

УДК 692.67

А. О. ШИМАНОВСКИЙ¹, П. П. ЧИРТА^{1,2}, Д. В. ДЬЯКОВ^{1,2}

¹Белорусский государственный университет транспорта, Гомель, Беларусь

²ЗАО «Солигорский институт проблем ресурсосбережения с Опытным производством», Солигорск, Беларусь

МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭЛЕМЕНТОВ КОНСТРУКЦИЙ ПРИВОДА ПОРУЧНЯ ЭСКАЛАТОРА МЕТРОПОЛИТЕНА

Для оценки динамических характеристик цепной передачи, используемой в приводе поручня эскалатора метрополитена, разработана ее модель в среде программы MSC.ADAMS. Приведены результаты моделирования для случаев разных расположений натяжных звездочек при нескольких силах предварительного натяжения цепи и угловых скоростях вращения ведущего колеса.

Ключевые слова: цепная передача, привод поручня, эскалатор, компьютерное моделирование.

Эскалатор – это подъемно-транспортное устройство для транспортирования людей с одного уровня на другой, имеющее замкнутый контур лестничного полотна [1]. Движущим элементом эскалатора являются ступени, соединенные с замкнутой цепью, которую приводит в движение электродвигатель с помощью редуктора. В процессе работы элементы конструкции эскалатора метрополитена испытывают значительные динамические нагрузки, поэтому при их проектировании следует предусматривать высокий уровень надежности, чтобы обеспечить безопасность пассажиров при требуемой производительности.

В ЗАО «Солигорский институт проблем ресурсосбережения с Опытным производством» (ЗАО «СИПР с ОП») организовано производство эскалаторов метрополитенов, которые в настоящее время эксплуатируются не только в Беларуси, но и за ее пределами. В процессе создания оригинальных конструкций эскалаторов нашел применение ряд новшеств, защищенных патентами. Например, предложена конструкция приводной станции эскалатора, дополнительно оснащенной горизонтальной и вертикальной рамами коробчатой формы, на которых размещены детали, обеспечивающие требуемую соосность элементов привода и направляющих приводной станции эскалатора [2]. Это позволило повысить надежность приводной станции и обеспечить низкую трудоемкость ее монтажа, наладки и ремонта. Также предложен ряд новых технических решений по совершенствованию ходового полотна и ступеней эскалатора [3–5], обладающих повышенной надежностью по сравнению с существующими конструкциями. Названные объекты новой техники в настоящее время серийно изготавливаются в ЗАО «СИПР с ОП» и используются в метрополитенах.

Помимо новых деталей и узлов эскалатора разработано новое оборудование, предназначенное для их динамических испытаний. Например, изготовлен и успешно эксплуатируется стенд для динамических испытаний ступенной эскалатора [6].

Современный уровень развития техники требует создания машин, обеспечивающих высокую производительность и безопасность эксплуатации, но при этом отличающихся экономичностью по сравнению с традиционно используемыми [7]. Использование имитационных моделей позволяет уже на стадии разработки добиться получения достаточно эффективной конструкции, которая потребует относительно небольших затрат на стадии доводки [8]. Целью представленной работы, которая развивает исследования [9, 10], является создание моделей узлов эскалатора, позволяющих оценить динамические эффекты, возникающие при различных режимах работы.

При анализе динамической нагруженности эскалатора рекомендуется рассматривать несколько режимов его работы [10]:

- линейная скорость движения ступеней – низкая и высокая;
- направление перемещения пассажиров – вверх и вниз;
- пустой и полностью загруженный эскалатор;
- предварительное натяжение цепи – низкое и высокое.

Даже при учете только двух возможных состояний каждого из четырех названных режимов следует рассмотреть 16 возможных вариантов работы конструкции, что требует значительных затрат времени.

