема.

Для возможности сборки, а также для осмотра состояния металлоконструкций в период эксплуатации в секциях платформы предусмотрены люки.

Двуногая стойка

Корпус двуногой стойки (рис. 7) представляет собой две шарнирно-сочлененные между собой

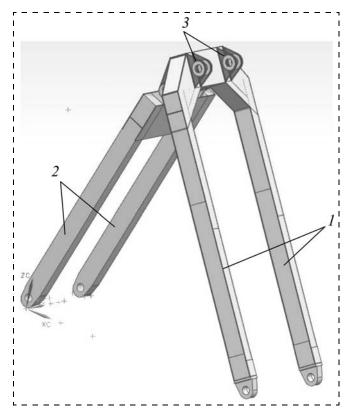


Рис. 7. Двуногая стойка

рамы — стойку *1* и оттяжку *2*. Каждая из рам представляет собой сварную металлоконструкцию, балки и ригель которой имеет коробчатое сечение. Передняя рама — стойка, имеет в верхней части растачиваемые проушины *3* для установки балансиров вантовой подвески. Опоры стойки выполнены в виде отливок, вваренных в балки, с растачиваемыми отверстиями под пальцы, которыми стойка соединяется с проушинами поворотной платформы. Опоры оттяжки изготовлены из листового проката. Материал, из которого выполнены рамы — отливки и листовой прокат из низколегированной стали.

Нижняя рама

Нижняя рама экскаваторов ЭКГ-12A, ЭКГ-18 и ЭКГ-30 представляет собой сварную коробчатую конструкцию с продольными и поперечными балками I (рис. 8) (стенки). Для увеличения устойчивости конструкции в качестве опор под роликовый круг и зубчатый венец установлены круговые балки 2. В центральной части нижней рамы расположен кронштейн 3 для установки центральной цапфы.

На верхнем настиле 4 с помощью призонных втулок устанавливается зубчатый венец механизма поворота.

Для соединения с гусеничными рамами на боковых стенках нижней рамы (у ЭКГ-30 и на задней стенке) выполняют привалочные поверхности.

У ЭКГ-12А и ЭКГ-18 соединение нижней рамы с гусеничными осуществляется замком (снизу) и призонными втулками (сверху). Использование призонных втулок делает необходимым обработку отверстий под них в нижней раме вместе с гусе-

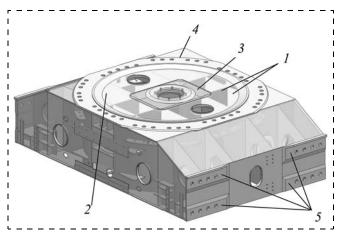


Рис. 8. Нижняя рама ЭКГ-30

ничной рамой. У экскаватора ЭКГ-30 соединение осуществляется горизонтальными шпильками, отверстия для которых выполняются в нижней раме отдельно от гусеничных рам.

Для разгрузки крепежных деталей от вертикальных усилий на боковых стенках нижней рамы выполнены Γ -образные выступы 5, в которые упираются торцами боковые листы гусеничных рам.

Для возможности сборки, а также для осмотра состояния металлоконструкции в период эксплуатации в нижней раме предусмотрены люки.

Рама изготовлена из листового проката и поковок из низколегированной стали.

Гусеничные рамы

Гусеничные рамы экскаваторов ЭКГ-12А, ЭКГ-18 и ЭКГ-30 представляют собой сварные коробчатые конструкции с поперечными диафрагмами. Сами элементы конструкций выполнены из поковок, отливок и листового проката. В качестве материала используется низколегированная сталь.

В передней части гусеничной рамы экскаваторов ЭКГ-12А и ЭКГ-18 выполнены окна для установки балансира, являющегося осью натяжного колеса, и элементов механизма натяжения гусеничной ленты. В гусеничной раме ЭКГ-30 также выполнены окна для блоков, посредством которых осуществляется натяжение гусеничной ленты. Сами блоки установлены на оси натяжного колеса.

У экскаваторов ЭКГ-12А и ЭКГ-18 задняя часть рамы является картером для бортового редуктора, на первичный вал которого посажено выходное зубчатое колесо навесного редуктора хода, присоединяемого к раме шпильками. На выходном валу бортового редуктора посажено ведущее колесо. Также в гусеничной раме выполнены опоры для осей поддерживающих и опорных колес.

У экскаватора ЭКГ-30 в задней части гусеничной рамы выполнен фланец I (рис. 9) для присоединения цилиндро-планетарного редуктора. В самой раме выполнены расточки 3 для установки вала ведущего колеса. В отличие от ЭКГ-12A и ЭКГ-18 данный экскаватор имеет многоопорный ход. Поэтому опорные катки, сравнительно меньшего диаметра, устанавливаются между боковыми стенками 2 рамы, а не консольно, как у ЭКГ-12A и ЭКГ-18. Это также позволило отказаться от поддерживающих колес, заменив их ползунами, опоры 4 для которых выполнены на верхних настилах гусеничной рамы.

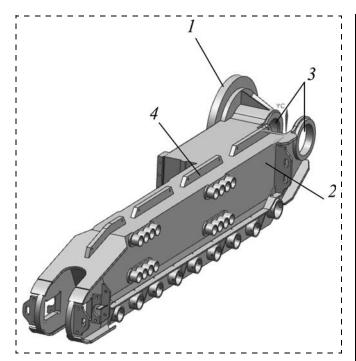


Рис. 9. Левая гусеничная рама ЭКГ-30

У экскаваторов ЭКГ-12A, ЭКГ-18 для соединения с нижней рамой у гусеничной рамы в центральной части внизу выполнены захваты. Отверстия под призонные втулки выполняют в "выпущенном" вверх листе боковой стенки. У экскаватора ЭКГ-30 в гусеничных рамах под шпильки выполнены отверстия.

Расчет металлоконструкций

Во время экскавации горной породы на металлоконструкции машины действуют различные усилия, зависящие от большого количества факторов: физико-механические свойства горных пород, разрабатываемых машиной, степень подготовки забоя, климатические условия, наладка приводов, квалификация машиниста и т. д. Учесть такое разнообразие факторов в расчетах невозможно. Поэтому, на основании опыта как проектирования, так и эксплуатации карьерных экскаваторов, а также данных испытаний машин в полевых условиях для расчетов принимают определенный ряд силовых факторов, который должен наиболее полно отражать картину нагрузок на металлоконструкции машины во время экскавации горной массы.

Выполнение прочностных расчетов с учетом выбранных марок сталей позволяет принять оптимальные сечения несущих металлоконструкций, что является важным фактором в обеспечении прочности и долговечности конструкций экскаватора.

В работе [1] приведена основная последовательность расчетов металлоконструкций карьерных экскаваторов, применяемых в конструкторском отделе сварных конструкций экскаватора.

Прежде всего определяют максимальные нагрузки, действующие на металлоконструкции рабочего оборудования карьерного экскаватора (с учетом стопорных моментов, развиваемых двигателем, а также коэффициентов динамики). Путем различного сочетания и изменения места приложения нагрузок определяются рабочие, случайные и аварийные нагрузки, действие которых, в свою очередь, рассматривается для трех или четырех положений ковша в забое.

Ранее при расчете рукояти учитывались усилия подъема, напора, а также боковое усилие, действующее на зуб ковша, когда включен поворот, а ковш контактирует с забоем. В настоящее время, в результате введения электронных защит в управление экскаватора, не позволяющих осуществлять копание с поворотом, этот случай исключен из расчета. В качестве опор выступают: седловой подшипник, опорные ролики на напорном валу и зуб ковша — средний или крайний.

При расчете стрелы принимают усилия в подъемных канатах, усилия на напорном валу, возникающие как реакция от рукояти, а также инерционные нагрузки, возникающие при повороте машины с порожним и груженым ковшом при полностью выдвинутой рукояти, когда вершины зубьев находятся на уровне оси напорного вала. При расчете стрелы опорами служат подпятники поворотной платформы и подвеска.

При расчете двуногой стойки принимают усилия от подвески стрелы, а сама стойка рассчитывается как две независимые шарнирно-сочлененные рамы.

Поворотная платформа рассчитывается с учетом усилий от подъемных канатов, передаваемых через корпус редуктора подъема, опор стрелы и двуногой стойки, как система перекрестных балок. Опорой являются роликовый круг и центральная цапфа.

Нижняя и гусеничные рамы рассчитываются как простые балки с учетом усилий, приходящих на них от поворотной платформы.

Расчетами определяются также наиболее нагруженные сечения конструкций и возникающие в них напряжения. Проводятся расчеты как на усталость, так и на прочность. Исходя из опыта проектирования и эксплуатации, последние являются определяющими для металлоконструкций карьерных экскаваторов.

Металлоконструкции карьерных экскаваторов Уралмашзавода обеспечивают высокопроизводительную и надежную работу машин в любых климатических и горно-геологических условиях с минимальными затратами на обслуживание. Их высокая прочность и долговечность достигнуты за счет:

правильного моделирования рабочих процессов и выбора расчетных схем и применения самых современных методов расчетов;

оптимального распределения масс и жесткостей;

рационального выбора материалов, режимов сварки и термической обработки, большого объема контроля;

высокой квалификации конструкторов, их большого опыта в проектировании и монтаже экскаваторов большой единичной мощности.

Список литературы

1. **Горное** оборудование Уралмашзавода/ Коллектив авторов. Ответственный редактор-составитель Г. Х. Бойко. Екатеринбург: Уральский рабочий, 2003. 240 с.

УДК 621.879

Н. М. Суслов, д-р техн. наук, проф., УГГУ, г. Екатеринбург

E-mail: gmf.gmk@ursmu.ru

Эксплуатационная характеристика существующих шагающих механизмов одноковшовых экскаваторов

Дана оценка многолетней эксплуатации шагающего ходового оборудования экскаваторов, перемещающихся по глинистым грунтам с низкой несущей способностью. Приведены достоинства шагающих механизмов при работе в таких условиях, указаны направления совершенствования конструкций ходового оборудования.

Ключевые слова: экскаватор, механизм шагания, глинистый грунт, несущая способность грунта, привод механизма хода, опорные башмаки.

N. M. Suslov

Operating Characteristics of Existing Walking Mechanisms Shovels

The article assesses the long-term exploitation walking navigating equipment excavators moving on clayey soils with low bearing capacity. Given the dignity of walking mechanisms at work in these conditions, are areas of improvement constructs navigating equipment.

Keywords: excavator, walking mechanism, clay soil, soil bearing capacity, the drive of the movement, the bearing pads.

Многолетняя эксплуатация одноковшовых экскаваторов на вскрышных работах при экскавации наносных глинистых пород показала достоинства шагающего ходового оборудования. Машины, оборудованные шагающим ходом, создают малое давление на грунт как при работе, так и при передвижении. Это обстоятельство позволяет использовать для работы на глинистых грунтах с низкой несущей способностью такие тяжелые экскаваторы, как ЭШ-100.100, ЭШ-65.100 Уралмашзавода и шагающий драглайн 4250-W фирмы "Бюсайрус-Ири" (США), масса которого превышает 13 тыс. т. Несмотря на большую массу, шагающее ходовое

оборудование обеспечивает экскаваторам высокую маневренность, что позволяет использовать машины в самых различных условиях.

Шагающее ходовое оборудование просто в изготовлении и надежно в эксплуатации. Эффективное использование календарного фонда времени шагающими экскаваторами Уралмашзавода на различных разрезах России, стран СНГ и ближнего зарубежья является тому подтверждением. Простои экскаваторов, связанные с обслуживанием, наладкой и неисправностями механизмов шагания составляют не более 7 % общего времени простоев экскаваторов. В гидравлических шагаю-

щих механизмах это, в основном, время, затраченное на замену масла в гидросистеме, которая проводится 1 раз в полгода. Применение гидропривода позволяет выполнить механизм менее металлоемким.

Широта применения гидравлических приводов в горных машинах обусловлена их преимуществами, наиболее важными из которых являются относительно малые габариты и высокая весовая отдача, под которой понимается сила тяжести, приходящаяся на единицу передаваемой мощности. Так, габариты современного гидравлического мотора и насоса при давлении 20 МПа составляют 12 % габаритов электродвигателя той же мощности, масса насосов и гидромоторов составляет 10 % массы электрических агрегатов подобного назначения той же мощности [1, 2].

В современных гидроприводах минимальная масса имеет место при давлениях 25...35 МПа. При меньших давлениях масса системы увеличивается за счет размеров гидродвигателя, гидролиний и гидроаппаратуры. При больших давлениях — за счет увеличения толщины стенок всех элементов гидропривода.

При малых габаритах и массе обеспечивается малая инерционность вращающихся частей, позволяющая быструю смену режимов работы (пуск, разгон, реверс, остановка).

Уменьшению массы гидроаппаратов способствует свойство рабочей жидкости уносить тепло из элементов гидропривода, выделяемое в результате потерь энергии. Это позволяет увеличить мощность, приходящуюся на единицу объема элемента.

Практика показала, что применение гидравлического привода на горных машинах позволяет снизить на 15...20 % массу машины, существенно сократить число быстроизнашиваемых деталей, обеспечить автоматическое управление рабочими процессами машин. Кроме того, объемный гидропривод в большинстве случаев полностью исключает механическую трансмиссию и простыми средствами преобразует вращательное движение в поступательное.

Расширению области использования гидропривода способствует и такое его важное преимущество, которое в полной мере может быть оценено конструкторами-машиностроителями, — упрощение синтеза механизмов и машин любого назначения. При этом выбранная при проектировании программа функционирования механизма легко может быть скорректирована или полностью пе-

рестроена в соответствии с изменившимися условиями [3].

Существенным достоинством механизма шагания с гидроприводом является возможность регулирования траектории движения экскаватора, что приобретает особую значимость при движении по грунтам с низкой несущей способностью. Кроме того, гидрофицированный механизм шагания обеспечивает плавность перемещения машины.

Впервые гидрофицированный механизм шагания с неполным отрывом базы был применен на экскаваторе ЭШ-14.75 в 1949 г. Конструкция механизма шагания, предложенная конструктором Т. Е. Исаевым [4], включает два подъемных и два тяговых гидроцилиндра, подвешенных к стойкам поворотной платформы. Плунжеры гидроцилиндров крепятся шарнирно к траверсе, установленной на опорном башмаке и позволяющей башмаку приспосабливаться к неровности поверхности грунта.

Известно, что механизм шагания драглайна обеспечивает технологическое перемещение машины. Однако практика показала, что в некоторых случаях экономически целесообразно перемещать экскаватор своим ходом на значительные расстояния [5, 6]. Так, в начале 1975 г. был осуществлен переход экскаватора ЭШ-15.90, оборудованного трехопорным механизмом шагания, из Сарбайского карьера на площадку нового железорудного карьера в Качарах на расстояние 50 км. На демонтаж и монтаж на новом месте такого экскаватора потребовалось бы примерно 2,5 года. Поставка нового экскаватора Уралмашзавода была возможна только в 1976 г. С учетом времени монтажа новый экскаватор смог бы приступить к работе на вводимом карьере только в 1978 г. На переход экскаватора на новое место работы потребовалось всего два месяца, хотя планировалось затратить полгода. Таким образом, перегон экскаватора своим ходом позволил начать работу на новом месте в том же 1975 г. Необходимо отметить, что до этого указанный экскаватор проработал в карьере 12 лет, после чего — 58 дней в пути, на котором встретились и пахота, и снег, и газовые магистрали, и линии электропередач. Проделанный экскаватором переход явился ярчайшим доказательством высокой надежности конструкции механизма хода, правильности выбранных его создателями технических решений.

Вместе с тем опыт эксплуатации уникального четырехопорного гидравлического механизма шагания опытно-промышленного экскаватора ЭШ-100.100 позволил выявить направления со-

вершенствования конструкции ходового оборудования. При проектировании очередного экскаватора ЭШ-65.100 с четырехопорным гидравлическим шагающим механизмом в конструкцию ходового механизма был внесен ряд изменений, которые значительно повысили эксплуатационные показатели механизма и экскаватора в целом [5].

Изменениям подверглись как отдельные элементы механизма шагания, так и гидравлическая система привода хода. Так, в частности, существенно была усовершенствована гидравлическая система скользящей опоры, где число золотниковых распределителей удалось сократить с 8 до 3. Много хлопот доставило соединение "скользуна" с опорным башмаком, выполненное в виде "ласточкиного хвоста". Нагрузки на "ласточкин хвост" в процессе шагания и при постановке опорных башмаков на захваты были предельными. Возникающие нагрузки вызывали большие напряжения в этом соединении. В результате были случаи разрушения "скользунов" (при определенных условиях). При работе экскаватора опорные башмаки подняты над поверхностью грунта и удерживаются в таком положении захватами. При этом в "ласточкином хвосте" возникают большие напряжения ввиду возможного перекоса опорных башмаков. В целях снижения напряжений несколько изменена геометрия "ласточкиного хвоста", которая обеспечивает более равномерное распределение напряжений в этом узле.

Принципиальная схема механизма шагания экскаватора-драглайна ЭШ-65.100 подобна механизму шагания ЭШ-100.100, но по конструкции механизм значительно более совершенен. При создании этого механизма был использован тот богатый опыт, который накопился за время пуска и эксплуатации экскаватора ЭШ-100.100. Был внедрен целый ряд изобретений и рацпредложений, способствовавших снижению массы, повышению надежности и ремонтопригодности всех основных узлов механизма шагания. Так, в гидросистеме скользящей опоры полностью отсутствуют золотниковые распределители. Нет в новом механизме шагания и "ласточкиного хвоста". Новая конструкция шарнирного соединения плунжера подъемного цилиндра со скользящей опорой существенно облегчает монтаж этого узла и всего механизма шагания. Опорные башмаки при работе экскаватора удерживаются в подвешенном состоянии с помощью выдвижных упоров, устанавливаемых под плунжеры подъемных гидроцилиндров. Эти

выдвижные опоры выполняют одновременно роль предохранительных элементов. В случае непредвиденного опускания опорных башмаков упоры срезаются по специально выполненному опасному сечению.

Гидросистема шагающего механизма машины также значительно усовершенствована. Установлены более надежные современные насосы на повышенное удельное давление, не требующие подпиточных насосов. Насосные установки смонтированы на резиновых амортизаторах, что практически устраняет шум от работы насосов. Гидросистема предусматривает торможение плунжера подъемного гидроцилиндра в конце хода вверх, что обеспечивает плавность движения плунжера на всем его пути. Отсутствие таких устройств в гидросистеме хода экскаватора ЭШ-100.100 приводило к ударам плунжера о крышку гидроцилиндра в конце его хода, сотрясению всей машины.

Удельные нагрузки в скользящей опоре значительно снижены, поэтому поверхности скольжения практически не изнашиваются и не повреждаются в процессе шагания. Все это исключило возможность появления задиров на трущихся поверхностях, что имело место в механизме хода ЭШ-100.100. Механизм шагания экскаватора ЭШ-65.100 имеет значительно более высокие энерговесовые показатели. Так, "скользун" в новом механизме шагания имеет массу 7 т вместо 39 т в механизме ЭШ-100.100. Увеличилась и скорость перемещения машины до 0,1 км/ч, что позволяет сократить время, затрачиваемое на переходы, и тем самым повысить эффективность использования экскаватора.

Практика эксплуатации ЭШ-65.100 с первых его шагов показала высокие эксплуатационные качества механизма шагания, а относительная простота конструкции механизма позволила эксплуатационникам быстро его освоить. За годы эксплуатации экскаватор практически не имел простоев по причине отказов механизма шагания с первого дня его эксплуатации.

