

Памяти профессора В. И. Дворникова,
дорогого учителя и друга

Результаты исследований в области шахтного подъема

Современная теория шахтного подъема, становление и развитие теории динамического взаимодействия элементов шахтного подъемного комплекса во многом связаны с трудами советских ученых М. М. Федорова, А. П. Германа, А. С. Ильичева, М. Ф. Глушко и др. Их ученики и последователи: представители науки НИИГМ им. М. М. Федорова – доктора техн. наук, профессора В. И. Дворников, Н. Г. Гаркуша, А. А. Белоцерковский, канд. техн. наук А. Ф. Новиков и другие продолжили начатое дело и вносят существенный вклад в развитие теории динамического состояния шахтных канатов, прицепных устройств, подъемных машин, сосудов, электропривода, армировки стволов. Так, В. И. Дворников впервые разработал единую теорию взаимодействия элементов подъемного комплекса, что позволяет исключать ошибочные технические решения.

На основании многолетних исследований и систематизации знаний о шахтном подъемном комплексе В. И. Дворников математически описал динамическое состояние шахтного подъемного комплекса как целостной многосвязной технической и математической модели, включающей канаты головные вертикальных и наклонных подъемов, уравнивающие, проводниковые и тормозные; подвесные устройства; подъемные сосуды; армировку ствола; электропривод и подъемную машину. Теоретический фундамент В. И. Дворникова позволил решить ряд важных задач.

Горнодобывающая промышленность отличалась разнообразием типоразмеров, отсутствием взаимозаменяемости и большой номенклатурой оборудования индивидуального производства. Радикальным способом улучшения такой ситуации была полная унификация номенклатуры оборудования и разработка технических схемных решений комплексов главных и вспомогательных стволов. Эту задачу начали решать в середине 70-х годов. К тому времени в угольной промышленности насчитывалось около ста крупных многоканатных подъемных комплексов, оборудованных машинами четырех типоразмеров: МК 2,25×4; МК 3,25×4; МК 4×4 и МК 5×4. Но, несмотря на ограниченный набор машин, их оснащали канатами более 20 разных диаметров различных конструкций, что вызывало немало трудностей при изготовлении на отечественных заводах.

Идея унификации состояла в том, что четырем типоразмерам подъемных машин ставили в однозначное соответствие четыре диаметра канатов (27; 33; 42; 46,5 мм) одной конструкции в соответствии с ГОСТ 7668 (закрытый варингтон с органическим сердечником). Теоретическим обоснованием принятого решения об унификации были не только прочностные расчеты, но и результаты проведенного статистического анализа работоспособности канатов, из которого следовало, что наибольшая долговечность характерна для канатов типа



В. И. ПАСЮТА,
инж.



В. Ю. ПУШКАРЕВ,
инж.



В. А. СИДОРЕНКО,
инж.



К. А. СОЛОМЕНЦЕВ,
канд. техн. наук
(ПАО «НИИГМ
им. М. М. Федорова»)



закрытого варингтона с органическим сердечником, а также результаты моделирования динамических процессов всех многоканатных подъемных установок в целях получения доказательств об отсутствии при предохранительном торможении скольжения канатов, практического отсутствия влияния на их долговечность уменьшения отношения D_m/d_k по сравнению с нормативным ($D_m/d_k \geq 100$). Последнее стало убедительным доводом для Госгортехнадзора СССР, разрешившего эксплуатацию канатов при $D_m/d_k \geq 95$. Унификацию канатов [1] широко внедряли благодаря техническим условиям (ТУ 14-4-667-75 и ТУ 14-4-1444-87), разработанными институтами ВНИИГМ им. М. М. Федорова и ВНИИметиз.

Затем унифицировали канаты для машин барабанного типа, предложив на основе многочисленных расчетов ряд диаметров канатов конструкции в соответствии с ГОСТ 7668: 27; 33; 36,5; 42; 46,5; 50,5; 53,5; 58,5 мм, т. е. к четырем диаметрам существующего ряда добавили еще четыре, в итоге восемь типоразмеров вместо 72. Кроме головных канатов унифицировали также уравнивающие. Этому предшествовала разработка подвесных устройств для круглых уравнивающих канатов, а также проведенные статистические исследования долговечности уравнивающих канатов различных конструкций. В результате можно было разработать рекомендации повсеместного применения малокрутящихся канатов (ГОСТ 3088). Аналогичную унификацию предложили и для предприятий Министерства цветной металлургии СССР.

После унификации канатов необходимо было унифицировать подвесные устройства головных и уравнивающих канатов. Используя разработанную математическую модель, теоретически обосновали переход на безуровневые подвесные устройства для канатов многоканатного подъема. Такие подвесные устройства разработали в институтах ВНИИГМ им. М. М. Федорова и Донгипроуглемаш. Важное техническое решение для подвесных устройств головных канатов – отказ от прежних конструкций коушей типа КРГ и ККБ и переход на современные с двухсторонним зажатием канатов, а для подвесных устройств уравнивающих канатов – переход на коуши с небольшим отношением диаметра коуша к диаметру каната для уменьшения инерционных нагрузок на канаты.

В результате внедрения оцинкованных канатов срок службы их возрос до двух лет, неоднократно продлевался до трех лет; резко уменьшилась по-

требность в канатах, они стали взаимозаменяемыми, а унифицированные подвесные устройства заводы освоили достаточно быстро.

