Записки Ленинградского орденов Ленина и Трудового Красного Знамени горного института им. Г. В. Плеханова, т. XXXIX, вып. 1, 1959 г.

КРИТИЧЕСКИЕ ЗАМЕЧАНИЯ ПО СТАТЬЕ Н. Н. СМИРНОВА «ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ПРОЕКТИРОВАНИЯ И РАСЧЕТА КЛЕТЕВЫХ КУЛАЧКОВЫХ ПАРАШЮТОВ»[1]

Б. Н. Любимов

Длительный опыт эксплуатации и неоднократные испытания различных конструкций эксцентриковых парашютов при стальных рельсовых проводниках показали ненадежность работы, особенно при высоких скоростях падения клети [1, 8].

Одной из причин неудовлетворительной работы эксцентриковых парашютов, по теоретическому исследованию В. А. Ауэрбаха [1], является их высокая чувствительность к колебаниям коэффициента трения.

Рядом последующих испытаний и теоретических работ [2, 3, 8] были обнаружены дополнительные существенные недостатки эксцентриковых парашютов и, хотя последние еще сохранились на некоторых шахтах, дальнейшее развитие техники в этой области пошло по иным направлениям. Результатом развития одного из таких направлений явился парашют ПТК, в котором процесс торможения клети силами трения о проводник вынесен в специальный амортизатор, установленный на копре [5, 6]. Эта конструкция наиболее надежна.

В рассматриваемой работе Н. Н. Смирнова вновь делается попытка найти теоретическим путем формы и размеры эксцентриков, которые должны обеспечить надежную работу парашюта. При этом автор не учел в должной мере упомянутого опыта и работы предшественников, что привело к ряду ошибочных заключений.

Рассмотрим в рамках статики, следуя В. А. Ауэрбаху, задачу о равновесии эксцентрика (рис. 1). Будем считать, что равновесие возможно и определим соотношение между действующими на эксцентрик усилиями.

Пренебрежем силами инерции и весом эксцентрика, а также силами трения в опорах вала (для сравнимости с результатами Н. Н. Смирнова, принявшего эти положения). Эксцентрик в этом случае находится под воздействием реакции проводника R_1, реакции своей опоры R_2 и момента m от приводной части парашюта. Других внешних сил и моментов нет. Сила R_1 может быть заменена своими составляющими F и N. Единственной внешней тормозящей силой для клети с парашютами является

[1] Зап. ЛГИ, 1957, т. XXXIV, вып. 1.

сила $4F$ (при двух проводниках). При этом совершенно очевидно из условий равновесия, что

$$F = T,$$

где T — вертикальная составляющая реакции R_2.

Для обеспечения стабильного плавного торможения необходимо, чтобы эксцентрики под действием возбуждающих моментов m сжали проводник и создали постоянное тормозное усилие F на каждом эксцентрике за счет сил трения при скольжении эксцентрика по проводнику.

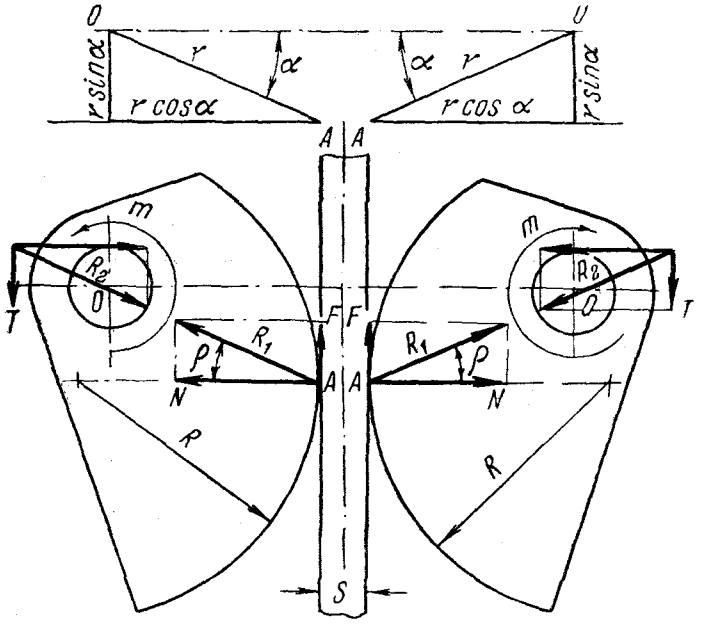


Рис. 1. Схема эксцентриковых парашютов

При проводнике постоянной толщины S эксцентрик относительно клети должен быть неподвижен. Следовательно, сумма всех моментов относительно оси вращения O должна равняться нулю

$$\sum M_0 = m + Fr\cos\alpha - Nr\sin\alpha = 0, \qquad (1)$$

где α — угол наклона.