Все вышеизложенное подтверждает высокий уровень квалификации создателей таких уникальных механизмов, как механизмы шагания с гидроприводом. Эти механизмы по новизне технических решений, эффективности и надежности стоят не только в одном ряду с лучшими зарубежными образцами, но по многим параметрам значительно их превосходят.

Список литературы

- 1. **Ferensch I. C.** Development of the dragline excavator. Eng. News-Rec., 1930. Apr. 3.
- 2. **Башта Т. М.** Машиностроительная гидравлика. Справочное пособие. Изд. 2-е, перераб. и доп. М.: Машиностроение, 1971. 671 с.
- 3. **Суслов Н. М.** Условия рационального перемещения опорных башмаков трехопорного гидравлического механизма шагания экскаватора // Изв. УГГУ. Вып. 25—26. 2011. С. 94—96.
- 4. **Шагающий** механизм для мощных экскаваторов и других землеройных машин: а.с. 219455 СССР: 84 d 9/04 / Т. Е. Исаев, М. А. Казаринова, Б. С. Камышов, Б. И. Са-

- товский, В. Н. Попов (СССР). № 1133277/29-14; заявл. 30.01.67; опубл. 30.12.68. Бюл. № 18. 2 с.
- 5. **Журин Г. М., Кошевой Н. С.** Опыт перебазирования экскаваторов ЭШ-14.75 и ЭВГ-15 собственным ходом // Добыча угля открытым способом: Реф. сб. 1967. № 6. С. 17—21.
- 6. Суслов Н. М., Кострицкий В. С. Создание и эксплуатация шагающего ходового оборудования с гидроприводом // Совершенствование методов проектирования горных машин, нефтегазопромыслового и дробильно-размольного оборудования. Екатеринбург: ОАО "Уралмаш", 1997. С. 16—19.

УДК 622.232

В. С. Шестаков, канд. техн. наук, проф., С. А. Хорошавин, асп., УГГУ, г. Екатеринбург

E-mail: Shestakov.v.s@mail.ru

Составление моделей для расчета рабочего оборудования карьерных экскаваторов производства ОАО "Уралмашзавод"

Рассмотрена методика определения координат элементов и усилий в элементах рабочего оборудования карьерных экскаваторов. Приведены результаты расчетов.

Ключевые слова: экскаватор, методика, усилия, рабочее оборудование.

V. S. Shestakov, S. A. Horoshavin

Establishment of Models for Calculation of Working Equipment Mining Excavators of the Production OJSC "Uralmashzavod"

The article is devoted to the technique of definition coordinates elementes of efforts in the elements of the working equipment mining excavators. Presents the results of calculations.

Keywords: excavator, the methodology, the efforts of the working equipment.

Для анализа технологических возможностей и обеспечения требуемой надежности экскаватора на этапе проектирования необходимо проводить соответствующие расчеты. Для построения возможной рабочей зоны экскаватора требуются выражения для определения координат вершины зуба ковша по геометрическим размерам рабочего оборудования, вылету рукояти и углу ее поворота подъемной лебедкой. Элементы несущих металлоконструкций и механизмов экскаватора необходимо проверять на усталостную прочность, для чего требуются графики изменения на них усилий.

Графики усилий необходимы также при расчете требуемой мощности приводов напора и подъема.

На значения усилий оказывают влияние характеристики экскавируемой горной массы, траектории перемещения ковша при копании и транспортировании, конструктивные параметры основных механизмов и рабочего оборудования. Усилия в процессе работы меняются в широких пределах в зависимости от толщины стружки или размеров кусков взорванной горной массы, а также от наполнения и положения ковша. В процессе копания зачастую происходит стопорение ковша при

встрече непреодолимого препятствия, в этом случае на максимальные значения усилий будет оказывать влияние инерционность подвижных элементов.

Учитывая сложный характер влияний на усилия в элементах экскаватора перечисленных параметров, расчеты выполняются с использованием ЭВМ. При разработке программного обеспечения использован модульный принцип. Отдельными модулями оформлены математические модели расчета:

координат элементов рабочего оборудования по вершине зуба ковша;

возможной рабочей зоны экскаватора;

траектории перемещения вершин зубьев ковша по скоростям напорного и подъемного механизмов;

требуемого графика изменения скорости напорного механизма для обеспечения равномерной стружки при копании в связных грунтах;

усилий на зубьях ковша в двух вариантах при копании в связных грунтах и погрузке взорванной горной массы;

усилий в передаточных элементах основных механизмов при нормальном режиме работы и при "стопорении" ковша;

коэффициента загрузки приводов подъема и напора.

Программа открыта для дополнения другими модулями, над которыми проводится работа в настоящее время.

Модуль расчета координат элементов рабочего оборудования по вершине зуба ковша

Расчетная схема рабочего оборудования представлена на рис. 1*.

Исходными данными при определении численных значений координат являются размеры элементов рабочего оборудования и углы наклона (в формулах модели они обозначены для линейных размеров L с индексами по точкам на расчетной схеме, для угловых размеров присутствует знак \angle и буквенные обозначения угла по точкам расчетной схемы, для цилиндрических элементов присутствует d и буквенное обозначение элемента, координаты осей обозначаются буквами x и y с индексами по обозначению на расчетной схеме).

Координаты точек ковша и рукояти определяются по углу наклона рукояти и передней стенки ковша к горизонту. Схема для расчета угла наклона рукояти представлена на рис. 2.

При известных координатах точек K и C, линейных и угловых размеров рабочего оборудования расчет угла наклона рукояти и передней стенки ковша выполняется по следующим формулам.

Расстояние между вершиной зуба ковша и осью напорного вала

$$L_{CK} = \sqrt{(x_K - x_C)^2 + (y_K - y_C)^2}.$$
 (1)

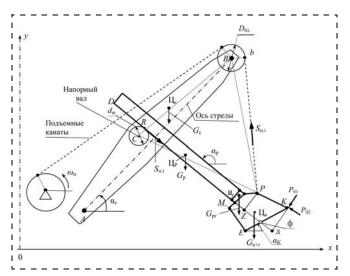


Рис. 1. Схема к составлению модели кинематического и силового анализа: ω_{Π} — угловая скорость барабана подъемной лебедки; $\Pi_{\rm c}$, $\Pi_{\rm p}$, $\Pi_{\rm k}$ — центр тяжести стрелы, рукояти и ковша; $d_{\Pi I}$ — диаметр кремольерной шестерни; $D_{6\pi}$ — диаметр головного блока; A — оси пяты стрелы; C — ось напорного вала; B — ось головных блоков; $\alpha_{\rm c}$ — угол наклона линии, соединяющей оси пяты стрелы и головных блоков к горизонту

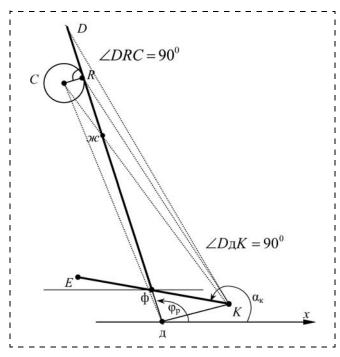


Рис. 2. Схема к определению угла наклона рукояти

^{*} Обозначения углов и точек на рис. 1—4 совпадают.

Из подобия треугольников CR ж и K дж учитывая, что $\mathit{CR} = \frac{d_{\mathrm{III}}}{2}$, имеем

$$\frac{d_{\text{III}}}{2L_{C\!\infty}} = \frac{L_{K\!\text{\ensuremath{\square}}}}{L_{CK}\!-L_{C\!\infty}}, \label{eq:local_local_local_local}$$

откуда

$$L_{C \mathscr{H}} = \frac{L_{CK} d_{III}}{d_{III} + 2L_{KII}}.$$
 (2)

Угол

$$\angle R \varkappa C = \arcsin \frac{d_{\text{III}}}{21L_{C \varkappa c}}$$
 (3)

Длина отрезка

$$L_{R\mathscr{H}} = L_{C\mathscr{H}} \cos \angle R\mathscr{H}C. \tag{4}$$

Длина отрезка

$$L_{\text{LDMC}} = (L_{CK} - L_{CMC})\cos\angle R\mathcal{M}C. \tag{5}$$

Длина отрезка

$$L_{R\pi} = L_{R\mathcal{H}} + L_{\pi\mathcal{H}}. \tag{6}$$

Длина отрезка

$$L_{KR} = \sqrt{L_{R\pi}^2 + L_{K\pi}^2}. (7)$$

Угол наклона линии CK к горизонту

$$\angle CKx = \operatorname{arctg} \frac{y_C - y_K}{x_C - x_K}.$$
 (8)

Угол

$$\angle RKD = \arccos \frac{L_{KR}^2 + L_{KD}^2 - L_{DR}^2}{2L_{KR}L_{KD}}.$$
 (9)

Угол

$$\angle CKR = \arctan \frac{0.5 d_{\text{III}}}{L_{KR}}.$$
 (10)

Угол

$$\angle DKx = \angle CKx - \angle CKR - \angle RKD. \tag{11}$$

Координаты точки D:

$$x_D = x_K + L_{KD}\cos\angle DKx; y_D = y_K + L_{KD}\sin\angle DKx.$$
 (12)

Координаты точки д:

$$x_{\Lambda} = x_{K} + L_{K\Lambda} \cos \angle \pi Kx;$$

$$y_{\Lambda} = y_{K} + L_{K\Lambda} \sin \angle \pi Kx.$$
 (13)

Угол наклона рукояти к горизонту

$$\varphi_{\rm p} = \arctan \frac{y_D - y_{\rm II}}{x_D - x_{\rm II}}.$$
 (14)

Угол наклона днища ковша к горизонту (см. рис. 2)

$$\alpha_{K} = \angle EKx = \pi - (\angle K \phi A - \phi_{p}).$$

Координаты точки E:

$$x_E = x_K + L_{KE} \cos \alpha_K; y_E = y_K + L_{KE} \sin \alpha_K. \quad (15)$$

Координаты точки M (см. рис. 1):

$$\angle MKx = \alpha_{K} - \angle MKE,$$
 (16)

$$x_{M} = x_{K} + L_{KM} \cos \angle MKx;$$

$$y_{M} = y_{K} + L_{KM} \sin \angle MKx.$$
 (17)

Координаты точки P

$$\angle PKx = \alpha_{K} - \angle PKE,$$
 (18)

$$x_P = x_K + L_{KP} \cos \angle PKx;$$

$$y_P = y_K + L_{KP} \sin \angle PKx.$$
 (19)

Модуль расчета координат элементов рабочего оборудования по длине подъемных канатов и вылету рукояти

Под вылетом рукояти на схеме понимается отрезок от точки контакта кремольерной шестерни с напорной рейкой R до точки проекции оси коромысла на линию продолжения напорной рейки L_{RZ} . Под длиной каната в расчетной схеме понимается отрезок от точки схода подъемных канатов с головных блоков b до оси коромысла ковша $P(L_{bP})$.

Углы треугольника ВРС по теореме косинусов:

$$\angle PCB = \arccos \frac{L_{PC}^2 + L_{BC}^2 - L_{BP}^2}{2L_{PC}L_{BC}};$$
 (20)

$$\angle BCx = \operatorname{arctg} \frac{y_B - y_C}{x_B - x_C}; \tag{21}$$

$$\angle PCx = \angle PCB - \angle BCx.$$
 (22)

Длины отрезков L_{PC} и L_{BP} определяются по длине подъемных канатов L_{bP} и вылету рукояти L_{RZ} :

$$L_{BP} = \sqrt{(D_{6\pi}/2)^2 + L_{bP}^2}.$$
 (23)

При выводе формул для расчета L_{PC} рассмотрен треугольник СРХ

$$L_{CZ} = \sqrt{(d_{\text{III}}/2)^2 + L_{RZ}^2};$$

$$\angle RZC = \arccos \frac{L_{RZ}^2 + L_{CZ}^2 - (d_{\text{III}}/2)^2}{2L_{RZ}L_{CZ}};$$
(24)

$$L_{PC} = \sqrt{L_{RZ}^2 + L_{CZ}^2 - 2L_{RZ}L_{CZ}\text{cos}(\pi/2 + \angle RZC)}.$$

Координаты точки P:

$$x_P = x_c + L_{PC}\cos\angle PCx; y_P = y_c - L_{PC}\sin\angle PCx.$$
 (25)

По найденному значению координат точки Pопределяются координаты всех элементов рабочего оборудования и точек приложения сил тяжести элементов.

Модуль построения рабочей зоны экскаватора

Этот модуль позволяет проанализировать технологические возможности экскаватора.

Рабочая зона экскаватора определяется минимально и максимально возможными траекториями перемещения зубьев ковша.

Минимальное расстояние от оси вращения до зубьев ковша определяется по размерам ходовой тележки и размерам ковша (рис. 3).

При копании под углом к продольной оси ходовой тележки расстояние от оси вращения до точки x_{01}

$$L_{xp} = \sqrt{(L_x/2)^2 + (B_x/2)^2}$$
. (26)

Минимальный радиус копания определяется по условию исключения удара по ходовой тележке, при таком требовании длина линии L_{xo1-H} должна быть не меньше половины высоты гусеницы $h_{\rm r}$.

Координата точки "н" по положению зуба ковша

$$x_{\rm H} = x_K + y_{\rm H} {\rm ctg}\alpha_{\rm K}. \tag{27}$$

Координаты точки "н" по размерам ходовой тележки:

$$y_{\rm H} = y_{\rm xo1} + 0.5h_{\rm r}\sin(\alpha_{\rm K} - \pi/2);$$

 $x_{\rm H} = x_{\rm xo1} + 0.5h_{\rm r}\cos(\alpha_{\rm K} - \pi/2).$ (28)

Из (27), (28) определяется координата вершины зуба ковша по оси x, обеспечивающая условие исключения удара по ходовой тележке:

$$x_{K} = x_{\text{XO1}} + 0.5h_{\Gamma}\cos(\alpha_{K} - \pi/2) +$$

$$+ [y_{\text{XO1}} + 0.5h_{\Gamma}\sin(\alpha_{K} - \pi/2)]\cot(\alpha_{K} - \pi/2).$$
 (29)

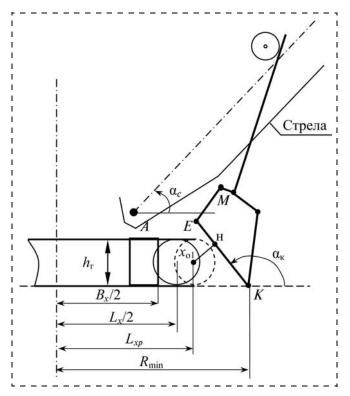


Рис. 3. Схема к определению минимального радиуса копания: $B_{\scriptscriptstyle X},\,L_{\scriptscriptstyle X},\,h_{\scriptscriptstyle \Gamma}$ — ширина, длина и высота гусеничного хода

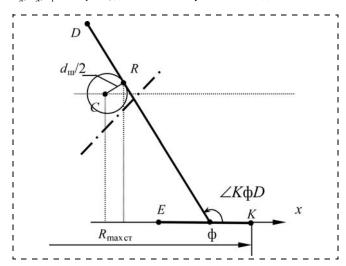


Рис. 4. Схема для расчета максимального радиуса копания на уровне

Эта координата и будет соответствовать минимальному радиусу копания $R_{\min} = x_K$.

Максимальный радиус копания на уровне стояния определяется при положении передней стенки ковша горизонтально, т. е. при $\alpha_{\rm K} = 180^{\circ}$ (рис. 4).

еключения удара по ходовой тележке:
$$R_{\text{max cT}} = x_K = x_{\text{xo1}} + 0.5h_{\Gamma}\cos(\alpha_{\text{K}} - \pi/2) + \\ + [y_{\text{xo1}} + 0.5h_{\Gamma}\sin(\alpha_{\text{K}} - \pi/2)]\text{ctg}(\alpha_{\text{K}} - \pi/2). \quad (29)$$
$$= x_c + \frac{d_{\text{III}}}{2\sin(\pi - \angle K \Phi D)} + \frac{y_c}{\text{tg}(\pi - \angle K \Phi D)} + L_{K\Phi}. \quad (30)$$

Модуль расчета усилий напорного и подъемного механизмов

Статические усилия в подъемном канате $S_{\Pi.i}$ при черпании и транспортировании ковша определяются из уравнения моментов от сил сопротивления породы копанию P_{01} и P_{02} , веса ковша с грузом $G_{\mathrm{K+r}}$ и веса балок рукояти G_{p} , веса головной отливки рукояти G_{pr} относительно оси напорного вала. Значения плеч действия сил определяются по координатам центров тяжести элементов. Балки рукояти учитываются в расчетах распределенной нагрузкой по длине рукояти, а концевая отливка — сосредоточенной силой.

Уравнение равновесия относительно оси напорного вала (см. рис. 1)

$$-q_{p}(x_{R}-x_{D})^{2}/2 + q_{p}(x_{H}-x_{R})^{2}/2 + G_{pr}x_{Gpr} + G_{K+r}x_{GK+r} + P_{01}L_{CK} - S_{H,i}L_{CP}\sin(\angle CPx - \angle bPx) = 0,$$
(31)

где $x_{Gp\Gamma}, x_{GK+\Gamma}$ — координата x центра тяжести головной отливки рукояти, ковша с горной массой;

$$q_{\rm p}$$
 — распределенная нагрузка рукояти, $q_{\rm p} = \frac{G_{\rm p}}{L_{DM}}$.

Из уравнения равновесия определяется усилие в подъемном канате при копании

$$S_{\Pi.i} = \frac{P_{01}L_{CK} + G_{K+\Gamma}x_{GK+\Gamma} + G_{p\Gamma}x_{Gp\Gamma} + L_{CP} \times}{L_{CP} \times} \rightarrow \frac{+q_{p}(x_{R} - x_{D})^{2}/2 - q_{p}(x_{H} - x_{R})^{2}/2}{\times \sin(\angle CPx - \angle bPx)}.$$
 (32)

При копании без стопорения напорное усилие в рукояти зависит от усилий копания, положения ковша и его загруженности горной массой.

Напорное усилие определяется из суммы проекции всех действующих сил на образующую зубчатой рейки или ось рукояти (см. рис. 1):

$$S_{\text{H}.i} = S_{\text{\Pi}.i}\cos(\alpha_{\text{p}} - \angle bPx) + P_{02}\cos(\angle CKx - \alpha_{\text{p}}) - P_{01}\sin(\angle CKx - \alpha_{\text{p}}) - G_{\text{K}+r}\sin\alpha_{\text{p}} - G_{\text{p}} + G_{\text{pr}}\sin\alpha_{\text{p}}.$$
(33)

Модуль имитации работы

Для проведения кинематического и силового анализа разработан алгоритм и по нему составлена программа для ЭВМ.

В алгоритме имитационной модели обеспечено изменение начальной точки копания от мини-

мального до максимально возможного радиуса. Шаг изменения координат траектории для связных пород определяется по известным зависимостям по условию заполнения ковша до уровня оси напорного вала [1, стр. 128].

Траектория копания из начальной точки формируется работой напорного и подъемного механизмов, при интегрировании скоростей этих механизмов определяются вылет рукояти и длина подъемных канатов от головных блоков до ковша.

Используя разработанные модули на ЭВМ, проведены исследования с имитацией работы экскаватора в связных грунтах. Моделировались варианты различного управления приводами напора и подъема. По результатам исследований получены следующие выводы.

