

М.М.Корнійчук, Г.Л.Лепетова // *Металлургическая и горнорудная промышленность: науч.-техн. и произв. журнал.* – Днепропетровск: Укрметаллургинформ «НТА». – 2014. – Вып. 4 (289). – С.71-73.

5. Бейгул О.А. Динамический аспект выбора параметров стабилизаторов поперечной устойчивости / О.А.Бейгул // *Проблеми обчислювальної механіки та міцності конструкцій.* – Дніпропетровськ: Навчальна книга. – 1998. – Т.4. – С.21-27.

Надійшла до редколегії 05.1.2016.

УДК 631.315.2:62;52;01.04

МАМАЕВ Л.М., к.т.н., профессор
БЕЙГУЛ О.А., д.т.н., профессор

Днепродзержинский государственный технический университет

ОПТИМИЗАЦИЯ КОНСТРУКЦИЙ КАБЕЛЕЙ УПРАВЛЕНИЯ С УЧЕТОМ ТРЕНИЯ

Введение. В кабелях управления дефекты накапливаются с увеличением количества циклов изгибных деформаций. Трудность измерения сил трения, необходимых для перемещения отдельных элементов кабеля относительно друг друга, заключается в том, что относительные перемещения элементов происходят во время изгиба кабеля. В этом случае, измеряя усилие трения, необходимо исключить изгиб кабеля, либо измерить усилие изгиба кабеля без относительного перемещения его элементов. Второе моделировать на лабораторных установках не представляется возможным. Наиболее надежным способом исследования влияния сил трения на величину изгибающего момента является измерение изгибающего момента параллельно с изменением сил трения в образцах, находящихся в одинаковых условиях.

Постановка задачи. На основе пропорциональной зависимости при моделировании условий подвижной эксплуатации выведен интересующий параметр, а именно, величина сил трения при изгибе кабеля. Исходя из этого, можно записать

$$F_{\text{ТР}} = \mu f_n,$$

где μ – коэффициент трения (для резины $\mu = 0,8$).

$$f_n = \frac{P_t}{\rho},$$

где P_t – растягивающее усилие в прядях,

ρ – радиус кривизны, определяемый как $\rho = \frac{r_{cp}}{\sin^2 \alpha}$, где r_{cp} – средний радиус наружного слоя прядей, α – угол свивки прядей в кабель.

Учитывая, что $P_t = EF \left(\frac{dU}{dx} \cos^2 \alpha + r_{cp} \frac{dV}{dx} \sin \alpha \cdot \cos \alpha \right)$, получаем

$$F_{\text{ТР}} = \mu \frac{EF \left(\frac{du}{dx} \sin^2 \alpha \cos^2 \alpha + r_{cp} \frac{dV}{dx} \sin^3 \alpha \cos \alpha \right) n}{r_{cp} \cdot \cos \alpha},$$

где n – число прядей наружного слоя.

Учитывая, что растягивающие усилия возникают только при изгибе кабеля, можно упростить формулу:

$$F_{\text{ТР}} = \mu \frac{P_t \cdot n}{r_{\text{ср}} \cdot \cos \alpha},$$

задавая растягивающие усилия P_t как величину, не создающую напряжений, равных началу пластической деформации, для меди по крайней мере не более 17 кг/см^2 .

В первом приближении, анализируя формулу, видим, что с уменьшением $r_{\text{ср}}$ увеличивается $F_{\text{ТР}}$. Это подтверждается экспериментальными данными. В средней части сечения кабеля усилие протягивания отдельных жил в 4-5 раз больше, чем в наружных повивах.

Результаты работы. Одним из важных факторов, влияющих на долговечность и наработку кабеля в условиях подвижной эксплуатации, является его эластичность. Действительно, чем меньше усилий прилагается для изгиба кабеля, тем меньше энергии уходит на преодоление сопротивлений изгибу отдельных жил, сил трения между отдельными его элементами, деформацию оболочки. Эластичный кабель будет служить дольше. Интерес представляет определение соотношения усилий изгиба, нужных для преодоления изгибных напряжений его элементов и сил трения. Отношение усилий для преодоления трения в сухих и смазанных образцах дает показательный коэффициент влияния смазки на усилие протягивания пряжи (жилы) без изгиба кабеля

$$\frac{F_{\text{ТР.сух}}}{F_{\text{ТР.смаз}}} = F'_{\text{ТР}}.$$

Отношение изгибающего момента сухого образца к моменту изгиба смазанного дает показательный коэффициент влияния смазки на изгиб кабеля, т.е. преодоление всех сил сопротивления изгибу

$$\frac{M_{\text{изг.сух}}}{M_{\text{изг.смаз}}} = M'_{\text{изг.}}$$

Естественно, для каждой конструкции кабеля влияние сил трения на изгиб будет определенным, однако с помощью отдельного определения сил трения и изгибающего момента можно косвенно определить соотношение сил, нужных для преодоления трения и изгибных напряжений. Зная его соотношение для различных конструкций кабелей, можно определить эффективность применения способа снижения коэффициента трения на долговечность кабеля. Заранее можно сказать, что применение смазок в кабелях, имеющих значительный диаметр и большие относительные перемещения элементов, будет более эффективным, чем в кабелях малого диаметра.