Отсюда при $N = \frac{F}{\mu}$ получаем

$$F = \frac{m}{r\sin\alpha}\,\mu\,\frac{1}{1-\mu\operatorname{ctg}\alpha}, \qquad (2)$$

где μ — коэффициент трения.

Как показывает уравнение (2), в принципе можно осуществить желаемый режим торможения, поскольку при заданных любых значениях μ, m и r выбором соответствующего угла α можно получить любое значение для F в диапазоне от $\frac{m}{r}\mu$ до бесконечности. Действительно, при $\alpha = 90°$ $F = \frac{m}{r}\mu$; при $\alpha = \rho$ (ρ — угол трения) $F = \infty$.

Границы возможных значений для α $90° \geqslant \alpha \geqslant \rho$.

При $\mu \operatorname{ctg} \alpha \to 1$ или, что то же самое, при $\alpha \to \rho$ знаменатель весьма быстро убывает, а сила F весьма быстро растет. Критический момент соответствует $\alpha = \rho$. При этом $\mu \operatorname{ctg} \alpha = 1$, $F = \infty$. При $\alpha < \rho$, т. е. при $\mu \operatorname{ctg} \alpha > 1$, для силы F получим отрицательные значения.

По смыслу задачи и в этом случае будет также мертвый захват. Действительно, если для тела, лежащего на наклонной плоскости, скольжение начинается только при равенстве угла наклона α и угла трения, то ясно, что при $\alpha < \rho$ во всех случаях тело будет оставаться в покое, что аналогично мертвому захвату.

Очевидно, в этом случае предельные возможности сцепления двух тел не используются в полной мере. Аналогично обстоит дело и при эксцентриковом ловителе. Если конструктивно у эксцентрика уменьшать угол α, сделав его заведомо меньшим ρ, то фактический использованный коэффициент трения (рис. 1)

$$\mu' = \frac{F}{N} = \operatorname{tg} \alpha, \tag{3}$$

а

$$\mu' \operatorname{ctg} \alpha = \operatorname{tg} \alpha \operatorname{ctg} \alpha = 1 \text{ и } F = \infty.$$

Заметим, что формула (3) справедлива при мертвом захвате, начиная с момента, когда перемещение эксцентрика по проводнику прекратилось.

Проверим насколько чуствительным будет данный парашют к случайным изменениям коэффициента трения [3].

Дифференцируем уравнение (2) по μ

$$Ч = \frac{\partial F}{\partial \mu} = \frac{m}{r \sin \alpha} \frac{\operatorname{ctg} \alpha}{(1 - \mu \operatorname{ctg} \alpha)^2} \mu.$$

Учитывая выражение (2), можно написать

$$Ч = F \frac{1}{1 - \mu \operatorname{ctg} \alpha} \operatorname{ctg} \alpha. \tag{4}$$

Из формулы (4) следует, что при фиксированных значениях α и F, выбранных из условий осуществления заданного режима торможения, чувствительность ловителя при колебаниях μ будет тем выше, чем меньше знаменатель $1 - \mu \operatorname{ctg} \alpha$, т. е. чем выше коэффициент усиления за счет самоторможения

$$\frac{1}{1 - \mu \operatorname{ctg} \alpha}.$$

Таким образом, попытки создать компактные конструкции с относительно малыми пружинами привода и с большим усилением за счет самоторможения чреваты опасностью получения конструкции с высокой чувствительностью к колебаниям μ. Это обстоятельство показано В. А. Ауэрбахом на числовых примерах.