Для обеспечения сохранения профиля забоя при копании с одного места при отработке забоя необходимо совершать движение зубьев ковша таким образом, чтобы толщина стружки на уровне стояния и на уровне оси напорного вала была одинаковой, т. е. чтобы происходило параллельное смещение профиля. Результаты наших исследований показали, что при обеспечении постоянного сигнала задания приводу механизма напора, определенного по радиусам в начале и в конце копания, не обеспечивается эквидистантность траекторий. На рис. 5 представлены результаты таких расчетов. Анализ траекторий показывает, что при равном перемещении ковша на уровне стояния и на уровне оси напорного вала промежуточные значения расстояний по горизонтали между соседними (и, соответственно, между первой и последней) траекториями будут меньшими. К концу отработки забоя ошибка накопится и после передвижения экскава-

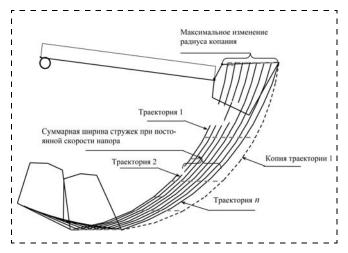


Рис. 5. Траектории копания при постоянной скорости выдвижения рукояти

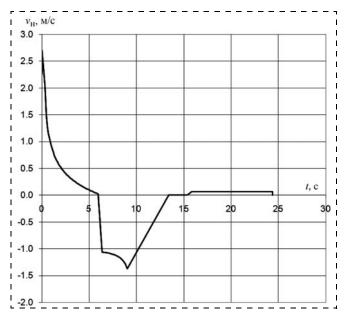


Рис. 6. График требуемой скорости напора для обеспечения эквидистантных траекторий

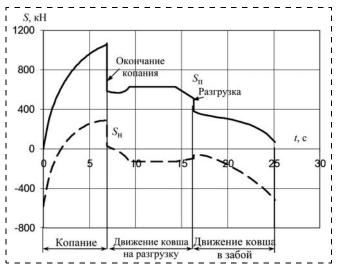


Рис. 7. Результаты расчета усилий

тора к забою новый цикл копания будет затруднен. Таким образом, сигнал задания приводу напора должен быть переменным. На рис. 6 представлены графики требуемого изменения скорости выдвижения рукояти при постоянной скорости лебедки подъема. Расчет проводился по условию удержания ковша на траектории с постоянным смещением по горизонтали. Вид графиков, имеющих нелинейный характер и, кроме того, зависящий от траекторий, позволяет сделать вывод, что аналитической зависимости получить не представится возможным. Для реализации закона управления приводом напора, обеспечивающего параллельное смещение профиля забоя, в системе управления может быть использован разработанный нами блок.

На рис. 7 приведены результаты расчета усилий подъема $S_{\Pi.i}$ и напора $S_{\mathrm{H}.i}$ при копании и транспортировании ковша.

Выводы

Разработанное программное обеспечение позволяет выполнять расчет кинематических и силовых параметров экскаваторов. Используя для специализированных пакетов графики изменения усилий, можно проводить прочностные расчеты и определять долговечность узлов экскаватора.

Список литературы

1. **Машиностроение**. Энциклопедия / ред. совет: К. В. Фролов (пред.) и др. Горные машины. Т. IV-24 / Ю. А. Лагунова, А. П. Комиссаров, В. С. Шестаков и др.; под общ. ред. В. К. Асташева. М.: Машиностроение, 2011. 496 с. А. П. Комиссаров, д-р техн. наук, проф., В. С. Шестаков, канд. техн. наук, проф.,

УГГУ, г. Екатеринбург

E-mail: Shestakov.v.s@mail.ru

Имитационная модель функционирования рабочего оборудования гидравлического экскаватора

Изложены основные положения имитационной модели функционирования рабочего оборудования гидравлического экскаватора.

Ключевые слова: гидравлический экскаватор, рабочее оборудование, имитационная модель.

A. P. Komissarov, V. S. Shestakov

A Simulation Model Operation Working Equipment Hydraulic Shovel

The basic provisions of a simulation model of the operation of the working equipment hydraulic shovel.

Keywords: hydraulic shovel, working equipment, simulation model.

Современное развитие горно-добывающей промышленности обусловлено значительным ростом удельного веса добычи полезных ископаемых открытым способом. Объем экскавируемой горной массы достигает 5 млрд м³/год. Интенсификация открытого способа разработки месторождений полезных ископаемых предопределяет необходимость совершенствования существующих и создания новых образцов горного оборудования. Мировая практика развития горного оборудования для открытых горных работ доказала целесообразность дальнейшего увеличения выпуска карьерных гидравлических экскаваторов.

Гидравлические экскаваторы равной вместимости ковша по сравнению с канатными обладают рядом преимуществ: меньшей в 1,8—2,2 раза металлоемкостью, большими в 1,3—1,5 раза усилиями копания. В силу своих кинематических особенностей они обеспечивают возможность селективной добычи полезных ископаемых, зачистку подошвы уступа, уменьшение динамических воздействий при разгрузке горной массы в транспортные средства, в некоторых случаях позволяют повысить производительность труда на открытых горных работах.

Таким образом, гидравлические экскаваторы позволяют решить задачи по снижению металлоемкости горных машин, повышению производительности труда. Учитывая большое число работающих гидравлических экскаваторов и значительный объем перерабатываемой ими горной массы, все исследования, направленные на снижение металлоемкости, потребления энергии на совершение рабочих операций, на повышение их производительности, являются весьма актуальными. Металлоемкость и производительность существенным образом зависят от параметров рабочего оборудования.

В настоящей статье разработана имитационная модель функционирования рабочего оборудования гидравлического экскаватора. Модель предназначена для определения параметров рабочей зоны экскаватора и расчета усилий, действующих на элементы рабочего оборудования.

Определение параметров рабочей зоны экскаватора

Схема для расчета рабочей зоны приведена на рис. 1.

Исходными данными для построения рабочей зоны являются размеры рабочего оборудования, причем для расчета используются расстояния между осями элементов.

Построение рабочей зоны выполняется изменением длин цилиндров стрелы $L_{\rm цc}$, рукояти $L_{\rm цp}$ и ковша $L_{\rm цк}$ от минимального до максимального значений.

Определение размеров рабочей зоны экскаватора сводится к расчету координат узловых точек B, C и K. Ниже приведены формулы для определения этих координат.

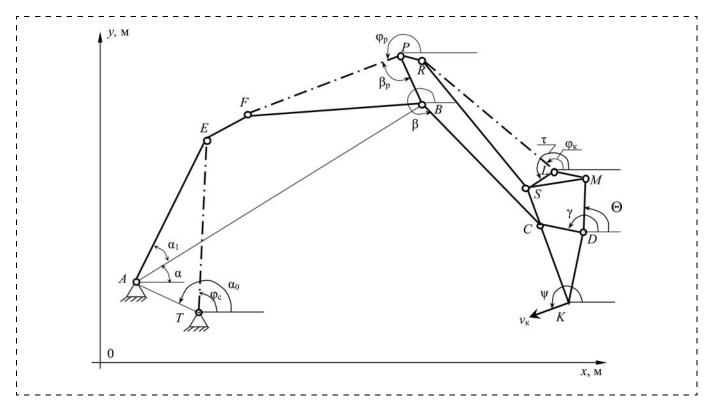


Рис. 1. Схема к определению параметров:

 α , α_1 , ϕ_c , β , γ , Θ , ψ , ϕ_p , β_p , τ , ϕ_k — углы для расчета координат точек элементов рабочего оборудования; ν_k — скорость перемещения зубьев ковша; A, T, E, F, P, R, B, S, L, M, C, D — шарниры; K — вершина зуба ковша; KCD — схема профиля ковша; CSLMD — рама ковша; CSLMD — схема профиля рукояти; CSLMD — схема профиля стрелы; CSLMD — гидроцилиндры поворота стрелы, рукояти и ковша

Угол наклона линии AT к горизонту по теореме косинусов

$$\alpha_0 = \arccos[(x_T - x_A)/AT]. \tag{1}$$

Угол наклона линии AB к горизонту

$$\alpha = \arccos \frac{AE^2 + AT^2 - L_{\text{IIC}}^2}{2AE \cdot AT} - \alpha_0 - \alpha_1.$$
 (2)

Координаты оси шарнира "стрела—рукоять" (точка B)

$$x_R = x_A + AB\cos\alpha; y_R = y_A + AB\sin\alpha.$$
 (3)

Угол между горизонтом и линией ВС

$$\beta = \arctan \frac{y_C - y_B}{x_C - x_B} = \arctan \frac{\Delta y}{\Delta x}, \tag{4}$$

где Δy , Δx — обозначения разности по координатам для последующего определения значений углов от направления оси Ox.

Все углы отсчитываются от положительного направления оси Ox, поэтому при получении от-

рицательных углов их необходимо преобразовать в положительные значения.

Ввиду периодичности тригонометрических функций (при равных значениях функций углы могут принимать различные значения) для преобразования этого и других углов, вычисляемых через arctg, вводятся следующие логические соотношения:

- а) если $\Delta y \geqslant 0$ и $\Delta x \geqslant 0$, $(0 < \beta < 0.5\pi)$, то $\beta = \beta_{\Gamma \Pi}$, где $\beta_{\Gamma \Pi} = (0; 0.5\pi)$;
 - б) если $\Delta y \ge 0$ и $\Delta x \le 0$, то $\beta = \pi + \beta_{\Gamma \pi}$;
 - г) если $\Delta y < 0$ и $\Delta x < 0$, то $\beta = \pi + \beta_{\text{гл}}$;
- д) если $\Delta y < 0$ и $\Delta x > 0$, то $\beta = 2\pi + \beta_{\Gamma\Pi}$, где $\beta_{\Gamma\Pi}$ главное значение угла β .

Для определения координат оси шарнира "рукоять—ковш" (точка C) необходимо решить систему уравнений:

$$\begin{cases} (x_C - x_P)^2 + (y_C - y_P)^2 = CP^2; \\ (x_C - x_B)^2 + (y_C - y_B)^2 = BC^2. \end{cases}$$
 (5)

Для определения координат оси шарнира "цилиндр рукояти—рукоять" (точка P) необходимо решить систему уравнений (точка P является пересечением двух окружностей, центры которых

находятся в точках F и B, определенных при расчете стрелы):

$$\begin{cases} (x_C - x_F)^2 + (y_P - y_F)^2 = CP^2; \\ (x_P - x_B)^2 + (y_P - y_B)^2 = BP^2. \end{cases}$$
 (6)

Координаты вершины зубьев ковша (точка K):

$$x_K = x_C + CK\cos(\gamma - \angle DCK);$$

$$y_K = y_C + CK\sin(\gamma - \angle DCK),$$
(7)

где γ — угол, определяемый по координатам точек D и C; $\angle DCK$ — угол между отрезками DC и CK расчетной схемы.

По аналогичным (2)—(4) выражениям последовательно рассчитываются координаты и углы наклона всех элементов рабочего оборудования.

Для построения траекторий движения вершины зуба ковша (построения рабочей зоны) выполнены расчеты при изменении размеров цилиндра стрелы, рукояти и ковша от минимальных до максимальных значений с равным шагом.

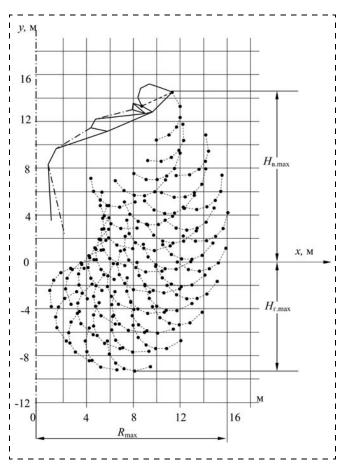


Рис. 2. Рабочая зона экскаватора ЭГО-150: R_{\max} — максимальный радиус копания; $H_{\text{в.max}}$ — максимальная высота копания; $H_{\text{г.max}}$ — максимальная глубина копания; нулевое значение — точка пересечения линии уровня стояния экскаватора с осью вращения поворотной платформы

Для проведения расчетов разработан алгоритм, по которому составлена программа для ЭВМ на алгоритмическом языке Visual Basic для приложения Microsoft Excel. В алгоритме реализовано три режима копания: копание поворотом ковша, копание поворотом рукояти, копание поворотом рукояти и ковша. В зависимости от выбранного режима выполняется расчет рабочей зоны.

Вычисление координат точек рабочей зоны проводится тремя циклами. Во внешнем цикле с равным шагом меняется длина цилиндра стрелы от минимального до максимального значения. Для каждого значения длины цилиндра стрелы во втором цикле также от минимального до максимального значения меняется длина цилиндра рукояти. При каждом значении длины цилиндра рукояти в третьем (внутреннем) цикле меняется с равным шагом от минимального до максимального значения длина цилиндра ковша, при каждом значении рассчитываются координаты вершины зуба ковша, координаты всех звеньев рабочего оборудования.

По результатам расчета координат вершины зуба ковша (точка K на рис. 1) средствами Excel строится рабочая зона экскаватора. Вариант расчета рабочей зоны для экскаватора $\Im G$ -150 приведен на рис. 2. Точки на графике соответствуют вариантам расчета, пунктирные линии — перемещению зуба при копании поворотом ковша.

Расчет усилий, действующих на элементы рабочего оборудования

Расчетная схема к определению усилий на штоках гидроцилиндров и в шарнирах представлена на рис. 3.

На зубья ковша действует касательная P_{01} и нормальная P_{02} составляющие усилия копания. Для задания направления их действия предварительно определяется угол наклона касательной к траектории движения ковша к горизонту ψ , который зависит от выбранного режима копания.

При расчете усилий используем координаты и углы положения элементов рабочего оборудования, определенные по приведенным выше выражениям.

Усилие на штоке гидроцилиндра стрелы:

$$\begin{split} F_{\text{IIC}} &= [G_{\text{c}}(x_{\text{IITC}} - x_A) + G_{\text{p}}(x_{\text{IITp}} - x_A) + G_{\text{K}}(x_{\text{IITK}} - x_A) + \\ &+ 0.5G_{\text{IIC}}(x_T + x_E - 2x_A) + 0.5G_{\text{IIP}}(x_F + x_P - 2x_A) + \\ &+ 0.5G_{\text{IIK}}(x_R + x_L - 2x_A) + G_{T2}(x_{\text{IIT}} - x_A) + \\ &+ 0.5G_{T1}(x_M + x_D - 2x_A) - P_x(y_A - y_K) - \\ &- P_y(x_K - x_A)]/[AE\sin(\phi_{\text{c}} - \alpha - \alpha_1)]. \end{split}$$

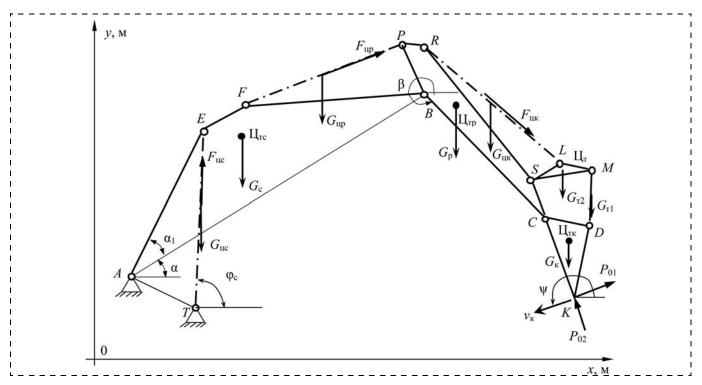


Рис. 3. Схема к определению силовых параметров:

K — вершина зуба ковша; $G_{\rm c}$, $G_{\rm p}$, $G_{\rm K}$, $G_{\rm T1}$, $G_{\rm T2}$, $G_{\rm ILC}$, $G_{\rm ILC}$, $G_{\rm ILC}$, — силы тяжести стрелы, рукояти, ковша, тяги, узла крепления ковша, цилиндров стрелы, рукояти и ковша; $\mathbf{L}_{\text{тс}}, \mathbf{L}_{\text{тр}}, \mathbf{L}_{\text{тк}}, \mathbf{L}_{\text{т}}$ – центры тяжести стрелы, рукояти, ковша, рамы ковша; $F_{\text{цс}}, F_{\text{цр}}, F_{\text{цк}}$ — усилия на штоках цилиндров стрелы, рукояти и ковша; P_{01} , P_{02} , — нормальная и касательная составляющие усилия копания; $v_{\rm K}$ — скорость перемещения зубьев ковша; ψ — угол направления скорости точки K

Усилие в тяге DM:

$$R_D = [P_x(y_C - y_K) + P_y(x_K - x_C) - G_K(x_{\text{IJTK}} - x_C) - 0.5G_{T1}(x_D - x_C)]/[CD\sin(\Theta - \gamma)],$$
(9)

где P_{x} , P_{y} — проекции усилий копания на оси координат.

$$P_x = -P_{01}\cos\psi + P_{02}\sin\psi; P_v = -P_{01}\sin\psi - P_{02}\cos\psi.$$
 (10)

Реакции в шарнире "рукоять—ковш" (точка C):

$$C_x = R_D \cos \Theta - P_x;$$

 $C_y = R_D \sin \Theta + G_K + 0.5G_{T1} - P_y.$ (11)

Усилие на штоке гидроцилиндра ковша:

$$F_{IIK} = \frac{R_D SM \sin(\Theta - \tau + \angle LSM) - 0.5G_{IIK}(x_L - x_S) - SL \times}{SL \times}$$

$$\rightarrow \frac{-G_{T2}(x_{IIT} - x_S) - 0.5G_{T1}(x_M - x_S)}{\times \sin(\tau - \phi_K)}, \quad (12)$$

где $\angle LSM$ — угол между отрезками LS и MS расчетной схемы; τ — угол наклона тяги LS к горизонту.

Усилие в шарнире "шток цилиндра рукояти балансир" (точка S)

$$C_{x} = R_{D}\cos\Theta - P_{x};$$

$$C_{y} = R_{D}\sin\Theta + G_{K} + 0.5G_{T1} - P_{y}.$$

$$S_{x} = -F_{IIK}\cos\varphi_{K} - R_{D}\cos\Theta;$$

$$S_{y} = 0.5G_{IIK} - R_{D}\sin\Theta + 0.5G_{T1} + G_{T2} - F_{IIK}\sin\varphi_{K}.$$
(11)

Усилие на штоке гидроцилиндра рукояти:

$$F_{\text{IIp}} = \frac{P_{x}(y_{B} - y_{K}) + P_{y}(x_{K} - x_{B}) - G_{p}(x_{\text{IITp}} - x_{B}) + 0.5G_{\text{IIp}}(x_{B} - x_{P}) - 0.5G_{\text{IIK}}(x_{R} + x_{L} - 2x_{B}) - BP \times}{BP \times} \rightarrow \frac{-G_{T2}(x_{\text{IIT}} - x_{B}) - 0.5G_{T1}(x_{M} + x_{D} - 2x_{B}) - G_{K}(x_{\text{IITK}} - x_{B})}{\times \sin\beta_{p}},$$
(14)

где β_p — угол наклона между осью гидроцилиндра поворота рукояти и линией PB (см. рис. 1).

Реакции в шарнире "пята стрелы—платформа" (точка A):

$$A_{x} = -P_{x} - F_{IIC}\cos\varphi_{c};$$

$$A_{y} = G_{po} - F_{IIC}\sin\varphi_{c} - P_{y},$$
(15)

где G_{po} — суммарная сила тяжести всех элементов рабочего оборудования.