Некоторые выводы о величине сил трения можно сделать по осциллограммам изгибающих моментов образцов кабеля. Наличие гистерезиса при изгибе и выпрямлении кабеля говорит о наличии пластической деформации и о силах трения. При изгибе кабеля в одну сторону от нейтральной оси преодолеваются силы трения, силы, идущие на создание пластической деформации элементов (если она есть) и на создание упругой деформации. При изгибе кабеля в другую сторону силы упругой деформации помогают выровнять кабель. При незначительных амплитудах изгиба кабеля от нейтральной оси можно сказать, что в процессе участвуют только силы трения и силы для создания упругой деформации элементов кабеля.

Исходя из сказанного выше, были сконструированы, изготовлены и применены в исследованиях две экспериментальные установки.

Экспериментальная установка №1 предназначена для измерения сил перемещения элементов кабеля вдоль оси без его изгиба, измерения этих сил и зависимости от пути трения (количества циклов), скорости относительного перемещения элементов.

Она позволяет наблюдать значения этих усилий по стрелочному индикатору и ос-

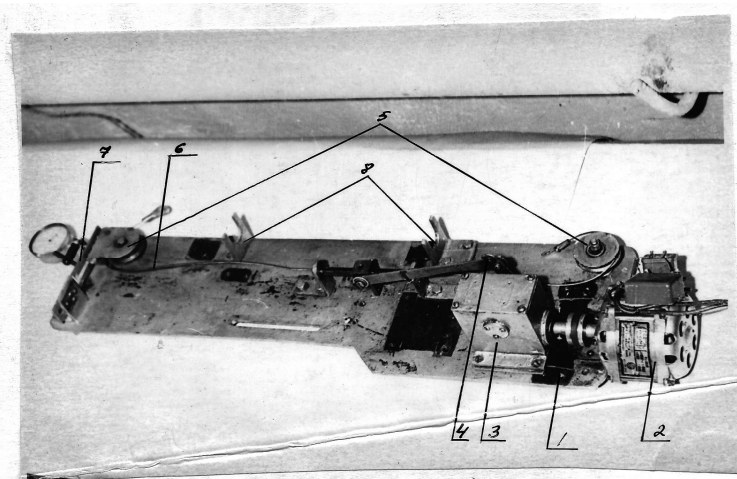


Рисунок 1 – Общий вид экспериментальной установки №1

ными грузами, подвешенными к оси крепления ролика. Возвратно-поступательное движение ползуна передается с помощью троса определенной жиле образца кабеля, закрепленного неподвижно.