Сопоставление данных опыта, а также приведенных выше теоретических предпосылок с данными Н. Н. Смирнова позволяет установить следующие основные ошибочные положения, выводы и рекомендации критикуемой статьи.

1. Принятая исходная схема сил и вытекающие из нее зависимости основаны на предпосылке, что сила T заведомо не равна силе F, чего не может быть по условиям равновесия (см. рис. 1). Отсюда, как следствие, ошибочны все нумерованные формулы от (1) до (5).

2. Следствием из предыдущего явился ряд неверных выводов, утверждающих: а) что при $\operatorname{tg} \alpha > \mu$ возможность торможения клети

исключена, в то время как из приведенного расчета видно, что это условие необходимо для плавного торможения; б) что при $\operatorname{tg}\alpha = \mu$ клеть будет падать с постоянной скоростью, в то время как это условие определяет мертвый захват; в) что при $\operatorname{tg}\alpha < \mu$ торможение возможно и величина превышения тормозного усилия над величиной движущего зависит от соответствующего превышения величины коэффициента трения над тангенсом угла встречи; в действительности это условие предопределяет мертвый захват.

3. Ошибочно утверждение, что сила трения

$$F = ma,$$

где m — масса клети;
a — замедление клети.

Очевидно, сила трения

$$F = ma + G_{кл},$$

где $G_{кл}$ — вес клети с грузом.

4. Неверно утверждение, что работа сил трения должна быть равна кинетической энергии падающей клети

$$\frac{mv^2}{2} = Fl = mal,$$

где l — длина участка торможения.

Правильная формула, очевидно, будет

$$\frac{mv^2}{2} + G_{кл}l = Fl.$$

5. Как следствие из предыдущего, ошибочны формулы (11) и с (13) по (19).

6. Схемы торможения клети, приведенные на рис. 3 и 4 статьи Н. Н. Смирнова, показывают плавное торможение, в то время как они должны бы показывать мертвый захват.

7. Рекомендации выполнять кулак с профилем, очерченным по логарифмической спирали, гарантирующие постоянство угла встречи α при любом повороте кулака и почти постоянную величину силы прижатия к проводнику, изложены так, что у читателя может создаться ошибочное представление о новизне этой идеи и о том, что такой профиль радикально решает вопрос стабилизации работы парашюта. Однако радикального решения задачи создания надежно действующего парашюта логарифмическая спираль дать не может, так как угол встречи — лишь один из многих факторов, влияющих на процесс торможения. Из формулы (2) видно, например, что угол трения $\rho = \operatorname{arctg}\mu$ является также весьма существенным фактором, стабилизация которого пока решений не имеет.

8. Рассматривая на стр. 95—98 парашют Греффе, Н. Н. Смирнов в принципе неправильно трактует его работу. Кулак этого парашюта имеет профиль, очерченный кривой D и сопряженной с ней прямой $П$ (рис. 2). В процессе заворачивания кулака, когда он соприкасается с рельсом по дуге, необходимо, чтобы не было проскальзывания кулака по проводнику, т. е. имело бы место условие мертвого захвата $\operatorname{tg}\alpha \leqslant \mu$. Процесс этот подробно рассмотрен М. М. Милосердиным [4].

Парашют начинает работать как тормозная колодка и расчет его по предлагаемой Н. Н. Смирновым формуле

$$P = \frac{n}{m} \frac{T}{\operatorname{tg} \alpha}.$$

лишен смысла. Эта формула, к удивлению, не содержит даже коэффициента трения μ.

Необходимо коротко остановиться на опыте эксплуатации и испытаниях парашюта Греффе, поскольку он еще установлен на ряде шахт, а в работе Н. Н. Смирнова даны рекомендации по его дальнейшему усовершенствованию.

Этот парашют обладает некоторыми преимуществами перед старыми эксцентриковыми парашютами с неподвижной осью (см. рис. 1), так как он менее чувствителен к колебаниям коэффициента трения из-за отсутствия эффекта самоторможения. Кроме того здесь обеспечивается одинаковая нагрузка на два эксцентрика и конструкция может смещаться в поперечном направлении при искривленных проводниках. Утолщения проводника в нормальных границах не могут вызвать резкого увеличения тормозной силы или мертвого захвата. Эти обстоятельства, а также имевшиеся в литературе расчеты этой конструкции [8], из которых следовало, что парашют способен обеспечить стабильный расчетный режим торможения, послужили основанием для применения его на типовых клетях в 1920—1930 гг. Эксплуатация на ряде шахт показала, однако, что конструкция неработоспособна, и даже в легких условиях периодических испытаний на приемных площадках с нулевой скоростью были зафиксированы частые случаи отказов и неудержаний.