Реакции в шарнире "стрела—рукоять" (точка В):

$$B_{x} = -F_{\text{IIC}}\cos\varphi_{c} + F_{\text{IIp}}\cos\varphi_{p} - A_{x};$$

$$B_{y} = F_{\text{IIp}}\sin\varphi_{p} + G_{c}0.5(G_{\text{IIC}} + G_{\text{IIp}}) - -A_{v} - F_{\text{IIC}}\sin\varphi_{c}.$$
(16)

Выводы

Разработанная модель функционирования рабочего оборудования позволяет решать следующие проектно-расчетные задачи:

выполнять анализ формирования рабочей зоны экскаватора при заданных геометрических параметрах рабочего оборудования и длинах цилиндров;

определять возможные усилия копания в пределах рабочей зоны из условия ограничения реактивных усилий в поршневых и штоковых полостях гидроцилиндров;

определять усилия на штоках цилиндров и других элементах рабочего оборудования по геометрическим и весовым параметрам рабочего оборудования, положению ковша и усилию копания.

УДК 622

П. А. Побегайло, канд. техн. наук, ИМАШ им. А. А. Благонравова РАН, г. Москва E-mail: petrp214@yandex.ru

История создания карьерных гидравлических экскаваторов

Изложены этапы проектирования и создания отечественных карьерных гидравлических экскаваторов. Рассмотрены конструктивные и технологические особенности экскаваторов производства Уралмашзавода и Ижорского завода.

Ключевые слова: карьерные гидравлические экскаваторы, конструктивные особенности отечественных экскаваторов.

P. A. Pobegaylo

The History of Mining Hydraulic Excavators

The article describes the stages of designing and creating domestiction of hydraulic mining excavators. We consider the design and technological features of production of excavators and Uralmashzavod Izhorskogo plant.

Keywords: career hydraulic excavators, a constructive peculiarities of domestic excavators.

Первый проект карьерного гидравлического экскаватора ЭГ-5 был разработан на Уралмашзаводе в начале 1950-х гг. Однако производство этого экскаватора не было освоено, так как основной базовой моделью карьерного экскаватора стал экскаватор ЭКГ-4.

В 1977 г. ПО "Уралмаш" изготовило первый в мире специальный карьерный гидравлический экскаватор 9Γ -12 с ковшом вместимостью $12\,\mathrm{m}^3$.

В СССР в период с 1978 по 1988 г. эксплуатировались три таких машины производства ПО "Уралмаш". Это ЭГ-12 — 1978—1982 гг. (в 1988 г. пе-

реоборудован в ЭГО-6), ЭГ-12А — 1985—1988 гг. и ЭГ-20 — 1986—1988 гг. Все машины эксплуатировались на разрезе "Кедровский" ПО "Кемеровоуголь". Начиная с 1989 г. их эксплуатация прекращена в связи с отказом разреза от использования этих машин. В табл. 1 приведена наработка объемов грунтовой массы этих экскаваторов с начала эксплуатации, а в табл. 2 — основные технические характеристики ЭГ-12А и ЭГ-20 [10—14].

Следует учесть, что эти машины представляли собой опытные образцы и их работа сопровождалась постоянными доводками и модернизациями.

Таблица 1 Наработка объемов грунтовой массы отечественных карьерных гидравлических экскаваторов, тыс. м³

Отчетный год	ный год ЭГ-12 ЭГО-6 ЭГ-12		ЭГ-12А	ЭГ-20	
1978	6,9	_	_	_	
1979	341,5	_	_	_	
1980	236,6	_	_	_	
1981	245,7	_	_	_	
1982	126,7	_	_	_	
1983	_	_	_	_	
1984	_	_	_	_	
1985	_	_	587	_	
1986	_	_	218	143	
1987	_	- 153,3		152,7	
1988	_	88,3	426,3	21,4	
Всего	957,4	88,3	1384,6	317,1	

К наиболее частым отказам относились разрывы шлангов высокого давления, течи масла в трубопроводах, отказы в приводе главных насосов (раздаточные редукторы) [15 и др.]. Около 20% простоев было вызвано проблемами с электрооборудованием. Несмотря на незначительную наработку, имели место отказы металлоконструкций (на $\Im \Gamma$ -12A — трещины в рабочем органе (PO) и ковше, остаточные деформации и износ гусеничных рам; на $\Im \Gamma$ -20 — трещины в поворотной платформе и ковше, деформации и износ гусеничных рам; на $\Im \Gamma$ -12 ($\Im \Gamma$ O-6) — трещины в PO, поворотной платформе, отказы ходового оборудования) [10—15 и др.].

Несмотря на недостаточную надежность, эти машины в отдельные периоды времени показали достаточно высокую производительность, продемонстрировав при этом широкие возможности ГЭ, что подтвердило мысль о необходимости проведения дальнейших исследовательских, конструкторских и проектных работ по созданию таких машин [16—22 и др.].

Испытания ЭГ-12 в 1979 г. показали, что усилия, развиваемого на режущей кромке ковша (1000...1200 кН), достаточно для наполнения ков-

ша в породах первой и второй категории крепости по ЕНВ — с коэффициентом наполнения 0,9...1. Продолжительность цикла была 33...42 с, максимальные усилия, развиваемые в процессе копания, на зубьях ковша достигали 1300 кН при глубине внедрения ковша 2,5 м. Вывод ковша из забоя и копание по траекториям, близким к траекториям карьерных механических лопат, происходили с меньшими усилиями, в среднем 500...700 кН. Диаметр среднего куска в этих условиях достигал 500 мм.

Анализ работы использованного на этой машине ковша совкового типа выявил ряд его существенных недостатков (залипание грунта, увеличение продолжительности рабочего цикла и пр.), что привело к замене его на ковш челюстного типа на следующих отечественных машинах.

Во время промышленных испытаний была достигнута средняя забойная производительность экскаватора $940 \text{ m}^3/\text{ч}$.

На основе этой машины, с учетом полученных результатов была создана новая модель ЭГ-12A с челюстным ковшом, улучшенными конструкциями ходовой части и гидрооборудованием.

Испытания ЭГ-12А проводились в 1985 г. Крепость пород по ЕНВ I—IV категорий, угол падения угольного пласта 15...35°, средняя высота забоя до взрыва от 8 до 12 м, подготовленного буровзрывными работами до 19 м, угол откоса уступа от 75 до 80°. Максимальный кусок до 600 мм. Погрузка производилась в автосамосвалы грузоподъемностью 75 и 110 т. Средняя продолжительность цикла составляла 31,6 с при работе в отвал. Автосамосвал грузоподъемностью 75 т загружался в среднем за 126,5 с тремя-четырьмя ковшами. При этом средняя продолжительность цикла составляла 36...40 с.

Коэффициент использования машины изменялся за месяц от 0,19 до 0,52 при достигнутом коэффициенте готовности 0,91.

Технические характеристики отечественных карьерных гидравлических экскаваторов ЭГ-12А и ЭГ-20

Макси-Макси-Удельная Макси-Макси-Макси-Установ-Среднее Вместимальмальное Продол-**У**дельная энерговооудельное мальная мальная мальленная мость металло-Экска-Macный усилие кожительруженвысота ный рамощдавление высота ковша. ватор радиус пания при ность са, т емкость. ность, копаразгруздиус разность, на грунт, T/M^3 M^3 копавнедрецикла, с ния, м ки, м грузки, м кВт МΠа $\kappa B \tau / m^3$ нии, кН ния, м ЭГ-12А 12,0 13,5 15,0 10,5 13,0 630 1100 0,22 28,0 330 27,5 52,5 ЭГ-20 20.0 18,0 18,0 14,8 15,5 1260 2000 0,22 28,0 540 27,0 63,0

Таблица 2

Во время испытаний была достигнута забойная производительность 900 $\text{м}^3/\text{ч}$, а техническая — $1250 \, \text{м}^3/\text{ч}$, что очень неплохо.

Промышленные испытания ЭГ-20 происходили летом 1986 г. Погрузка производилась в автосамосвалы грузоподъемностью 110 т. В процессе работы выявилась острая необходимость в 180-тонных автосамосвалах. Во время испытаний средний размер куска взорванной горной массы не превышал 430 мм, высота взорванного забоя колебалась от 9 до 15 м, ширина экскаваторной заходки — от 24 до 26 м. Кроме того, производилась погрузка вскрышных пород в железнодорожный транспорт в вагоны грузоподъемностью 105 т, при этом была достигнута эксплуатационная производительность экскаватора $1300...1500 \text{ м}^3/\text{ч}$ и высокий коэффициент наполнения ковша. Был установлен оптимальный состав поезда — 10 думпкаров ВС-105 при вместимости одного думпкара 3 ковша экскаватора. Среднее время погрузки состава — 25 мин.

За годы работы ЭГ-12А и ЭГ-20 в их конструкцию были внесены различные конструктивные новшества: система опускания стрелы под действием собственной массы без использования насоса, поворот ковша под влиянием внешней нагрузки, принцип плавающей стрелы, стабилизация процесса копания и др.

В 1987 г. опытный образец ЭГ-12 был переоборудован в обратную лопату с ковшом вместимостью $6 \, \mathrm{m}^3$ и глубиной копания $10 \, \mathrm{m}$. Переоборудованный образец получил обозначение ЭГО-6.

Промышленные испытания ЭГО-6 проходили летом 1988 г. на нижнем горизонте третьего участка разреза "Кедровский" в районе водоотливной станции на угольном пласте. Экскаватор осуществлял погрузку грунта в автосамосвалы БелАЗ-548 грузоподъемностью 40 т. Кроме того, машина работала в сильнообводненных условиях и производила осушение пласта путем проходки канав для стока воды и углубления зумпфа водоотливной станции.

Из-за организационных трудностей испытания машины проводились во взорванном угольном забое на глубине 4 м.

При работе с выгрузкой в отвал средняя продолжительность цикла экскаватора составляла 30,5 с, а при погрузке в автосамосвалы грузоподъемностью 40 т — 34,9 с при углах поворота 97...100°.

Усилия, развиваемые при копании на режущей кромке ковша, достигали 500 кН. Максимальные усилия возникали в нижней части забоя (средняя

часть траектории). В начале и конце копания усилия колебались от 250 до 350 кН. При этом около 2/3 траектории занимало копание под действием привода рукояти (активное усилие на штоке 650...2000 кН) и 1/3 в конце траектории — копание под действием привода ковша (активное усилие на штоке 700...800 кН).

Анализ проведенных испытаний показал, что приемы копания неодинаковы у различных машинистов [1, 2].

На отечественных мощных ГЭ применялся высоковольтный асинхронный электродвигатель в качестве первичного, а механизмы поворота платформы и хода были выполнены с традиционным электроприводом по системе "Г—Д" [3, 4]. Для ЭГ-20 был принят удвоенный комплект электрооборудования от ЭГ-12А. Все электрооборудование размещалось в изолированных секциях кузова с интенсивной системой проточно-вытяжной вентиляции.

В качестве опорно-поворотного устройства (ОПУ) использовались трехрядные роликовые круги в комплекте с зубчатым венцом. Они крепились к металлоконструкции поворотной платформы и нижней раме высокопрочными болтами или шпильками [5—9].

В конструкции ходовых тележек были приняты раздельный привод гусениц, гребневое зацепление гусеничного хода с криволинейными кулачками и литыми звеньями гусениц, многоопорный гусеничный ход, сварные гусеничные рамы.

Сварка широко применялась в узлах РО, поворотной платформы, корпусов редуктора, кузова и кабины. При этом использовались низколегированные стали 10ХСНД, 09Г2С, а полуавтоматическая сварка осуществлялась в среде инертных газов.

Насосно-генераторный агрегат был смонтирован на сварной раме и установлен на платформе на резиновых амортизаторах. Крутящий момент к аксиально-поршневым насосам и генератору передавался эластичными муфтами с резиновыми пальцами. Емкость бака для рабочей жидкости обеспечивала 4-минутный расход главных насосов (для $\Im \Gamma$ -20 — 7000 л). Применялся специально разработанный унифицированный механизм поворота (мощностью 1000 кВт) с планетарным двухступенчатым редуктором.

Применение объемного гидропривода обеспечило лучшее соотношение мощности и массы машины, позволило упростить кинематику РО, обеспечило независимость бесступенчатого регулирования скорости копания в широком диапазоне

рабочих движений с практически любой траекторией копания.

Помимо этих машин на Уралмаше и Ижорском заводе были спроектированы еще несколько одноковшовых мощных Γ Э, однако ни один из них не был доведен до изготовления (Э Γ -10, Э Γ -15, Э Γ -20 Γ , Э Γ 0-8 и пр.).

Текущее состояние производства мощных гидравлических экскаваторов в России

На сегодняшний день в России не существует ни одного работающего отечественного мощного ГЭ. Однако несколько лет назад такие машины были. Это ЭГО-150 (по старой классификации ЭГО-4А) с рабочим оборудованием обратная лопата и прямая лопата ЭГ-110.

Этот экскаватор в отличие от обычных карьерных экскаваторов типа прямая лопата способен разрабатывать забой ниже уровня стоянки и более высокий уступ, что увеличивает его рабочую зону. Он может успешно работать в обводненных забоях при прокладке дренажных траншей и зумпфов, а также при выполнении строительных работ. Наибольшая производительность экскаватора достигается при погрузке в самосвалы, расположенные ниже уровня стоянки экскаватора, за счет уменьшения угла поворота и высоты подъема стрелы.

Этот ГЭ имеет следующие особенности:

применение автономного дизельного привода позволяет сократить время на перегон экскаватора при проведении буровзрывных работ и исключить операцию по переносу кабеля электропередачи;

возможность горизонтального перемещения ковша в забое позволяет производить наполнение ковша при разработке тонкого слоя породы (до 0,3...0,4 м), т. е. выполнять послойную выемку породы или полезного ископаемого из россыпных месторождений в районах вечной мерзлоты.

Кинематическая схема РО экскаватора предоставляет возможность реализовывать различные траектории движения ковша при одновременном и последовательном управлении исполнительными органами.

В зависимости от плотности грунта экскаватор ЭГО-150 комплектуется ковшами вместимостью от 4 до 8 м³. Ковш выполнен сварным из низколегированной стали, режущая кромка ковша (козырек) — литая. Она изготовлена из марганцовистой стали 110Г13Л и оснащена легкосъемными коронками. Крепление коронок осуществлено мощ-

ными болтами с костыльной головкой, что обеспечивает надежное крепление коронок к ковшу.

Стрела и рукоять — сварные коробчатого сечения из высокопрочной стали.

Ходовая тележка — двухгусеничная с индивидуальным гидравлическим приводом на каждую гусеницу. Такая схема привода обуславливает повышенную маневренность экскаватора в забое — разворот может происходить практически на месте. Принятая мощность привода хода обеспечивает скорость передвижения экскаватора в забое до 1,8 км/ч и движение по уклону до 15°. В приводе хода использован планетарный редуктор с тормозом кулачкового типа.

Ведущее колесо привода хода для обеспечения надежности и точности зацепления выполнено из кованной заготовки со съемными кулаками из высокопрочной стали. Конструктивное устройство сопряжения ведущего колеса с гусеницей позволяет проводить замену кулаков без демонтажа привода.

В целях улучшения условий обслуживания экскаватора, особенно в зимнее время, вместо капота сделан общий кузов, объединенный с изолированной кабиной машиниста. Вызванное этим некоторое увеличение массы экскаватора следует считать обоснованным.

Габариты поворотной платформы, выполненной из низколегированной стали, позволяют транспортировку ее по железной дороге с частично установленным на ней оборудованием. В поворотном устройстве использован трехрядный роликовый подшипник.

Восемь основных гидронасосов, а также насосы привода вспомогательного генератора и системы управления получают энергию от двух силовых дизелей мощностью по 330 кВт. Гидропривод имеет полнопоточную фильтрацию рабочей жидкости и электронную систему сервоуправления.

Смазка раздаточных редукторов проводится циркуляционным способом.

На поворотной платформе находится основное оборудование: баки с рабочей жидкостью и топливом, централизованная система смазки шарниров РО и ОПУ, планетарный механизм поворота, силовые агрегаты и гидроаппаратура.

Кабина машиниста с улучшенной звуко- и теплоизоляцией оснащена автономным обогревателем и кондиционером и соответствует современным требованиям. Кресло-пульт экскаваторщика имеет пневмоподвески и может регулироваться в пространстве и в соответствии с массой маши-

ниста. Командоаппараты электронного сервоуправления смонтированы как одно целое с кресломпультом, усилия управления и их "рабочий" ход соответствуют современным требованиям. Питание системы управления происходит от аккумулятора (24 В).

Экскаватор комплектуется инструментом и рядом приспособлений для проведения монтажа и ремонтных работ.

В 1999 г. на ОАО "Уралмаш" были проведены цеховые испытания этого экскаватора.

При этом нагрузки на металлоконструкции создавались стопорением ковша с помощью протарированного якорного устройства, закрепленного на центральных зубьях ковша и фундаменте. Такая схема испытаний позволила получить экспериментальные данные и на основании их скорректировать расчетные схемы механизмов, сопоставить расчетные и действительные нагрузки, возникающие в переходных процессах, используя информацию о концевой нагрузке в тензометрическом якоре.

Работа гидравлической системы экскаватора оценивалась по изменениям давлений в напорной и сливной магистралях гидроцилиндров в процессе поворотов элементов РО на холостом ходу и под нагрузкой — при стопорении РО на якорном устройстве.

Проведенные испытания показали следующее.

Максимальные рабочие давления в гидросистеме экскаватора соответствуют настроечным значениям, устанавливаемым предохранительными клапанами на распределителях суммирующих блоков: рабочее давление — $30~\mathrm{M}\Pi a$, реактивное — $32~\mathrm{M}\Pi a$.

Наибольшее давление в полостях гидроцилиндров возникает в процессе торможения в крайних положениях перемещения штоков. В гидроцилиндрах в данном случае применены тормозные устройства, конструктивно объединенные с поршнем. Торможение, в конечном счете, происходит из-за изменения параметров потока масла за счет уменьшения сечения канала для прохода масла и увеличения гидравлического сопротивления в сливной полости гидроцилиндра.

Максимальные значения давлений при торможении в крайних положениях наблюдались в штоковых полостях гидроцилиндров ковша и рукояти. Так, при повороте ковша "к себе" (выдвижение штока), когда рабочая жидкость подается в поршневую полость гидроцилиндра, работает тормоз штоковой полости. При этом давление резко повы-

шается до 60 МПа и несколько возрастает после остановки поршня. Аналогичный характер имеет изменение давления и в гидроцилиндрах рукояти.

Тормозные устройства гидроцилиндров стрелы поглощают наибольшее количество кинетической энергии от массы всего РО экскаватора, особенно при опускании ковша.

Испытания тормозных устройств выявили необходимость при наладке подбора скорости поворота РО за счет ограничения хода золотника распределителей для исключения возникновения больших тормозных давлений в штоковых полостях гидроцилиндров.

Предельное усилие на зубе ковша составило 400 кH, при этом в металлоконструкциях платформы, стрелы и рукояти напряжения не превысили 50 МПа.

Аэродинамические испытания экскаватора подтвердили работоспособность принятой системы охлаждения. При температуре воздуха 40 °C система охлаждения способна обеспечить теплосъем 70 кВт при повышении температуры масла до 65 °C, что вполне допустимо для применяемого в системе экскаватора масла ВМГЗ.