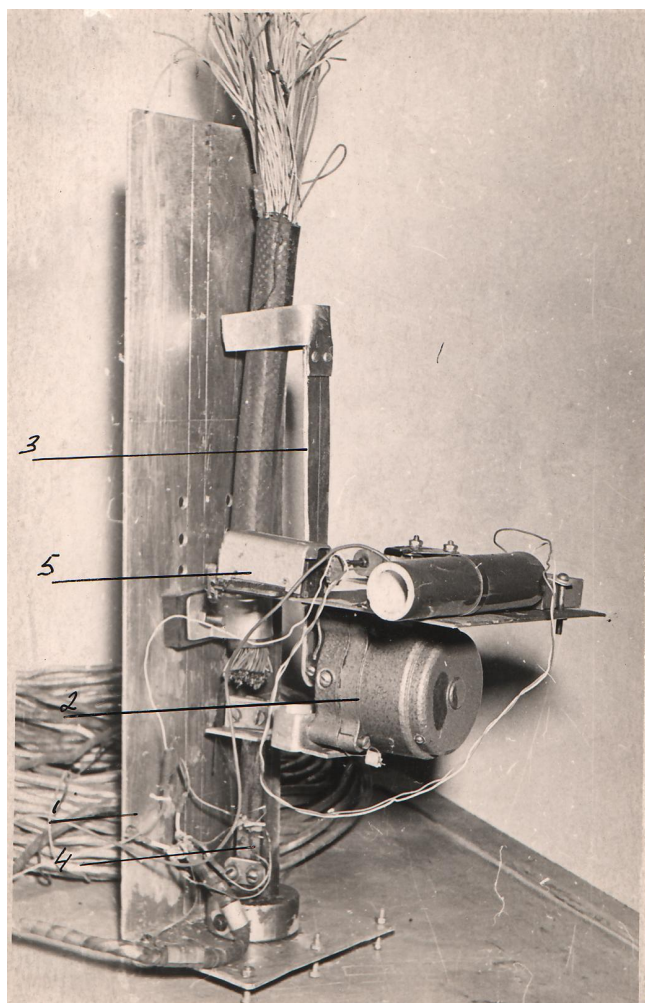


Рисунок 2 – Общий вид экспериментальной установки №2

циллографировать процесс. Общий вид установки показан на рис.1. Она состоит из: основания – 1, двигателя – 2, редуктора – 3, кривошипно-шатунного механизма – 4, двух роликов – 5, троса – 6, упругого элемента – 7, кронштейнов крепления образца – 8.

На поверхность упругого элемента наклеили тензодатчики, с помощью которых фиксировали процесс изменения усилий перемещения элементов кабеля. Градуировку чувствительного упругого элемента производили мер-

Экспериментальная установка № 2 предназначена для измерения изгибающего момента образцов кабелей в зависимости от количества циклов, угла отклонения образца от нейтральной оси. Она позволяет осциллографировать процесс изменения момента. Общий вид лабораторной установки показан на рис.2. Она состоит из: основания – 1, реверсивного двигателя – 2, рычага – 3, упругого элемента – 4, счетчика количества циклов – 5. Двигатель закреплен на упругой пластине, являющейся чувствительным элементом. При повороте рычага, соединенного с концом образца кабеля, изгибающий момент вызывает изгиб кабеля (например, по часовой стрелке) и изгиб упругой пластины против часовой стрелки. Градуировку производили динамометром. Установка позволяет создавать изгиб кабеля с одинаковыми и равными амплитудами отклонения от нейтральной оси, что достигается определенной регулировкой конечных выключателей. С целью определения зависимости сил трения от количества циклов перемещений элементов кабеля были проде-

ланы следующие эксперименты. На установке размещали образец кабеля КУПР 108х0,5 и через определенное количество циклов (50-100) фиксировали усилие протяжки жилы кабеля. Как правило, первый цикл сопровождался значительным усилием для протяжки жилы, некоторой флуктуацией изменения усилий на пути одной амплитуды. Затем последующие циклы характеризуются резким снижением усилий и на протяжении 1000-3000 циклов наблюдали рост усилий протяжки. В некоторых случаях наступала вибрация, и на поверхности жилы появлялся белый налет продуктов износа изоляции. При дальнейшем продолжении эксперимента в пределах 3000-6000 циклов наблюдали снижение усилий перемещения жилы, как правило, вибрация отсутствовала. На основании результатов этих экспериментов можно сделать вывод, что перемещения элементов кабеля зависят от количества циклов. Наблюдаемый рост усилий объясняется образованием задиров на поверхности трения, что вызывает вибрацию и усиленный износ изоляции жилы, а дальнейшее снижение усилий – выносом продуктов износа на зоны трения и снижением удельных давлений, связанных с увеличением поверхности трения и уменьшением усилий контакта жил между собой.

Проведены исследования зависимости сил трения от скорости перемещения элементов кабеля. С целью определения этой зависимости на установке №1 установили образец кабеля КУПР 108х0,5 и, изменяя скорость в пределах от 1 до 150 циклов в минуту (двойных ходов в минуту), фиксировали процесс изменения усилия протяжки одной жилы кабеля. В задаваемых пределах скорости характер и величина усилий не изменялись. При длительной работе на повышенных скоростях в результате выделения тепла повышается температура образцов, что в свою очередь снижает усилие протяжки жилы. Так как это явление не характерно для работы кабелей в реальных условиях, то исследование влияния скорости перемещения элементов кабеля в заданных пределах считаем достаточным. Попутно выяснилось, что температура образца влияет на усилие протяжки в значительной степени, что может составлять содержание специальных исследований, так как в реальных условиях эксплуатации кабель может находиться при температурах для марок КУПР и КУПР-Пн от +65°C и до -50°C.