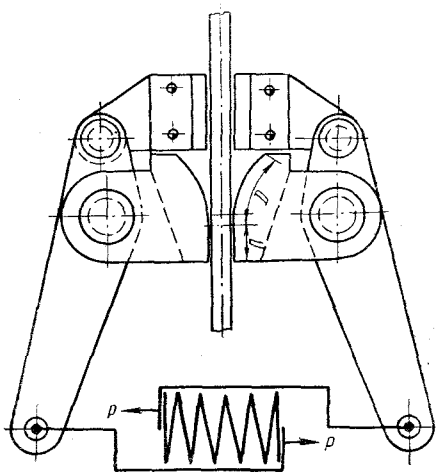


Рис. 2. Схема парашюта Греффе

Основные причины неработоспособности парашютов [7]: 1) неверные исходные расчетные данные, рекомендованные в литературе [8], касающиеся величин коэффициентов трения и резервов тормозной силы; 2) значительное трение в шарнирах механизма, не учтенное расчетом; 3) образование лысок из-за огромных удельных давлений и высоких температур, препятствующих заворачиванию кулака; 4) значительная упругая податливость механизма и люфты, препятствующие нормальному сжатию пружин; 5) значительное снижение коэффициента трения при высоких скоростях; 6) невозможность обеспечения требуемых режимов торможения при больших отношениях весов порожней и груженой клетей в условиях изменения толщины проводников и колебаний μ; 7) неодинаковый износ проводников по глубине шахты; 8) легкая возможность выхода клети из проводников.

Большая часть причин не может быть устранена простым выбором размеров и форм кулаков.

В дальнейшем проектные организации пробовали сконструировать парашют такой системы, приняв правильные расчетные данные и учтя опыт испытаний, однако положительного решения найдено не было.

В настоящее время парашют Греффе следует считать бесперспективным и нет оснований пытаться его улучшить средствами, рекомендованными Н. Н. Смирновым. Простой же эксцентриковый парашют давно устарел и абсолютно не пригоден для условий современного подъема.

ИСПОЛЬЗОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Ауэрбах В. А. Парашюты. С-Петербург, 1909.
2. Любимов Б. Н. Об основах механики шахтного парашюта, работающего трением по проводникам. «Уголь», 1951, № 9.
3. Любимов Б. Н. К вопросам теории рабочего процесса шахтного парашюта. «Уголь», 1954, № 7.
4. Милосердин М. М. О применении формул и выводов из работы инж. Б. Н. Любимова к расчету и анализу конкретных систем ловителей. «Уголь», 1954, № 7.
5. Павлов П. Ф., Павлова Л. В. Шахтные клетевые парашюты. «Топливное машиностроение», 1940, № 1.
6. Петраков А. И. Шахтный парашют ПТК. ЦИТИ МУП СССР, Моква, 1955.
7. Слободкин М. И., Буханцев Г. В. Механизмы и оборудование комплекса шахтного подъема. Харьков, 1935.
8. Уманский В. Б. О работе парашюта Греффе. «Горный журнал», 1946, № 11—12.

От редакции

Помещая в порядке обсуждения критические замечания по статье Н. Н. Смирнова, напечатанной в Записках Ленинградского горного института (1957, т. XXXIV, вып. 1), редакция согласна с тем, что в этой статье имеются некоторые ошибки, отмеченные в критических замечаниях, хотя с Б. Н. Любимовым нельзя согласиться во всем.

Утверждение, что эксцентриковые парашюты являются пережитком, неправильно. Такие парашюты имеют серьезные недостатки, но применяются и пока еще довольно широко. Поэтому исследование их работы и условий расчета может быть полезным, так же как и дискуссия по этому вопросу.

Учитывая изложенное, редакция и публикует критические замечания Б. Н. Любимова.