Измерения шумовых и вибрационных характеристик, параметров микроклимата и освещенности на рабочем месте машиниста, а также на поверхности "забоя" подтвердили их соответствие требованиям нормативных документов.

В начале двадцать первого века экскаватор ЭГО-150 работал в ИК "Соколовский" (г. Кисилевск, Кузбасс) [14, 16]. За первые полтора года работы машина наработала около 150 тыс. м³ грунта. После этого, из-за замены отечественного дизеля на импортный, машина простаивала. По мнению завода и разреза, она полностью отвечает паспортным показателям. К сожалению, больше никакой информации о судьбе этой машины нет.

На начало нового тысячелетия на ОАО "ОМЗ" разработаны и предлагаются для продажи несколько новых моделей карьерных гидравлических машин: ЭГ-150, ЭГ-250, ЭГ-350, ЭГ-550, ЭГО-150, ЭГО-350 и ЭГО-550. Технические характеристики всего модельного ряда предлагаемых ОАО "ОМЗ" карьерных гидравлических экскаваторов указаны в табл. 3. Сейчас заводы работают по принципу "Ваш забой—наша машина", т. е. основные характеристики машины зависят от условий предполагаемой работы (именно поэтому изменена индексация машин с классификации по вместимости основного ковша на классификацию по массе машины). Цель завода-изготовителя

	Тип рабочего оборудования						
Параметры	Прямая лопата			Обратная лопата			
	ЭГ-150	ЭГ-250	ЭГ-350	ЭГ-550	ЭГО-150	ЭГО-350	ЭГО-550
Масса экскаватора, т	150	250	350	550	150	350	550
Вместимость ковша, м ³	58(6)	812(10)	1218(15)	1824(20)	48(5)	814(8)	1418(14)
Мощность привода, кВт	500	660	910	1660	660	910	1660
Максимальное рабочее давление, МПа				30			
Максимальная производительность насосов, л/мин	1600	1680	2520	5040	1440	2520	5040
Максимальный радиус копания, м	12,9	14,0	16,0	21,2	15,7	21.8	25,0
Высота уступа при угле отработки 70°, м	10,5	Н.д.	14,6	Н.д.	Н.д.	Н.д.	Н.д.
Высота планируемого участка, м	45	Н.д.	7	Н.д.	Н.д.	Н.д.	Н.д.
Максимальная высота копания, м	13,5	14,0	16,0	19,0	12,3	16,7	18,0
Максимальная глубина копания, м	_	_	_	_	9,0	12,0	14,0
Высота разгрузки, м	9,7	11,0	13,0	15,2	9,0	12,5	14,0
Усилие копания, тс	60	100	130	190	50	80	120
Частота вращения платформы, мин $^{-1}$	4,01	3,06	3,79	3,0	4,01	3,79	3,0
Скорость передвижения, км/ч	1,7	1,6	1,7	1,0	1,7	1,7	1,0
Тяговое усилие, тс	104	150	190	340	104	190	340
Клиренс гусеничной тележки, м	0,63	Н.д.	0,93	Н.д.	0,63	0,93	Н.д.
База гусеничного хода, м	5,0	6,0	7,0	8,0	5,0	7,0	8,0
Колея гусеничного хода, м	4,5	5,0	5,5	6,5	4,5	5,5	6,5
Ширина гусеничного звена, мм	900	1200	1400	1600	900	1400	1600
Удельное давление на грунт, МПа	0,170	0,160	0,167	0,220	0,170	0,167	0,210
Напряжение питающей сети, кВ	6	Н.д.	6	Н.д.	_	6	Н.д.
Преодолеваемый уклон, °	12	Н.д.	12	Н.д.	12	12	Н.д.
Продолжительность цикла, с	24	Н.д.	26	Н.д.	22	24	Н.д.
Расчетная производительность, млн м ³ /год	2,1	Н.д.	4,7	Н.д.	1,5	2,5	Н.д.
Удельная металлоемкость, т/м ³	25,0	25,0	23,3	28,0	30,0	43,8	39,3
Удельная энерговооруженность, кВт/м ³	83,3	66,0	60,7	83,0	132,0	113,8	118,6
Примчание. В скобках — вместимость ковша по стандарту СЕСЕ для насыпной плотности пород $1,8 \text{ т/m}^3$.							

спроектировать и произвести машину для конкретного потребителя и его горно-технических условий.

Отметим ряд конструктивных особенностей экскаваторов OAO "OM3":

электронное сервоуправление с бортовым компьютером;

полнопоточная система фильтрации с тонкостью очистки 10 мкм;

редуктор поворота — двухступенчатый планетарный с принудительной циркуляционной смазкой;

гусеничный ход — многоопорный с независимым приводом на каждую гусеницу, редуктор привода — планетарный;

ведущие колеса — со сменными кулачками;

ковш, стрела и рукоять выполнены из высокопрочной стали;

ковш снабжен быстросъемными коронками из марганцовистой стали.

Базовые модели ЭГ с оборудованием прямая лопата снабжены механизмами, обеспечивающими автоматическое горизонтирование режущей

кромки ковша и "плавающее" положение РО, при качании компенсирующее вредное давление на забой от собственного веса [19].

Другие машины — это модификации базовых моделей, оснащенные PO обратная лопата.

Список литературы

- 1. **Hall A.** Characterizing the operation of a large hydraulic excavator. Master Diss. School of Engineering the University of Queensland, Brisbane, Australia, 2002. p. 150.
- 2. **Morris F., Siegrist P.** Sources of variation in the operation of a large hydraulic shovel. http://espace.library.uq.edu.au/eserv/UQ:3265/ Siegrist_Conference_2.pdf
- 3. **Шестаков В. С.** Оптимизация параметров и выбор конструктивных исполнений поворотных устройств гидравлических экскаваторов: Дисс. ... канд. техн. наук. Свердловск, 1985. 355 с.
- 4. Васильева В. В. Разработка способов улучшения динамических режимов привода механизма поворота карьерных гидравлических экскаваторов: Дисс. ... канд. техн. наук. Харьков, 1993. 220 с.

- 5. **Побегайло А. П.** Нагруженность несущих металлоконструкций ходового оборудования карьерных гидравлических экскаваторов с оборудованием прямой лопаты: Дисс. ... канд. техн. наук. М., 1991. 186 с.
- 6. **Побегайло П. А.** Обобщение результатов научных исследований и опыта применения новых конструктивных решений ОПУ, нижней и поворотной рам карьерных экскаваторов // Горное оборудование и электромеханика. 2006. № 2. С. 25—29.
- 7. **Герасимова Т. А.** Исследование и совершенствование методов проектных расчетов несущих конструкций экскаваторов: Дисс. ... канд. техн. наук. Красноярск, 2005. 143 с.
- 8. **Москвичев В. В.** Методы и критерии механики разрушения при определении живучести и надежности металлоконструкций карьерных экскаваторов: Дисс. ... д-ра техн. наук. Челябинск, 1993. 210 с.
- 9. **Крикун А. В.** Нагруженность рабочего оборудования карьерного гидравлического экскаватора прямого копания: Дисс. ... канд. техн. наук. М., 1991. 250 с.
- 10. **Мельников Н. Н., Неволин Д. Г., Скобелев Л. С.** Технология применения и параметры карьерных гидравлических экскаваторов / Отв. ред. Мельников Н. Н. Апатиты: Кольский научный центр РАН, 1992. 220 с.
- 11. Штейнцайг В. М. Интенсификация открытых горных работ с применением мощных карьерных одноковшовых экскаваторов. М.: Наука, 1990. 142 с.

- 12. **Комиссаров А. П.** Моделирование рычажно-гидравлических механизмов и обоснование перспективных конструкций карьерных гидравлических экскаваторов: Дисс. ... д-ра техн. наук. Екатеринбург, 2004. 214 с.
- 13. Отчет о НИР "Результаты обследования гидравлического экскаватора $\Im \Gamma$ -12A, этапы 6, 7". М.: МИСИ, 1986. 69 с.
- 14. Семенников В. С. и др. Испытания гидравлического экскаватора ЭГО-4А // Механизация строительства. 1999. № 10. С. 13—15.
- 15. **Котровский М. Н.** Семинар: Перспективы создания и развития карьерных гидравлических экскаваторов на ОАО "Ижорские заводы" // Горная промышленность. 2002. № 3. С. 51—52.
- 16. **Винницкий К. Е.** и др. Освоение гидравлических экскаваторов нового поколения в практике открытых горных работ // Горная промышленность. 1998. № 1. С. 30—36.
- 17. **Слесарев Б. В.** К вопросу применения мощных карьерных гидравлических экскаваторов // Открытые горные работы. 2000. № 3. С. 40—43.
- 18. **Казаков В. А., Окороков Ю. В.** Новые гидравлические экскаваторы ЭГ-110 и ЭГО-110 // Горное оборудование и электромеханика. 2007. № 12. С. 46—50.
- 19. **Борщ-Компониец Л. В.** Методика оперативной оценки карьерных гидравлических экскаваторов // Горная промышленность. 1996. № 1. С. 29—37.

ИНФОРМАЦИЯ



К 50-летию кафедры "Горные машины и комплексы" Уральского государственного горного университета

В этом номере опубликовано несколько статей, авторами (или соавторами — наряду с представителями Уралмаша) которых являются сотрудники кафедры "Горные машины и комплексы" Уральского государственного горного университета. В начале следующего года кафедра будет отмечать свое 50-летие. Участие кафедры в подготовке "заводского" номера неудивительно, так как все это время кафедра тесно сотрудничала с флагманом отечественного тяжелого машиностроения как при подготовке инженерных кадров, так и в области научных исследований и разработок в таких областях, как экскаваторостроение, создание дробильно-размольного оборудования и др.

Впрочем, производственные и научные связи кафедры не ограничиваются "Уралмашем". Среди партнеров кафедры — ОАО "Копейский машиностроительный завод", ОАО "НИПИгормаш", ОАО "Ураласбест" и многие другие производственные и научно-конструкторские организации.

Это сотрудничество нашло отражение на страницах нашего журнала в виде специализированных тематических номеров, подготовленных с участием профессорско-преподавательского состава кафедры.

Редколлегия и редакция журнала надеются, что такой номер будет выпущен и к юбилею кафедры ГМК УГГУ.

ДРОБИЛЬНО-РАЗМОЛЬНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ

УЛК 622.72

С. А. Червяков, канд. техн. наук, директор по продажам, ОАО "Уралмашзавод",

А. В. Груздев, техн. директор, **А. М. Осадчий,** гл. конструктор дробильно-размольного оборудования, дивизион "Горное оборудование" ОАО "Уралмашзавод", г. Екатеринбург

E-mail: mail@uralmash.ru

Дробильно-размольное оборудование Уралмашзавода

Приведена краткая история развития технологии производства дробильно-размольного оборудования на Уралмашзаводе. Обосновано применение Уралмашзаводом принципиальной конструкции "Саймонс" для конусных дробилок, реализующих разрушение материала методом статического сжатия, способом "кусок о броню".

Ключевые слова: конусные дробилки, гирокон, жиродиск, Саймонс, кусок о броню, кусок о кусок, щековые дробилки, мельницы.

S. A. Chervyakov, A. V. Gruzdev, A. M. Osadchiy

Crushing and Drinding Equipment Uralmashzavod

A brief history of the development of production technology of crushing and grinding equipment at Uralmashzavod. The application of the principle construction Uralmashzavod "Simons" for cone crushers, realizing the destruction of the material by static compression method "piece of armor".

Keywords: cone crusher, gyrocon, zhirodisk, Simons, a piece of armor, a piece of a piece, of jaw crushers and mills.

Дробильно-размольное оборудование (ДРО) появилось в номенклатуре Уралмашзавода одним из первых. В 1938 г. была изготовлена мощная конусная дробилка ККД-1500 для Балхашского медного рудника. Балхашское предприятие, Среднеуральский медеплавильный завод были полностью оснащены "уралмашевским" ДРО. Освоено производство конусных дробилок крупного, среднего и мелкого дробления, щековых и валковых дробилок, шаровых и стержневых рудных мельниц, трубных мельниц для цементной промышленности. Всего за предвоенные годы было изготовлено 170 дробилок и мельниц.

В послевоенные годы выпуск ДРО активно нарастал. Дробилками Уралмашзавода были оснащены практически все горно-обогатительные комбинаты бывшего СССР. В это время сотрудники Уралмашзавода активно разрабатывают методы расчетов технологических и технических параметров ДРО. По всем видам ДРО была проведена коренная модернизация, основанная на накопленном опыте эксплуатации машин предвоенного выпуска. С 1949 г. начато производство мельниц 3,2 × 3,1 м для строящихся крупных предприятий: Норильского ГМК, Джезказганского ГМК и др. В 1956 г. на Уралмашзаводе были спроектированы

мельницы 3.6×5.0 м и 3.2×4.5 м, а в 1958 г. самая крупная — 4.0×5.5 м.

В 1955 г. был увеличен диаметр дробящего конуса дробилок среднего и мелкого дробления с 2100 и 1650 мм до 2200 и 1750 мм соответственно. Была спроектирована и в 1958 г. изготовлена конусная дробилка 2200 с гидравлической амортизацией и гидравлическим регулированием разгрузочной щели (типа "Гидрокон").

В 1970-х гг., опережая зарубежных конкурентов, начато освоение конусных дробилок среднего и мелкого дробления с диаметром основания дробящего конуса 3000 мм. Этими машинами в дальнейшем были оснащены Костомукшский ГОК, Стойленский ГОК, комбинат "Эрдэнэт" (Монголия).

К концу 1980-х гг. Уралмашзавод выпускал по 150...160 дробилок и мельниц в год. К настоящему времени общий выпуск дробилок составил около 5000 единиц, а работающий парк превышает 2000 машин.

В середине 1990-х гг. производство ДРО упало до нескольких единиц в год. В эти годы началось активное опробование российскими горняками зарубежных машин. Этот период продолжался вплоть до 2000—2001 гг. С 2003 г. происходит рост продаж и соответственно производства ДРО. В 2005 г. объ-

ем продаж достиг 8 млн долл. США, а в 2006 - 10 млн долл. США.

В современных рыночных условиях большинству российских горно-обогатительных предприятий не нужны ни дробилки, ни мельницы, как таковые. На стадиях дробления и измельчения полезных ископаемых перед предприятиями стоит бизнес-задача по дезинтеграции в течение установленного промежутка времени определенного объема материала, обладающего конкретными физико-техническими свойствами, до определенной последующими технологическими переделами крупности с наименьшими инвестиционными расходами и эксплуатационными затратами.

Поэтому основной стратегической целью горного дивизиона Уралмашзавода является расширение продаж комплексных технологических решений, основанных на предложениях и реализациях проектов по вводу в действие новых и модернизации существующих технологий рудоподготовки.

В качестве основного пути реализации этой стратегии нами был выбран курс на восстановление тесных долгосрочных контактов с ведущими проектно-технологическими компаниями. Идея, сама по себе, далеко не новая, в советские времена мы традиционно работали совместно. Но потребовались годы нелегкой работы в новых, непривычных для всех нас условиях, чтобы прийти к созданию первых таких альянсов, к пониманию того, кто, за какой вклад и какую выгоду от этого получает.

Около трех лет мы плодотворно сотрудничаем с ЗАО "НПО "РИВС" (г. С.-Петербург). За это время разработаны технологические регламенты, выполнены технико-экономические обоснования модернизации технологических линий дробления для многих горно-обогатительных комбинатов. Успешно проведена модернизация технологии среднего и мелкого дробления на комбинате "Эрдэнэт". В стадии реализации находятся аналогичные проекты на ОАО "Михайловский ГОК", ОАО "Апатит", Ингулецком, Северном и Южном ГОКах (Украина). Ведутся переговоры по нашим предложениям с Ковдорским ГОКом и с "Криворожсталью" ("Арселор-Миттал"). Совместно проводя технологические аудиты, разрабатывая технологические регламенты, ТЭО, мы выходим на решение проблем наших заказчиков с формулировкой своих предложений в категориях его выгод.

Результатом такой стратегии мы видим переход от поставок отдельных агрегатов к решению технологических задач — поставке комплекса оборудования по дезинтеграции полезных ископаемых. Первые предложения по комплектной поставке

дробильного оборудования мы выдали горнообогатительным предприятиям Кривого Рога.

Что касается формирования технической политики, то в этом направлении мы тоже прошли через долгие дебаты, анализ сложившихся у нас подходов, попытки заглянуть в будущее.

Наша компания традиционно занимается проектированием и изготовлением конусных дробилок, реализующих разрушение материала методом статического сжатия. С использованием имеющегося опыта нами разработаны оригинальные программы расчетов основных технологических параметров дробилок, энергетических и силовых показателей. Расчеты проводятся с учетом фактических физико-технических свойств конкретных материалов, подлежащих дроблению, определяемых при испытаниях.

В области дробилок среднего и мелкого дробления мы остаемся последовательными сторонниками концепции машин типа "Саймонс": с консольным валом дробящего конуса, большим подпятником и пружинным замыканием усилия дробления, реализующих принцип дробления "кусок о броню". В разные годы нами были просчитаны, спроектированы и даже изготовлены отдельные опытные образцы конусных дробилок других типов: "Гидрокон" (с нижней гидравлической опорой дробящего конуса и "крутой" камерой дробления), "Жиродиск" (реализующий принцип дробления "в слое"). Однако наши расчеты, анализ работы конусных дробилок различных типов показывают, что именно компоновка "Саймонс" в подавляющем большинстве случаев позволяет обеспечить максимальную эффективность процесса рудоподготовки на стадии мелкого дробления. Эта эффективность определяется, во-первых, технологическими показателями дробилки (производительность, крупность, форма кусков), во-вторых, надежностью и ресурсом работы узлов и деталей машины, от которых напрямую зависят эксплуатационные затраты.

Как уже отмечено, рабочий процесс, организованный в наших дробилках, реализует разрушение материала способом "кусок о броню". При этом обеспечивается минимальная энергоемкость его последующего измельчения. В дробилках же наших основных конкурентов — H6800 и HP800, разрушение материала происходит способом "кусок о кусок" (дробление "в слое").

Проводимые в последнее время испытания, в том числе в лаборатории ОАО "Институт "Уралмеханобр" (г. Екатеринбург), показывают, что наименьшая энергоемкость измельчения в барабанных мельницах имеет место при подготовке питания

мельниц дроблением способом "кусок о броню". Как известно, при разрушении материала "в слое" процент содержания в конечном продукте частиц изометрической (кубовидной) формы резко возрастает. А для одного и того же класса крупности лещадные зерна по сравнению с изометричными имеют существенно меньшие значения коэффициента крепости, поэтому для всех классов продукта продолжительность измельчения изометрических зерен значительно превышает этот показатель для лещадных зерен. Опыты проводились по измельчению руды одного из уральских месторождений в лабораторной барабанной мельнице. Их результаты показали, что при измельчении кубовидного и лещадного материалов с одинаковой исходной крупностью — 20 мм до одинаковой конечной крупности — 0,074 мм время измельчения кубовидного материала в 2 раза больше, нежели время измельчения лещадного материала. Это подтверждается и тем фактом, что при получении кубовидного щебня в специальных дробилках категория его прочности возрастает. Но то, что хорошо для дорожного строительства, крайне нежелательно в рудоподготовке.

В уралмашевских дробилках, выполненных по схеме "Саймонс", осевая нагрузка от дробления воспринимается большим сферическим подпятником, который жестко установлен в станине, без возможности каких-либо перемещений. Функция регулирования разгрузочной щели реализуется посредством резьбового соединения опорного и регулирующего колец. За счет такого разделения функций обеспечивается постоянное поддержание заданного размера разгрузочной щели вне зависимости от величины усилия дробления. Это, в свою очередь, обеспечивает стабильный гранулометрический состав продукта дробления.