Исследовано влияние сил трения на эластичность (усилие изгиба) кабеля. На установке №2 образец типа КУПР 108х0,5 длиной 220 мм с заземленным концом подвергали изгибу с амплитудой ± 50 мм от нейтральной оси. Одновременно осциллографировали изменение усилий изгиба кабеля. После 300 циклов ввели смазку „Индустриальное-50” и продолжали испытания. При этом влияние смазки проявлялось в меньшей степени, чем при продольном перемещении элементов. Если в первом случае усилие перемещения одной жилы со смазкой уменьшилось в 3 раза по сравнению с сухим образцом, то усилие изгиба уменьшилось. Это позволяет судить о том, что снижение коэффициента трения при работе кабеля численно не равно снижению усилий изгиба. Расчеты с использованием экспериментальных данных показали, что 30% полного изгибающего момента приходится на преодоление сил трения, а остальная часть – на создание изгибных напряжений в элементах кабеля. Установлено, что силы трения в значительной степени влияют на величину общих напряжений в элементах кабеля.

Выводы. 1. Скорость перемещения элементов кабеля в пределах от 1 до 300 мм в секунду не влияет на величину сил трения между элементами кабеля. Значительные колебания усилий (в 2 раза) наблюдаются при покое и движении жилы на смазанных образцах. Так как элементы кабеля подвержены знакопеременным нагрузкам, то имеет смысл продолжить эксперименты в области граничных усилий покоя и движения при малых скоростях.

2. Использование смазки „Индустриальное-50” снижает усилие относительного перемещения жилы и элементов конструкции кабеля в 2-4 раза.

3. Доля усилия, необходимая для преодоления сил трения при изгибе кабеля, составляет 30-50%. Поэтому снижение коэффициента трения приводит к снижению усилия изгиба.

4. Величина сил трення залежить від кількості циклів (пути трення). Так в експериментах з образцями кабеля КУПР 108х0,5 максимум визначено в межах 1500-3500 циклів, що складає шлях трення 13-30 метрів.

5. Сили трення між жилами по довжинах кабеля розподілені нерівномірно. Максимум відповідає 1-му витку і знаходиться в межах 90-100 Н, мінімум – 7-му в межах 22-23 Н.

6. При русі жили в початковому циклі спостерігаються значущі коливання сили натягу в межах $\pm 30\%$ від середнього значення.

Поступила в редакцію 14.06.2016.

УДК 621.867.427

ЧАСОВ Д.П., к.т.н., доцент

Дніпродзержинський державний технічний університет

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ДОДАТКОВИХ ЛОПАТЕЙ НА ПРОДУКТИВНІСТЬ ШНЕКОВОГО КОНВЕЄРА

Вступ. Транспорт на машинобудівних підприємствах є суттєвим показником темпів розвитку сучасної промисловості. Для транспортування відходів виробництва на невеликі відстані найбільш доцільними є шнекові конвеєри. У вітчизняних та світових виданнях в істотному різноманітті представлені роботи по дослідженню конструкцій, пристосувань та конструктивних елементів гвинтових конвеєрів, спрямованих на підвищення продуктивності процесів переміщення матеріалів [1-8].

У зарубіжних та вітчизняних наукових працях, присвячених даній тематиці, приділяється достатньо уваги, зважаючи на істотну актуальність застосування гвинтових конвеєрів, оскільки їх конструкція істотно простіша в порівнянні зі скребковими конвеєрами, які займають значні позиції у процесі транспортування стружки. У більшості випадків питання підвищення продуктивності конвеєра вирішується через рух матеріалу всередині жолоба конвеєра, який розглядають як рух матеріальної точки вздовж осі конвеєра по гвинтовій поверхні спіралі шнека.

Значна увага в питанні підвищення продуктивності гвинтового конвеєра приділяється куту нахилу спіралі шнека, механізму взаємодії матеріалу, що транспортується, зі спіраллю шнека, оптимальним значенням кута підйому спіралі, установленню ребер на внутрішній поверхні жолоба, механізму взаємодії транспортуваного матеріалу, що транспортується, з кожухом, критичній частоті обертання шнека, зміні кінематики руху в обертовому і нерухомому кожухах.

З проведеного аналізу літературних джерел встановлено, що різноманіття конструкцій шнекових транспортуючих механізмів, а також їх основних геометричних і конструктивних параметрів обумовлені фізико-механічними властивостями матеріалів, що транспортуються, і може бути описано різними математичними залежностями. Однак, практично відсутні публікації з вивчення впливу конструкції шнека з встановленими і закріпленими лопатями на самому тілі пера шнека горизонтального шнекового конвеєра на процес транспортування матеріалу.

Постановка задачі. Всі вказані вище питання у значній мірі відомі і мають наукове підґрунтя. Однак на даний момент існує недостатня кількість методик проведення експериментальних досліджень впливу конструктивних елементів на продуктивність шнекового конвеєра. Тож метою роботи є висвітлення процесу експериментального дослідження впливу додаткових лопатей на продуктивність шнекового конвеєра.

Результати роботи. В якості демонстраційно-експериментального обладнання для процесу експериментального дослідження впливу додаткових лопатей на продук-