Сейчас накоплен большой положительный опыт эксплуатации как канатов, так и подвесных устройств. Однако в связи с увеличением глубин добычи полезных ископаемых появились определенные проблемы. Для канатов и подвесных устройств – это влияние тем большего крутящего момента в канатах, чем больше высота подъема. Решение проблемы – применение малокрутящихся и некрутящихся головных канатов, а также увеличение прочности элементов подвесных устройств, которые могут воспринимать крутящий момент от головных канатов.

Исследователи формы петли уравнивающего каната, предопределяющей его динамическое поведение с моделью неразрывного в нижней части (петле) каната в отличие от модели разрезанного (в петле), столкнулись с новыми задачами, связанными с устойчивостью поперечных и крутильных колебаний каната. Решение таких задач позволит определить причины интенсивного раскачивания круглых уравнивающих канатов при движении сосуда по стволу. При этом ветви канатов могут перехлестываться, цепляться за элементы армировки и крепи и т. п.

Несмотря на достаточно высокую прочность уравнивающего каната, воспринимающего нагрузку лишь от собственного веса, подвергаясь интенсивным продольно-крутильным динамическим нагрузкам, канаты быстро выходят из строя из-за коррозионно-усталостного разрушения проволоки. Поэтому в стволах, не имеющих пересечений с промежуточными горизонтами, перспективно применение резинотросовых канатов, обладающих повышенной износостойкостью и антикоррозионной защитой.

Использование канатов в качестве элементов, направляющих движение подъемного сосуда в стволе, и выявление характера его движения в стесненных условиях – причина специальных задач о поперечных колебаниях проводниковых канатов и их взаимодействии с движущимися подъемными сосудами. Так, изучение поперечного перемещения сосуда $u(t)$ как твердого тела сосредоточенной массы с учетом потенциальных восстанавливающих сил со стороны проводника, описываемого уравнением

$$d^2u/d\xi^2 + PLu/[mv^2\xi(1-\xi)] = 0,$$

где P – натяжение проводника (внизу);

L – длина проводника;
 $\xi = l/L$;
 l – расстояние по вертикали от сосуда до нижнего конца проводника;
 m – масса сосуда;
 v – скорость движения сосуда,

легло в основу рекомендаций и нормативных документов при проектировании канатных проводников. Однако для более детального изучения систем подъема с канатными проводниками в целях оптимизации зазоров между сосудом и крепью ствола, а также между отдельными сосудами необходимо исследовать движение подъемного сосуда как системы с шестью степенями свободы. Кроме того, важно изучать характер движения сосуда в случае отклонения проводников от вертикали, что наблюдается при искривлении ствола вследствие различных горно-геологических факторов для определения границ применимости канатных проводников.

Постановка задачи исследования динамики подъема при рассмотрении головных и тормозных канатов как континуальных систем приводит к анализу допустимых замедлений подъемных машин при переходных режимах эксплуатации и допустимых скоростей и замедлений сосудов, оборудованных парашютами с тормозными канатами типа ПТК.

Так, изучение зависимости усилия в канате при замедлении его верхнего конца в случае отказа от модели каната – невесомой пружины $P = G(1 - 2a_0/g)$ (G – вес сосуда; a_0 – замедление верхнего конца каната (на барабане); g – ускорение земного притяжения) позволило определить причину ложных срабатываний ловителей парашютов [2], а также разработать аппаратуру проверки ослабления натяжений каната над сосудом, которая успешно внедряется на шахтах.

В подъемных установках шахтных наклонных стволов часть каната находится в состоянии волочения по почве, часть каната – в свободном движении непрямолинейной формы с возможностью продольных и поперечных колебаний. При этом, если учесть провисание каната, можно изменить допустимые замедления машины.

Большой объем теоретических исследований динамики канатов и устройств от переподъема многоканатных подъемных установок поможет установить границы нагрузок, которые могут воспринимать существующие устройства, и определить целесообразность установки таких устройств [3].

Научные исследования и разработки способствовали созданию методик расчета армировки с учетом гибкости сосудов, нелинейности упругих роликовых направляющих, учету в первом приближении колеблющейся массы проводников и расстрелов. Они положены в основу создания типоразмерного ряда большегрузных скипов, алгоритма счетно-решающего устройства АРПТ в процессе его испытания на первой в Украине многоканатной машине с дисковыми тормозами, унификации технических решений по подъемным комплексам главных и вспомогательных стволов шахт, совершенствованию подъемных машин и др.

Исследования и разработки института [4], а также научные заделы В. И. Дворникова в течение многих лет обеспечивали и обеспечивают эффективность и безопасность эксплуатации шахтных подъемных установок.

ЛИТЕРАТУРА

1. Инструкция по эксплуатации стальных канатов в шахтных стволах / [сост.: В. И. Дворников, В. И. Пасюта, В. И. Бережинский и др.]. – М.: Недра, 1989. – 143 с.
2. Дворников В. И. Влияние распределенной массы головного каната на допустимые замедления подъемных установок / В. И. Дворников, В. И. Пасюта, М. А. Пасюта, О. Н. Митюхин // Стальные канаты: сб. науч. трудов. – Одесса: Астропринт, 2008. – С. 89–96.
3. Дворников В. И. О моделировании взаимодействия подъемных сосудов с канатно-винтовыми амортизаторами / В. И. Дворников, Б. А. Грядущий, В. И. Пасюта // Стальные канаты: сб. науч. трудов. – Одесса: Астропринт, 2003. – С. 31–38.
4. Бежок В. Р. Шахтный подъем / В. Р. Бежок, В. И. Дворников, И. Г. Манец, Б. А. Пристром; под общ. ред. Б. А. Грядущего, В. А. Корсун. – Донецк: Юго-Восток, ЛТД, 2007. – 622 с.