В дробилках с нижней гидравлической опорой гидравлическая система выполняет функции регулирования щели и защиты от перегрузок. При использовании таких дробилок в системе рудоподготовки на горных предприятиях по технологическому регламенту требуется работа дробилок на минимальных разгрузочных щелях с высокими рабочими нагрузками. В этих условиях система защиты от перегрузок вступает в противоречие с системой регулирования щели: при высоких нагрузках она автоматически опускает дробящий конус и увеличивает разгрузочную щель, увеличивая при этом и крупность дробленого продукта. При дроблении способом "кусок о кусок" с заполненной камерой дробления отсутствует другой способ уменьшения перегрузки. Опыт работы таких дробилок на Северном, Костомукшском и Качканарском

ГОКах подтверждает наличие проблемы со стабильностью крупности дробленого продукта.

Многолетний опыт эксплуатации конусных дробилок среднего и мелкого дробления показывает, что пружинная система амортизации, применяемая в наших дробилках, наиболее эффективно защищает ее от перегрузок при попадании недробимых тел. Применяемые на некоторых типах дробилок гидропневматические системы защиты не обеспечивают (из-за принципа действия, сечения трубопроводов, объема рабочих резервуаров) необходимое для защиты узлов дробилки снижение динамических нагрузок при попадании в дробилку недробимых тел. На ОФ ОАО "Северный ГОК" в течение четырех с лишним месяцев дробилка НР-800 находилась в режиме аварийного простоя по причине выхода из строя целого ряда узлов и деталей, включая дробящий конус и главную ось. Прохождения недробимых тел через дробилку КМД-2200 на этом же предприятии в худшем случае приводит лишь к поломке брони. Кроме того, пружинная система проста в обслуживании и надежна в эксплуатации.

Большой сферический подпятник дробящего конуса обеспечивает устойчивую (без "вращения вокруг собственной оси") кинематику конуса в различных режимах. При этом обеспечиваются высокая надежность и долговечность подшипников дробилки. Дробилки с опорой конуса на маленький подпятник, расположенный в его верхней части (НР-800, например), очень чувствительны к смене режимов работы (переход от работы под нагрузкой к холостому ходу и наоборот). Для того чтобы избежать повышенной частоты вращения конуса вокруг собственной оси, в таких дробилках используются механические тормозящие устройства разной конструкции. На практике надежность и эффективность таких устройств невысоки. Переход же конуса во вращение приводит к быстрому выходу из строя подшипников дробилки и сопряжения ее станины с фундаментом (подливной слой).

Наши дробилки спроектированы согласно концепции "Саймонс" с консольным валом дробящего конуса. Такая конструкция делает открытым и доступным вход в камеру дробления и обеспечивает равномерное распределение поступающего в дробилку материала по всему ее периметру. При этом обеспечиваются равномерная загрузка дробилки и равномерный износ броней. Дробилки, реализующие способ разрушения материала "кусок о кусок", должны работать с постоянно заполненной камерой дробления. Количество материала, подаваемого в эти дробилки, должно строго кон-

тролироваться и регулироваться с помощью специальных систем. Кроме того, практика (Качканарский, Северный ГОКи) показала, что такие дробилки не допускают сегрегации по крупности подаваемого в них материала. В противном случае неравномерно изнашиваются брони дробильной чаши, увеличивается биение разгрузочной щели и, как результат, увеличивается крупность дробленого продукта.

Мощные корпусные детали (станина, опорное и регулирующее кольца, дробящий конус) уралмашевских дробилок способны без деформаций и разрушений воспринимать рабочие нагрузки и периодические перегрузки от прохождения недробимых тел в течение 15 лет и более. Выход из строя станин, дробильных чаш уже в первые годы эксплуатации "легких дробилок" на целом ряде ГОКов России и СНГ подтвердила тот факт, что прочность их корпусных деталей неадекватна большой установочной мощности.

Разумеется, наша приверженность схеме "Саймонс" не означает, что процесс застыл на месте и не меняется с течением времени. В этой связи коротко проинформируем об основных конструктивных особенностях наших последних модификаций дробилок КМД-2200, вариантах их исполнения, которые появились и во многом благодаря нашим потребителям, тем задачам, которые мы совместно решаем.

Дистанционное регулирование разгрузочной щели

Все, без исключения, наши дробилки поставляются с системой дистанционного регулирования разгрузочной щели. Механизм поворота оснащен двумя диаметрально расположенными гидравлическими цилиндрами, которые обеспечивают плавный, без перекосов поворот регулирующего кольца. Полноповоротный механизм фиксации позволяет осуществлять поворот регулирующего кольца без переброски подводящих рукавов высокого давления во всем диапазоне свинчивания.

Механическое уплотнение сферического подпятника

Дробилки могут поставляться с механическим уплотнением сферического подпятника, при котором не требуется подача воды в полость опорной чаши. Опыт эксплуатации первых дробилок, оборудованных новым уплотнением, показал высокую эффективность его работы.

Система автоматической густой смазки

Узел механического противопылевого уплотнения и резьбовое соединение опорного и регули-

рующего колец смазываются посредством централизованной автоматической системы смазки. При минимальном расходе смазки система предотвращает попадание пыли в подвижные сопряжения, обеспечивая длительный ресурс работы трущихся частей и долговечность резьбового соединения.

Агрегатная АСУ и система диагностики

Наши дробилки оснащаются локальными автоматизированными системами управления главным и вспомогательными приводами, которые могут быть включены в интегрированную АСУ ТП фабрики в качестве систем нижнего (базового) уровня автоматизации. Такие дробилки поставлены на Михайловский ГОК, Норильский ГМК, Учалинский ГОК. На предприятии "Эрдэнэт" наши дробилки 2200 и 3000, укомплектованные агрегатными АСУ, интегрированы в АСУ ТП дробильной фабрики. Алгоритм управления дробильным переделом, программное обеспечение и система визуализации разрабатывались нашими специалистами совместно с компаниями ЗАО "Технолинк" и ЗАО "НПО "РИВС".

Для контроля правильности режима эксплуатации узлов и деталей дробилок последние оборудуют специальными датчиками, обеспечивающими непрерывный мониторинг состояния наиболее ответственных систем машины:

- а) двигателя главного привода по загрузке;
- б) подшипниковых узлов по температуре в различных точках;
- в) системы амортизации по "срабатыванию" пакетов пружин;
- г) системы загрузки по контролю уровня подаваемого в дробилку материала;
- д) трансмиссии по фиксации обрыва муфты главного привода;
- е) смазочной установки по количеству и температуре подаваемого в дробилку масла.

Перечисленными выше опциями могут комплектоваться все без исключения дробилки, вне зависимости от того, где и с какой целью они используются.

Для решения конкретных технологических задач за последние годы нами создан целый ряд специальных исполнений дробилок, освоено новое оборудование.

Снижение крупности дробленого продукта

В настоящее время мы предлагаем нашим потребителям три новые дробилки мелкого дробления:

- КМД-2200Т6-Д для работы в 4-стадиальных схемах дробления и получения в открытом цикле продукта 95% - 14...16 мм (в зависимости от характеристик перерабатываемого материала). В рамках проектов модернизации технологий среднего и мелкого дробления дробилки КМД-2200Т6-Д поставлены, пущены в эксплуатацию и успешно работают на Михайловском, Ингулецком и Северном ГОКах. На Михайловском ГОКе прошли успешные опробования дробилки КМД-2200Т6-Д в режиме автоматического поддержания величины разгрузочной щели. Для этой цели дробилка была оснащена системами контроля уровня загрузки и срабатывания амортизации. Специалисты Уралмашзавода и Михайловского ГОКа совместно разработали алгоритм управления системами дробилки, на основе которого была написана программа для контроллера, которая и прошла успешные испытания. На всех предприятиях дробилки прошли комплексные технологические испытания с участием специалистов поставщика и потребителя, которые подтвердили уровень заявленных параметров. В августе 2012 г. подписан контракт на поставку первой дробилки КМД-2200Т6-Д на Южный ГОК;
- КМД-2200Т5-Д и КМД-2200Т1-ДМ для работы в 3-стадиальных схемах дробления и получения в открытом цикле продукта 95 % —16...18 мм. Эти дробилки максимально унифицированы с дробилкой КМД-2200Т6-Д, отличаясь от последней лишь камерой дробления и, соответственно, узлами, ее формирующими. Такие дробилки успешно работают в ОАО "Апатит", ОАО "Норильский никель", Учалинском ГОКе.

Все дробилки новой серии поставляют с агрегатными АСУ (элементная база — на выбор заказчика), усиленным приводом и механизмом фиксации. Дробилки оборудованы специальным эксцентриком с центрированным нагружением. Использование эксцентрика новой конструкции позволяет:

в 2—4 раза увеличить ресурс работы подшипниковых поверхностей при восприятии увеличенных нагрузок от дробления;

при установке разгрузочной щели размером 5...6 мм (на холостом ходу) осуществлять процесс дробления на минимально допустимой рабочей щели и получать в открытом цикле мелкий продукт.

В замкнутом цикле при использовании дробилки КМД-2200Т6-Д можно получать продукт -10...12 мм при стабильной циркуляционной нагрузке.

В последнее время в России и за рубежом появилась практика организации отдельных участков "додрабливания". Их назначение — максимально возможное снижение крупности дробленого продукта перед измельчением в условиях, преимущественно, 3-стадиального дробления, размыкания трудно управляемого замкнутого цикла и технологий с самоизмельчением. Для таких вариантов модернизации технологических линий мы предлагаем сегодня дробилку-калибратор КМД-2200Т6К, позволяющую получать в открытом цикле продукт —10...14 мм (по 5 %-ному остатку).

Из перспективных работ, выполняемых нами в этом году, хотелось бы отметить создание дробилки 2200 с увеличенной степенью сокращения перерабатываемого материала. Одна из основных особенностей этой дробилки — отказ от традиционной пружинной системы амортизации. Именно она в настоящее время является узким местом при дальнейшем форсировании дробилок типа "Саймонс".

Щековые дробилки

В 2009 г. Уралмашзавод приступил к освоению щековых дробилок большой единичной мощностью, "вспомнив" один из сегментов нашей старой номенклатуры. К настоящему времени изготовлены и пущены в эксплуатацию три дробилки ЩДП-15 × 21У и три дробилки ЩДП-12 × 15У. Дробилки оснащены системами дистанционного регулирования разгрузочной щели, защиты от поломки при попадании недробимого тела, жидкой циркуляционной смазки, автоматической густой смазки, контроля температур подшипников, контроля уровня загрузки. При этом сохранена унификация по основным базовым узлам и деталям.

Мельницы с увеличенной производительностью

Увеличение производительности барабанных мельниц в рамках действующих технологических циклов рудоподготовки является актуальной задачей при необходимости увеличения объемов переработки руды на действующих ГОКах.

Увеличение производительности барабанной мельницы при прочих равных условиях может быть обеспечено, в основном, за счет двух показателей: снижения крупности исходного питания и увеличения рабочего объема барабана. Отдача по остальным показателям (размер мелющих тел, степень заполнения ими рабочего объема и др.) на сегодня реализована практически полностью.

Конструктивная проработка показала, что при сохранении габаритов существующей установки мельницы максимально возможное увеличение рабочего объема барабана может быть получено за

счет непосредственного опирания барабана на сегментные подшипники, вследствие чего зона опорных элементов традиционной мельницы на коренные подшипники трансформируется в дополнительный рабочий объем барабана. Увеличение рабочего объема при этом составляет 40...45 %. Такой вариант конструктивного исполнения мельницы известен в мировой практике (фирмы "Полизиус", "FFE"). Сегментные подшипники мы применяли в своей практике на мельницах самоизмельчения MCC-8,7 × 2,6 (диаметр поверхности скольжения — 4,5 м). Эти подшипники уже эксплуатируются более 10 лет и не имели за этот период ни одного серьезного отказа. Такой путь решения задачи увеличения фронта измельчения мы предлагаем сегодня нашим заказчикам.

Оборудование для циклично-поточных технологий

Сегодня наши специалисты разрабатывают комплексные решения технологических задач заказчика. Расширяется наш опыт поставки технологических линий "под ключ". Важным направлением в создании оборудования для циклично-

поточных технологий являются дробильно-перегрузочные установки (ДПУ), которые более подробно рассмотрены в следующей статье этого номера.

Руководители и специалисты, занятые в горном бизнесе Уралмашзавода, — опытные конструкторы, продавцы и производственники, хорошо понимающие проблемы современного рынка дробильной техники, вопросы производства и эксплуатации ДРО, имеющие большой опыт расчетов и конструирования дробилок и мельниц, владеющие современными средствами проектирования. Среди конструкторов дивизиона — 30 % молодежи, принятой на Уралмашзавод после прохождения стажировки из числа лучших выпускников уральских вузов, и имеющей уже 5—8-летний опыт работы.

Работая с нами, наши потребители могут быть уверены в комплексном решении стоящих перед ними задач. Потенциал исследователей, конструкторов, технологов, экономистов, продавцов и наших стратегических партнеров готов удовлетворять любые потребности наших клиентов.

УДК 622.72

А. В. Груздев, техн. директор, А. М. Осадчий, гл. конструктор дробильно-размольного оборудования, **В. О. Фурин,** канд. техн. наук, нач. сектора дробильно-размольного оборудования, дивизион "Горное оборудование" ОАО "Уралмашзавод", г. Екатеринбург

E-mail: mail@uralmash.ru

Стационарные и полустационарные дробильно-перегрузочные установки Уралмашзавода

Рассмотрены три варианта дробильно-перегрузочных установок. Так, в ДПУ-2000 дробилка ККД-1500/180 является базовым элементом. Дробилка оснащена системой дистанционного регулирования щели и системой автоматического поддержания высотного положения дробящего конуса.

Ключевые слова: дробильно-перегрузочные установки, ККД-1500/180, система дистанционного регулирования щели, система автоматического поддержания высотного положения дробящего конуса.

A. V. Gruzdev, A. M. Osadchiy, V. O. Furin

Stationary and Semi-stationary Crushing and Reloading Setup Uralmashzavod

The article considers three options for crushing and transshipment facilities, so in the ДПУ-2000 ККД-1500/180 crusher is a basic element. Crusher is equipped with a remote control and an automatic slot to maintain altitude position of crushing cone.

Keywords: crushing and reloading setup KKД-1500/180, the system remote control slot, the system will automatically maintain altitude position of crushing cone.

Для многих горно-добывающих предприятий в условиях интенсивно увеличивающейся глубины карьеров и роста затрат на углеводородное топливо повышение эффективности открытых горных работ может быть достигнуто за счет внедрения циклично-поточной технологии (ЦПТ). Размещение дробильно-перегрузочных установок (ДПУ) в непосредственной близости от добычных забоев позволяет значительно сократить эксплуатационные затраты за счет замены доли дорогостоящего парка автомобильного транспорта на более дешевый конвейерный транспорт.

Использование ДПУ также обосновано в схемах, где транспортирование горной массы с вновь разрабатываемых или периферийных участков месторождений ведется на действующие обогатительные фабрики. В этом случае подача крупнодробленой руды может производиться как в конвейерный, так и железнодорожный или канатный транспорт.

В зависимости от схемы работы и места установки ДПУ подразделяют на самоходные, полустационарные (передвижные, переносные) и стационарные.

В 1970—80-е гг. советскими исследовательскими и проектными институтами как перспективные рассматривались мобильные дробильные установки на гусеничном, шагающем и даже рельсовом ходу. В настоящее время область применения мобильных комплексов — небольшие горные и строительные разработки с быстрым перемещением фронта добычных работ в плане и по высоте. Полустационарные (переносные и передвижные) и стационарные ДПУ нашли применение на крупных карьерах и разрезах с большой производительностью, использующих комбинированный автомобильно-конвейерный транспорт. Перенос полустационарных комплексов на новое место в карьере в целях приближения к забою проводится раз в 7—10 лет. Такие ДПУ комплектуются на базе больших производительных, чаще конусных дробилок.

Исторически Уралмашзавод поставлял дробильное оборудование в виде отдельных агрегатов для дробильно-перегрузочных пунктов в схемах ЦПТ, а встраивание и увязка машин осуществлялись проектными организациями заказчика. В настоящее время наши специалисты разрабатывают комплексные решения технологических задач заказчика. Расширяется наш опыт поставки технологических линий "под ключ".

На сегодняшний день только российскими проектно-технологическими институтами разрабатываются около десяти проектов с установкой переносных и стационарных ДПУ на базе конусных дробилок на годовую мощность от 22 млн т и выше. Кроме этого, растет количество запросов от заказчиков на компактные дробильные комплексы на базе щековых дробилок на годовую мощность от 3 млн т/год.

Данная тенденция подтверждается и портфелем заказов. Так, в 2011 г. Уралмашзаводом произведена поставка двух дробилок ККД-1500/180 для строящихся комплексов внутрикарьерного дробления ПАО "Северный ГОК" (Украина, г. Кривой Рог). Проект реализован в результате совместной работы завода с НПО "РИВС" (г. Санкт-Петербург) и НПП "Рапид" (Украина, г. Днепропетровск).

В 2012 г. Уралмашзаводом в условиях сильнейшей конкуренции, в том числе, со стороны китайских производителей горной техники, выигран тендер на поставку трех дробилок ККД-1500/180 для установки в Качарском карьере ОАО "ССГПО" (Казахстан).

В 2012 г. вводится в эксплуатацию дробильносортировочная линия № 5 для получения кубовидного щебня с дробилками ЩДП-15 \times 21У, КСД-2200Гр-ДМ и КМД-2200Т7-Д, поставленная Уралмашзаводом в РУПП "Гранит" (Беларусь, г. Микашевичи).

На сегодняшний день Уралмашзавод предлагает ДПУ с конусными дробилками ККД-1350/160, ККД-1500/180 и щековыми дробилками ШДП-12 \times 15 \vee , ШДС-12 \times 15 \vee , ШДП-15 \times 21 \vee .

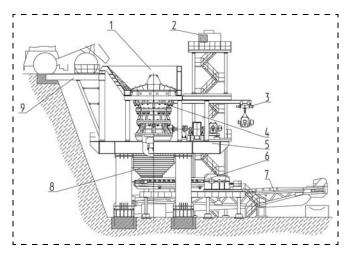


Рис. 1. Общий вид ДПУ-2000:

1— приемный бункер; 2— кабина управления; 3— вспомогательное оборудование; 4— дробилка ККД-1500/180; 5— опорная рама; 6— пластинчатый питатель; 7— передаточный конвейер; 8— разгрузочный бункер; 9— эстакада

За более чем 20-летнюю практику проектирования ДПУ, поставок их составных частей нашими специалистами разработан целый ряд вариантов их компоновки. Преимущества и недостатки различных вариантов ДПУ на годовую производительность от 10 до 30 млн т обсуждались со специалистами крупнейших горных предприятий России, Украины и Казахстана. В настоящее время нам представляется наиболее оптимальными две принципиально отличные компоновочные схемы оборудования ЦПТ с мощными конусными дробилками.

Дробильно-перегрузочная установка ДПУ-2000 (рис. 1) представляет собой полустационарный (переносной) комплекс оборудования, в состав которого входят: дробилка ККД-1500/180, опорная рама дробилки, пластинчатый питатель, передаточный конвейер, разгрузочная эстакада, кабина управления, система управления установкой.

Взорванная в забое руда транспортируется к ДПУ и с разгрузочных эстакад загружается автосамосвалами непосредственно в приемный бункер над дробилкой. Разгрузка дробленной горной массы из дробилки производится в разгрузочный бункер. Через выпускное отверстие разгрузочного бункера материал поступает на пластинчатый питатель, который далее перегружает его на передаточный конвейер.

Дробилка ККД-1500/180 является базовым элементом ДПУ-2000. Дробилка оснащена системой дистанционного регулирования щели и системой автоматического поддержания высотного положения дробящего конуса. Дробилка оборудована системой циркуляционной жидкой смазки, системой автоматической густой смазки, встроенными средствами механизации ее обслуживания. Корпусные детали и основные узлы с увеличенной несущей способностью обеспечивают высокопроизводительную и надежную работу дробилки, не требуют затрат времени и средств на ремонт в течение срока работы дробилки до очередного переноса установки на новое место.

Опорная рама дробилки представляет собой пространственную металлоконструкцию, в верхнюю часть которой встроен приемный бункер для приема горной массы непосредственно из автосамосвалов. Такой способ загрузки конусной дробилки позволяет реализовать одно из основных ее преимуществ — высокую производительность.

Пластинчатый питатель, расположенный под разгрузочным бункером, обеспечивает надежную безаварийную работу разгрузочного ленточного

конвейера и формирует буферную емкость, разделяя операции дробления и транспортировки горной массы.

Передаточный ленточный конвейер одновременно выполняет функцию подборщика просыпи из-под пластинчатого питателя.

Управление установкой ведется из кабины, где информационная система контролирует рабочие параметры агрегатов, систем и механизмов. Кабина вибро- и шумоизолирована, герметична, снабжена системами кондиционирования и обогрева воздуха.

ДПУ снабжена локальными грузоподъемными средствами, среди которых: тали, тельферы, гидравлические домкраты, сварочная установка, компрессорная установка, система освещения и др.

Автоматизированная система управления установкой представляет собой систему верхнего уровня для агрегатов, входящих в состав установки.

Для перемещения установки на новое место ДПУ-2000 разбирается на составные части массой не более 100 т и перевозится с помощью универсальных транспортных средств.

Во втором варианте компоновки ДПУ (рис. 2) установка питателя на загрузке позволяет обойтись без большого бункера-накопителя под дробилкой. Это значительно снижает конструктивную высоту установки, а также улучшает условия разгрузки дробленого материала из-под дробилки. Разгрузка автосамосвалов в этом варианте производится в загрузочный бункер. Это позволяет снизить ударные нагрузки на траверзу и дробящий конус дробилки от крупных падающих кусков.

Для разрушения негабаритных кусков, попадающих в дробилку, установка комплектуется гидромолотом.

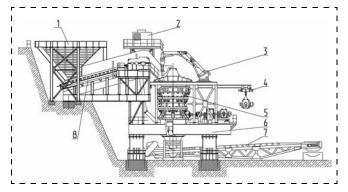


Рис. 2. Общий вид ДПУ-1000 (с дозированной загрузкой дробилки): I — приемный бункер; 2 — кабина управления; 3 — манипулятор с гидромолотом; 4 — вспомогательное оборудование; 5 — дробилка ККД-1350/160; 6 — опорная рама; 7 — передаточный конвейер; 8 — пластинчатый питатель

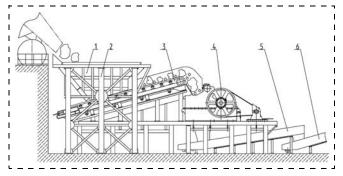


Рис. 3. Общий вил ЛПУ-300:

Для технологических линий с годовой производительностью около 1 млн м 3 /год разработана дробильно-перегрузочная установка ДПУ-300 на базе щековой дробилки ШДП-12 × 15У, которая также имеет сборно-модульную конструкцию (рис. 3).

Исходный материал автосамосвалами загружается в бункер объемом 80 м³, дном которого является лента пластинчатого питателя шириной 1800 мм. Питатель загружает материал в щековую

дробилку, после чего продукт поступает на следующую стадию дробления через систему конвейеров.

ДПУ-300 может функционировать как участок первичного дробления на щебеночных заводах, на рудных и угольных предприятиях средней производительности.

Установлено, что по мере наращивания производственной мощности карьера и увеличения его глубины экономический эффект от применения комплексов ЦПТ с внутрикарьерными ДПУ увеличивается. Учитывая тенденцию к увеличению объемов добычи руды, а также рост цен на нефтепродукты, есть основание полагать, что доля комплексов ЦПТ в транспорте крупных карьеров в России и СНГ будет увеличиваться.

Преимуществом дробильно-перегрузочных установок Уралмашзавода по сравнению с импортными аналогами являются:

применение в составе комплекса базовых машин и агрегатов, широко применяющихся и хорошо зарекомендовавших себя на горно-добывающих предприятиях России и СНГ;

низкие эксплуатационные затраты; простота монтажа и ремонтопригодность.

УДК 622.73

Ю. А. Лагунова, д-р техн. наук, проф., А. В. Орочко, асп., УГГУ, г. Екатеринбург E-mail: yu.lagunova@mail.ru

Взаимозависимости конструктивных и режимных параметров конусных дробилок

Рассмотрены вопросы выбора рациональных конструктивных и режимных параметров конусных дробилок. Приведены соотношения между параметрами, учитывающие характеристики свойства дробимости горных пород.

Ключевые слова: конусные дробилки, рациональные параметры, эффективность рабочего процесса.

Yu. A. Lagunova, A. V. Orochko

The Interdependence of Design and Operational Parameters Cone Crushers

The problems of rational choice of design and operational parameters of cone crushers. Shows the relation between the parameters, taking into account the characteristics of the divisibility properties of rocks.

Keywords: cone crusher, rational parameters, the efficiency of the workflow.

Процессы дробления и дезинтеграции горных пород, являющиеся основными технологическими операциями при рудоподготовке и переработке нерудных материалов, характеризуются значительными энергетическими и материальными затратами, что обусловливается, главным образом, низкой эффективностью функционирования измельчительного оборудования.

На современном этапе развития техники и технологии рудоподготовки одним из способов снижения эксплуатационных затрат является перенос большей части работы по разрушению горной породы в дробильный передел при форсировании скоростных и силовых режимов работы дробилок среднего и, главным образом, мелкого дробления.

Эффективность функционирования дробилок определяется величиной производительности при требуемой степени дробления материала.

Основным режимным параметром конусной дробилки, характеризующим интенсивность рабочего процесса, является частота качаний дробящего конуса.

Во-первых, частота качаний определяет производительность машины — чем больше качаний в единицу времени, тем больше происходит актов приема материала в камеру дробления за то же время.

Но в какой-то момент из-за уменьшающего времени раскрытия приемной щели начнут уменьшаться порции питания, способные войти в камеру.

Во-вторых, частота качаний конуса влияет на возможность приема в камеру наибольшего куска питания. Так, с увеличением частоты качаний уменьшается длительность раскрытия приемной щели, равная полупериоду колебаний конуса, и, соответственно, время входа $t_{\rm B}$ куска в камеру дробления.

Из условия легкого входа куска в камеру (под действием силы тяжести куска)

$$t_{\rm B} = t_{\rm CB},\tag{1}$$

где $t_{\rm CB} = \sqrt{\frac{2H}{g}}$ — время свободного падения куска

при входе в камеру; H — высота падения куска.

Следовательно, при увеличении частоты качаний конуса размер (толщина) наибольшего куска питания уменьшается.

Приравнивая время входа куска в камеру дробления с полупериодом качаний конуса, получим следующее выражение для определения частоты качаний конуса

$$n = 21(g/H)^{0.5}, \text{ MUH}^{-1}.$$
 (2)

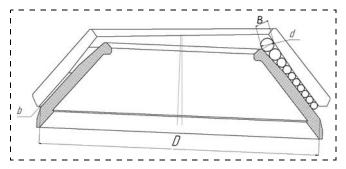


Рис. 1. Размеры камеры дробления:

D — диаметр основания дробящего конуса; d — наибольший размер кусков питания; B — ширина приемной щели на открытой стороне; b — ширина разгрузочной щели в фазе сближения профилей броней

В-третьих, при увеличении частоты качаний конуса возрастает число зажатий кусков в камере дробления и, соответственно, величина деформации кусков. При постоянной скорости движения кусков в камере дробления, определяемой углом наклона образующей дробящего конуса (рис. 1), величина относительной деформации куска уменьшается при увеличении числа зажатий и снижается величина силы дробления и, в целом, нагруженность дробилки.

Следовательно, частота качаний конуса имеет оптимальное значение, соответствующее максимуму производительности при заданных крупности питания и степени дробления.

Степень дробления (сокращения крупности материала) определяется также конструктивными параметрами дробилки и формой камеры дробления.

Соотношение между размерами щелей камеры дробления при условии исключения прессования кусков (или осколков) в зоне калибровки имеет вид [1]

$$B = 1,176b(1 - \varepsilon'_{\rm H})(1 - \varepsilon'_{\rm K})^{-j},\tag{3}$$

где B — ширина приемной щели на открытой стороне; b — ширина разгрузочной щели в фазе сближения профилей броней; $\varepsilon_{\rm H}'$ — проектное значение относительной деформации сжатия в начале проявления куском свойства дробимости; $\varepsilon_{\rm K}'$ — проектное значение относительной деформации сжатия в конце проявления свойства дробимости куском (т. е. в начале прессования); j — число шагов преобразования (сжатий) кусков.

Проектные значения относительных деформаций ϵ'_H и ϵ'_K определяются в зависимости от реальных значений деформаций в начале и конце проявления куском свойства дробимости.

Испытания случайно выбранных фрагментов различных горных пород показали [2, 3], что для

каждой выборки существуют средние значения деформаций сжатия в начале $\varepsilon_{\rm H}$ и конце $\varepsilon_{\rm K}$ проявления кусками свойства дробимости, являющиеся устойчивыми характеристиками свойства дробимости горной породы.

Принимая $\varepsilon'_{\rm H} = \varepsilon_{\rm H} + \delta$, где δ — половина доверительного интервала с коэффициентом доверия 1-a, где a — малое число, можно ожидать, что с вероятностью p=1-a кусок будет разрушен [4].

При $\epsilon_{\rm K}' = \epsilon_{\rm K} - \delta$ исключается прессование кусков в зоне калибровки и, соответственно, перегрузка машины.

Повышение степени дробления достигается, прежде всего, за счет выбора рационального типа камеры дробления, соответствующего характеристикам свойства дробимости исходного материала.

В отечественной практике типоразмерный ряд конусных дробилок регламентирован ГОСТ 6937—91 "Конусные дробилки. Технические условия". Для каждого типоразмера дробилки предусматривается несколько типов камер дробления, например, грубого, мелкого, тонкого дробления и др. (рис. 2). Количество типов камер дробления требует грамотного использования их в зависимости от условий эксплуатации и задач технологического процесса, иначе теряется смысл такого разнообразия камер дробления.

Например, конусные дробилки фирмы "Nordberg" (США) поставляются с несколькими вариантами камеры дробления в рамках одной и той же конструкции станины, предназначенной для тяжелых условий работы. Это обеспечивает возможность подбора оптимальной камеры дробления конусной дробилки для каждой стадии технологического процесса.

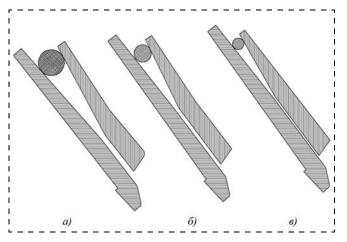


Рис. 2. Схемы камер дробления дробилок мелкого дробления: a — мелкого дробления; δ — тонкого дробления; δ — сверхтонкого дробления

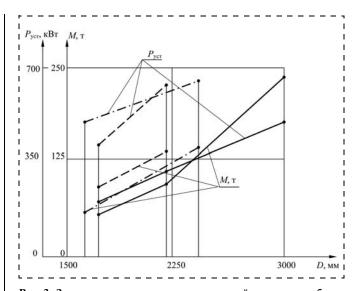


Рис. 3. Зависимости энерговесовых показателей конусных дробилок от диаметра основания дробящего конуса:
— дробилки Уралмашзавода; — дробилки НПК "Механобр-Техника"; - - · · — дробилки фирмы "Nordberg"

Одним из направлений повышения эффективности рабочего процесса является интенсификация рабочих режимов за счет повышения энерговооруженности оборудования. На рис. 3 приведены энерговесовые показатели конусных дробилок (установленная мощность привода и масса дробилки). При увеличении установленной мощности привода (дробилки фирмы "Nordberg" и инерционные дробилки НПК "Механобр-Техника") возрастают как статические, так и динамические нагрузки на основные детали и узлы и, как следствие, масса дробилки. Увеличение массы позволит повысить надежность оборудования в процессе эксплуатации в сложных горно-геологических и климатических условиях России (Заполярье, Сибирь).

Выводы

- 1. Преобразование кусковатой горной массы в дробилке при заданной производительности и степени дробления кусков возможно на основе обеспечения рациональных соотношений между конструктивными и режимными параметрами дробилки с учетом физико-механических и технологических (дробимости) свойств материала.
- 2. Выбор рациональных параметров конусных дробилок представляет собой сложную технико-экономическую задачу, решение которой требует проведения как теоретического обоснования, так и экспериментального подтверждения.

Список литературы

- 1. Масленников В. А. Проектирование горных машин. Екатеринбург: Изд-во УГГГА, 1996. 130 с.
- 2. **Муйземнек Ю. А.** Некоторые вопросы разрушения кусков материала сжимающими силами // ИВГЖ. 1970. № 10. С. 80—83.
- 3. **Горное** оборудование Уралмашзавода / Коллектив авторов. Отв. редактор-составитель Г. Х. Бойко. Екатеринбург: Уральский рабочий, 2003. 240 с.
- 4. Справочник по теории вероятностей и математической статистике / С. Королюк, Н. И. Портенко, А. В. Скороход, А. Ф. Турбин. М.: Наука, 1985. 640 с.
- 5. **Баранов В. Ф.** Обзор дробильного и измельчительного оборудования основных производителей // Обогащение руд. 2012. № 3. С. 32—38.

- 6. **Лагунова Ю. А., Червяков С. А.** Эффективность дробления рудных материалов // Горное оборудование и электромеханика. 2012. № 5. С. 18—20.
- 7. **Муйземнек Ю. А.** Усилия и нагрузки в конусных гирационных дробилках. М.: Машиностроение, 1964. 152 с.
- 8. **Андреев С. Е., Зверевич В. В., Перов В. А.** Дробление, измельчение и грохочение полезных ископаемых. М.: Недра, 1966. 395 с.
- 9. **Клушанцев Б. В., Косарев А. И., Муйземнек Ю. А.** Дробилки. М.: Машиностроение, 1990. 320 с.
- 10. Вайсберг Л. А., Зарогатский Л. П., Туркин В. Я. Вибрационные дробилки. Основы расчета, проектирования и технологического применения. СПб.: Изд-во ВСЕГЕИ, 2004. 306 с.

УДК 621.926.22

А. А. Холодков, инж.-констр., ОАО "Уралмашзавод", г. Екатеринбург

E-mail: mail.@uralmash.ru

Щековые дробилки Уралмашзавода

Показаны пути вывода щековой дробилки на современный технический уровень, обеспечивающий конкурентные преимущества: автоматизацию регулирования разгрузочной щели, автоматическую централизованную систему смазки, систему контроля уровня загрузки, современные средства монтажа, систему управления и диагностики. При этом важно сохранить традиционную надежность и ремонтопригодность дробилок с простым качанием щеки.

Ключевые слова: щековые дробилки, регулирование разгрузочной щели, автоматическая централизованная система смазки, система контроля уровня загрузки, современные средства монтажа.

A. A. Holodkov

Jaw Crushers Uralmashzavod

The article shows the output path of jaw crusher on state of the art, providing competitive advantages: automation control the discharge gap, automatic centralized lubrication system, control system load level, an advanced installation, system management and diagnostics. It is important to preserve the traditional reliability and maintainability of the crusher with a simple swing of his cheeks.

Keywords: jaw crusher, crushing gap adjustment, automatic central lubrication system, control system load level, an advanced installation.

Щековые дробилки крупного дробления предназначены для первичного крупного дробления непластичных материалов с временным сопротивлением сжатию до 300 МПа, в частности, для дробления гранитов, базальтов, кварцитов, песчаников, известняков и других горных пород и руд. Дробилки применяются на горно-обогатительных комбинатах черной и цветной металлургии, на щебеночных, углеобогатительных, алмазодобывающих, горно-химических и других предприятиях.

Производство щековых дробилок на Уралмашзаводе началось в 1940-х гг. Общий вид одной из первых дробилок ЩДП-1500 × 2100 приведен на рис. 1. В начале 1960-х гг. их изготовление было передано на Волгоцеммаш (Самарская область). После того как волжское предприятие было перепрофилировано и прекратило выпуск щековых дробилок, на рынке появился дефицит этого оборудования. Благодаря запасам вторичного рынка, временное отсутствие конкуренции не вызвало

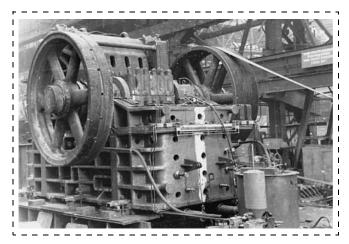


Рис. 1. Дробилка ШДП-1500 × 2100

"бума" импорта данного оборудования, однако ситуацию необходимо было менять. В связи с этим в 2006 г. было принято решение возобновить производство щековых дробилок на Уралмашзаводе. Была поставлена задача — освоить производство щековых дробилок, отвечающих современным требованиям. Уверенность уралмашевских специалистов в успешном решении этой задачи основывалась на том, что выпущенные заводом еще в середине прошлого века щековые дробилки до сих пор успешно работают на горных предприятиях. В то же время были понятны пути вывода машин на современный технический уровень, обеспечивающий им конкурентные преимущества: автоматизация регулирования разгрузочной щели, внедрение автоматической централизованной системы смазки, системы контроля уровня загрузки, современных средства монтажа, системы управления и диагностики. Важно было при этом сохранить традиционную надежность и ремонтопригодность дробилок с простым качанием щеки, так как они стоят во главе технологических линий на стадии крупного (первичного) дробления и, в целом, задают ритм работы предприятия. И Уралмашзаводу удалось создать современные высокотехнологичные, надежные, простые в эксплуатации и обслуживании дробилки. Все основные узлы дробилок легко доступны для контроля и обслуживания, что сокращает время регламентных работ.

В зависимости от условий применения и требований заказчика дробилки могут изготавливаться в нескольких исполнениях:

а) по условиям размещения:

в климатическом исполнении У для умеренного климата, категория размещения 3 по ГОСТ 15150—69;

для установки в шахте (с разборной станиной); с электрооборудованием во взрывобезопасном исполнении;

б) по типу подшипников главного вала и их смазки (рис. 2, см. 3-ю стр. обложки):

подшипники качения с густой автоматической смазкой (основное исполнение);

подшипники качения с жидкой циркуляционной смазкой;

подшипники скольжения с жидкой циркуляшионной смазкой:

в) по способу регулирования разгрузочной щели: гидравлическое механизированное с помощью продольных гидроцилиндров и регулировочных прокладок;

дистанционное гидравлическое с помощью поперечных гидроцилиндров и регулировочных клиньев (основное исполнение) (рис. 3 и 4, см. 3-ю стр. обложки);

механическое с помощью винтовых устройств и регулировочных клиньев;

- г) по способу предохранения от поломки при попадании недробимого тела:
 - с фрикционными муфтами;
 - с предохраняющей задней распорной плитой;
 - д) по расположению привода:

левое (при взгляде со стороны загрузки привод расположен слева);

правое (при взгляде со стороны загрузки привод расположен справа).

В процессе возобновления производства щековых дробилок на Уралмашзаводе проводился сбор информации об эксплуатации этих тяжелых и ответственных машин на рудных и щебеночных предприятиях. Оказалось, что в дробилках типа СМД-117 (Волгоцеммаш), работающих на дроблении высокопрочных гранитов и кварцитов, слишком низкий ресурс подшипников главного вала. В связи с этим была разработана конструкция главного вала с подшипниками повышенной грузоподъемности. На рис. 5 (см. 4-ю стр. обложки) в одном масштабе показан разрез шатунных и коренных подшипников дробилок ЩДП-15 × 21У и СМД-117.

Роликовые радиальные сферические двухрядные подшипники повышенной грузоподъемности с установкой через конические закрепительные втулки обеспечивают подшипниковым узлам главного вала:

значительное увеличение срока службы подшипников — гарантировано на весь срок службы дробилки;

Параметры	ШДП-9×12У	ЩДП-12×15У	ЩДП-15×21У
Размеры приемного отверстия, мм:			
ширина	900 ± 40	1200 ± 50	1500 ± 60
длина	1200 ± 40	1500 ± 50	2100 ± 60
Максимальный размер куска питания, мм	750	1000	1300
Размер максимального куска продукта (по 5 %-ному остатку на квадратной ячейке), мм	220	270	300 (270)
Ширина разгрузочной щели в фазе раскрытия, номинальная, мм	130	155	180 (160)
Регулировочный ход для компенсации износа плит, мм	60	80	100
Производительность при влагосодержании до 4 %	180	310	600 (530)
и номинальной ширине выходной щели, м ³ /ч, не менее			
Электродвигатель привода:			
мощность, кВт	90160	160250	250400
частота вращения, мин $^{-1}$	750	750	500
напряжение, В	660/380	660/380	6000
Частота качаний подвижной щеки, мин $^{-1}$	200 ± 10	170 ± 10	140 ± 10
Регулирование разгрузочной щели	Гидравлическое дистанционное/		
	гидравлическое механизированное		
Габаритные размеры с приводом, мм, не более:			
длина	7700	10000	10400
ширина	5100	6500	8800
высота	3300	4300	5200
Смазка подшипников главного вала	Жидкая циркуляционная/густая закладная/ густая автоматическая		
Смазка подшипников вала привода и сопряжений "сухарь—распорная плита"	Густая закладная/густая автоматическая		
Масса комплекта поставки без запчастей, т	70*	120*	224*
	1	I	
* Уточняется в зависимости от комплекта поставки.			

гарантированный натяг при посадке внутреннего кольца подшипника;

возможность демонтажа подшипников без нарушения посадочных поверхностей эксцентрикового вала.

В настоящее время дробилка ШДП-15 \times 21У с главным валом новой конструкции запущена в промышленную эксплуатацию в РУПП "Гранит" (Беларусь).

Наши щековые дробилки могут быть оснащены системами:

автоматизированного управления;

плавного пуска;

контроля уровня загрузки;

видеонаблюдения.

Сегодня современные щековые дробилки Уралмашзавода (рис. 6, см. 4-ю стр. обложки) успешно эксплуатируются на горных и щебеночных предприятиях:

ЩДП-15 \times 21У в ОАО "Стойленский ГОК" (кварциты и железная руда);

ШДП-15 \times 21У в ОАО "Магнитогорский МК" (железная руда);

ЩДП-12 \times 15У на ОФ "Кедровская", УК "Кузбассразрезуголь" (уголь);

ЩДП-15 \times 21У в РУПП "Гранит", Беларусь, (гранит) (рис. 7, см. 4-ю стр. обложки);

ЩДП-12 \times 15У в ОАО "Учалинский ГОК" (медно-цинковая руда).

Дробилка ШДП-9 \times 12У готовится к отгрузке для ОАО "Норильский никель" (медно-никелевый файнштейн).

На сегодняшний день типоразмерный ряд щековых дробилок Уралмашзавода составляют дробилки с простым качанием щеки и размерами приемного отверстия: 900×1200 , 1200×1500 и 1500×2100 .

Основные технические характеристики щековых дробилок ШДП-9 \times 12У, ШДП-12 \times 15У, ШДП-15 \times 21У приведены в таблице. Индекс "У" в условном обозначении определяет завод-изготовитель дробилки — Уралмашзавод.

Номенклатуру щековых дробилок необходимо развивать по следующим направлениям:

создание модификаций дробилок для использования в составе комплексов внутрикарьерного дробления;

создание в рамках размерного ряда дробилок со сложным качанием щеки;

создание специальных исполнений дробилок (для дробления особо прочных материалов, для дробления материалов с низким коэффициентом поверхностного трения);

освоение комплектных поставок технологического оборудования для корпусов первичного дробления со щековыми дробилками. УДК 378.14

А. В. Груздев, техн. директор, дивизион "Горное оборудование" ОАО "Уралмашзавод", **Ю. А. Лагунова,** д-р техн. наук, проф., **В. С. Шестаков**, канд. техн. наук, проф., УГГУ, г. Екатеринбург E-mail: yu.lagunova@mail.ru

Сотрудничество Уральского государственного горного университета и ОАО "Уралмашзавод" в области подготовки специалистов

Освещены вопросы подготовки квалифицированных конструкторских кадров для современного машиностроительного производства. Отражены основные особенности и подходы к изучению специальных дисциплин в Уральском государственном горном университете, а также опыт организации учебных и производственных практик.

Ключевые слова: образовательные услуги, действующие модели машин, учебный гидравлический стенд-тренажер, конструкторский пакет APM WinMachine, пакет SolidWorks, олимпиады, практика.

A. V. Gruzdev, Yu. A. Lagunova, V. S. Shestakov

Cooperation of the Urals State Mining University and the OJSC "Uralmashzavod" in the Training of Specialists

Highlights the issues of training are qualified personnel for the design of modern mechanical engineering. It's reflected the main features and the study of special disciplines in the Ural State Mining University. The experience of the organization is educational and industrial practice.

Keywords: educational services, working models of machines, educational hydraulic simulation stand, engineering package AMP WinMachine, package SolidWorks, Olympics, practice.

На Уралмашзаводе пристальное внимание уделяют подготовке кадров. В школах проводят предварительный отбор способных к дальнейшему обучению учащихся, с ними заключают договора, а затем их направляют для обучения в базовые университеты. Для подготовки конструкторов горного оборудования базовым вузом является Уральский государственный горный университет (УГГУ, г. Екатеринбург). Многие руководящие и практически все инженерные должности занимают выпускники горного университета (С. А. Червяков, А. А. Крагель, А. Ю. Воробьев, С. В. Назаренко, С. А. Никифоров, А. В. Чистяков, Л. Е. Синицына, династия Дурневых и др.). Для подготовки студентов по целевым программам оформлен Генеральный договор, в котором предусмотрено индивидуальное обучение для Уралмашзавода.

Подготовку конструкторов горного оборудования проводит выпускающая кафедра горных ма-

шин и комплексов (ГМК). В индивидуальных занятиях с целевиками Уралмашзавода предлагаются дополнительные учебные программы, отвечающие требованиям подготовки современных инженерно-технических кадров:

- 1. Оптимизация рабочих процессов основного технологического горного оборудования.
- 2. Разработка новых конструктивных схем горных машин, обеспечивающих минимальные энергозатраты.
- 3. Проектирование и эксплуатация гидравлических машин, гидроприводов и гидропневмоавтоматики.
- 4. Применение системы автоматизированного проектирования *WinMachine*.
- 5. Конструкторские пакеты объемного параметрического моделирования.
- 6. Управление эксплуатационными характеристиками и ресурсом изделий машиностроения,

сборочных единиц, машины в целом, металлообрабатывающего и горного инструмента, технологической оснастки и приспособлений.

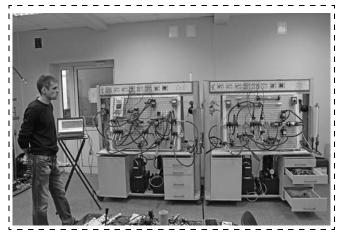
7. Смазочные системы и основные этапы их проектирования на стенде-тренажере.

Предлагаемые учебные программы подкреплены соответствующей лабораторной базой. При обучении студентов используют действующие модели шагающих и карьерных экскаваторов, установленных в забоях лаборатории и моделирующих реальные условия эксплуатации. Модели позволяют сотрудникам кафедры совместно со студентами исследовать рабочие процессы этих машин и вырабатывать рекомендации по оптимизации параметров.

Так же используют действующие модели дробильно-размольного оборудования, которые позволяют исследовать свойства дробимости различных горных пород и вырабатывать рекомендации по улучшению качества продуктов дробления дробилок, определять рациональные режимы работы дробильно-размольного оборудования.

Учебные стенды-тренажеры (см. рисунок) позволяют получить общие и специальные знания и навыки в области эксплуатации систем гидропривода и гидроавтоматики (ГП и ГПА), получить квалификацию, которая позволяет разрабатывать схемы силовых гидравлических и смазочных систем, выбирать гидрооборудование для новых машин, применять компьютеры для анализа и синтеза элементов и систем гидроавтоматики, составлять компьютерные программы имитации работы проектируемых гидравлических схем.

Кафедра обладает собственным компьютерным классом и имеет 14 рабочих мест для работы в конструкторском пакете *APM WinMachine* и 20 рабочих мест для работы в пакете *SolidWorks*, что позволяет студентам получить навыки использования кон-



Учебные стенды-тренажеры

структорских пакетов объемного проектирования горного оборудования.

Для обучения студентов самостоятельной работе составлено соответствующее методическое обеспечение, состоящее из методических пособий для выполнения индивидуальных домашних заданий и методических указаний к лабораторным работам. Пособия включают в себя выписку из стандарта дисциплины, конспект лекций, вопросы для контроля знаний в виде тестов, примеры решения типовых задач. За выполнением индивидуальных работ организован контроль. Это приучает студента к систематической работе в течение семестра, формирует такие качества, как дисциплинированность, настойчивость, обязательность и др. Для целевиков Уралмашзавода проводят индивидуальные консультации, которые позволяют устранять противоречия между фронтальным преподаванием дисциплин и индивидуальным характером усвоения материала студентами, между теоретическими знаниями и умением применять их на практике.

В последние годы изменились требования к выпускникам механических специальностей нашего университета со стороны потребителей. Предприятия в обязательном порядке требуют от выпускников свободного владения навыками работы на ЭВМ. Это вызвано тем, что во всех конструкторских отделах проектирование осуществляется только на ЭВМ в специализированных конструкторских пакетах. На многих горных предприятиях в отделах главного механика также применяют такие пакеты.

Исходя из запросов предприятий, в том числе и ОАО "Уралмашзавод", кафедрой ГМК включено в учебные планы изучение студентами систем AutoCad, SolidWorks, Komnac, APM WinMachine.

Рассмотрим подробно возможности таких систем при обучении студентов, магистрантов и аспирантов в современных условиях.

AutoCad используется в конструкторских отделах для получения, в основном, традиционных "плоских" чертежей. Этот пакет обладает таким существенным недостатком, как отсутствие возможности быстрого изменения проектов при изменении каких-либо размеров входящих в изделие объектов.

SolidWorks и Komnac относятся к классу параметрических трехмерных систем объемного моделирования. В SolidWorks и Komnace первичным является создание деталей, из деталей формируются сборочные единицы и затем сборка всего проектируемого объекта. Сборочные и рабочие чертежи автоматически выполняются для созданных деталей и узлов. *SolidWorks* и *Компас* позволяют при создании деталей возвращаться на ранние этапы процесса проектирования, вносить изменения в форму детали или в ее размеры, устранять возможные ошибки.

Работа в Solid Works и Komnace заключается в задании принципа построения детали. Размеры и взаимосвязи между элементами приобретают здесь особое значение, они являются исходными данными для формирования проекта. Наличие параметричности позволяет использовать размеры для управления габаритами и формой детали, поэтому чрезвычайно важным оказывается правильное задание размеров.

На первом этапе студенты учатся построению деталей. Деталь состоит из простых элементов, которые получают путем перемещения эскиза на заданное расстояние или его поворота на заданный угол. Эскиз представляет собой замкнутую плоскую или объемную фигуру. Например, эскиз в виде прямоугольника с расположенными внутри отверстиями при перемещении на расстояние обеспечивает получение основания с отверстиями. При повороте прямоугольника относительно оси будет получен цилиндр или втулка.

Алгоритм создания детали включает следующие действия:

деталь разбивают на элементы;

определяют последовательность построения элементов;

для первого элемента строят эскиз;

эскиз первого элемента перемещают на заданное расстояние или поворачивают на заданный угол для получения элемента;

выделяют одну из поверхностей созданного элемента или создают дополнительную плоскость и строят эскиз для второго элемента;

эскиз второго элемента перемещают на заданное расстояние или поворачивают на заданный угол для получения второго элемента;

этапы выделения поверхности, построения эскиза и его смещения повторяют для всех элементов детали.

Вторым этапом обучения при объемном проектировании является создание сборок, компонуемых из ранее созданных деталей. Для определения расположения одной детали относительно другой указывают элементы деталей и их взаимосвязь, например, выделяют в деталях окружности и обозначают связь концентричности. Это обеспечивает расположение деталей вдоль одной оси, проходящей через центры окружностей. При работе со сборками можно создавать массивы.

На третьем этапе проводят обучение оформлению чертежей, получаемых автоматически по разработанным деталям и сборкам. Чертежи обладают двунаправленной ассоциативностью с 3D-моделями. Это означает, что при изменении размера в детали автоматически изменяется чертеж, и, наоборот, при изменении размера в чертеже изменяется деталь. Благодаря этому размеры модели всегда соответствуют размерам на чертеже.

Одновременно с проектированием проводится обучение расчетам напряженно-деформированного состояния создаваемого объекта. Для этого *Solid-Works* имеет встроенный модуль прочностного анализа *Cosmos Xpress*. В модуле можно определить как конструкция воспринимает нагрузки при работе, увидеть распределение напряжений, деформации и принять соответствующие конструкторские решения на основе полученных результатов анализа.

В SolidWorks реализованы возможности "физической динамики". В процессе выбора линейного или вращающегося двигателя можно выполнить имитацию работы создаваемого механизма. Этот инструмент позволяет осуществлять кинематический и предварительный динамический анализ работы механизма.

Для обучения современным методикам расчета на кафедре используется *APM WinMachine* — это система автоматизированного расчета и проектирования машин, механизмов и конструкций. Российская разработка для специалистов, занятых конструированием механического оборудования, по большинству параметров не имеет мировых аналогов, в нее вошли модули расчета прочности, жесткости и устойчивости механических систем, реализованные методом конечных элементов. С ее помощью можно получать рациональные геометрические размеры элементов машин и строительных конструкций.

APM WinMachine включает программы расчета: энергетических и кинематических параметров, динамических характеристик;

прочности, жесткости, устойчивости, выносливости, надежности и износостойкости.

С ее помощью можно выполнить расчеты и проектирование:

резьбовых, сварных, заклепочных соединений элементов конструкций и соединений деталей вращения;

зубчатых, червячных, ременных, цепных и винтовых передач;

подшипников качения и скольжения; валов и осей;

кулачковых и рычажных механизмов произвольной структуры;

приводов вращательного движения произвольной структуры;

упругих элементов машин (пружин сжатия, растяжения и кручения, плоских пружин, тарельчатых пружин и торсионов);

конструкций: балочных; стержневых произвольного вида; ферменных плоских и пространственных; трехмерных рамных; оболочечных.

АРМ позволяет выполнить проверочные и проектировочные расчеты. Обучение овладению навыками работы в указанных системах на кафедре ГМК УГГУ выполняют следующим образом. На лекционных занятиях излагают идею работы в соответствующей системе с демонстрацией примеров на компьютере через проектор. На практических занятиях выдают индивидуальные задания с постепенным наращиванием сложности заданий. Подобная практика дает хорошие результаты, студенты овладевают навыками работы и при выполнении дипломных проектов самостоятельно применяют полученные знания.

Команда студентов наших специальностей ежегодно занимает призовые места на Всероссийских олимпиадах "Проектирование металлоконструкций" и "Проектирование гидропривода".

Для знакомства с горными предприятиями, на которых эксплуатируют выпускаемое Уралмаш-заводом горное оборудование, кафедра ГМК организует учебную горно-технологическую практику студентов-механиков после первого курса.

Программа практики предусматривает:

ознакомление студентов с горными и машиностроительными предприятиями, с их организационной структурой, с системой разработки полезного ископаемого и процессом его обогащения, применяемой горной техникой;

изучение условий эксплуатации машин и оборудования, их устройство и принцип действия;

получение рабочей профессии "Слесарь по ремонту горного оборудования" для специальности "Горные машины и оборудование" и "Слесарь по ремонту бурового оборудования" для специальности "Машины и оборудование нефтяных и газовых промыслов".

Занятия по приобретению навыков рабочей профессии проводят специалисты учебного комбината ОАО "Ураласбест", практические основы профессии студенты получают в ремонтных мастерских на карьере под чутким руководством мастеров-наставников, являющихся специалистами комбината.

Такая практика позволяет студенту получить знания по используемому на горных предприятиях оборудованию, что является весьма ценным для последующего обучения. Полученные удостоверения рабочей профессии позволяют студентам в будущем на производственных практиках устраиваться на рабочие места.

Обучение проектированию в SolidWorks обеспечивает развитие у студентов направлений творчества — в процессе создания деталей и сборок студенты обдумывают не только создание, но и возможности улучшения проектируемого объекта. Процесс создания деталей и сборок аналогичен реальному процессу, поэтому студенты обучаются элементам анализа — может ли быть создана деталь, получится ли из созданных деталей проектируемый узел.

При работе в системе APM WinMachine студенты приобретают опыт проектирования металлоконструкций и механических передач, назначая сечения элементов, студенты в результате расчетов наблюдают — к чему это приведет: как изменятся напряжения, масса, перемещения элементов, устойчивость конструкции. Накопленный опыт в процессе обучения позволяет выпускникам быстрее адаптироваться в конструкторских коллективах.

Именно такие специалисты в области проектирования горной техники нужны современным машиностроительным производствам.

ООО "Издательство "Новые технологии", 107076, Москва, Стромынский пер., 4

Дизайнер Т.Н. Погорелова. Технический редактор Е.В. Конова. Корректор Т.В. Пчелкина.

Сдано в набор 10.07.2013. Подписано в печать 27.08.2013. Формат 60×88 1/8. Бумага офсетная. Усл. печ. л. 6,37 (в т. ч. цв. вкл. 0,49). Заказ GO813. Цена свободная.

Журнал зарегистрирован Федеральной службой по надзору за соблюдением законодательства в сфере массовых коммуникаций и охране культурного наследия. Свидетельство о регистрации ПИ № ФС77-19854 от 15 апреля 2005 г.

Оригинал-макет ООО "Адвансед солюшнз". Отпечатано в ООО "Адвансед солюшнз". 105120, г. Москва, ул. Нижняя Сыромятническая, д. 5/7, стр. 2, офис 2.