Для оценки влияния режимов работы привода поручня эскалатора на силы в элементах цепной передачи создана ее модель в среде программы MSC.ADAMS [11]. Для этого использован специальный модуль, предназначенный для анализа передач с гибкой связью между звеньями. В качестве исходных

данных использованы массовые и инерционные характеристики деталей привода, которые были получены на основе моделей САПР (рисунок 1). Расчетная модель в MSC.ADAMS предполагает, что длины звеньев постоянны. В то же время при больших длинах цепи ее деформирование приводит к некоторому отличию расчетных значений от измеренных на натуральных конструкциях. Как отмечается в работе [12], разница между теоретическими и экспериментально определенными значениями скорости при таком допущении не превышает 7%.

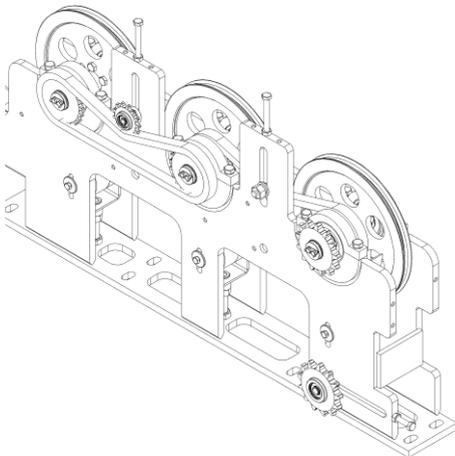


Рисунок 1 – Привод поручня эскалатора

При построении модели в среде MSC.ADAMS принято, что оси вращения ведущего и ведомого валов располагаются на расстоянии 350 мм друг от друга. Рассматривалось различное расположение натяжных звездочек по отношению к цепи, как это показано на рисунке 2.

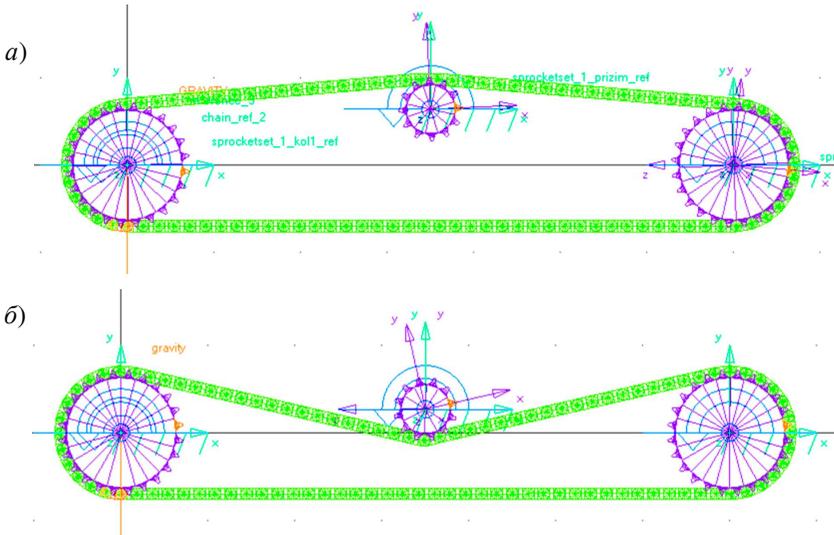


Рисунок 2 – Модели в среде MSC.ADAMS для внутреннего (а) и внешнего (б) расположения натяжных звездочек

На рисунке 3 представлены графики изменения силы натяжения цепи от времени для случая, соответствующего внутреннему расположению натяжной звездочки, при котором ведущий вал (расположен слева на рисунках 2, а и 2, б) вращается с различными постоянными угловыми скоростями. Из рисунка 2 видно, что при начале вращения наблюдается резкое увеличение силы натяжения, причем ее максимальное значение растет при увеличении угловой скорости ведущего вала. В дальнейшем происходят колебания силы относительно среднего значения, которое во всех рассмотренных случаях близко к 5000 Н. Отметим, что период колебаний пропорционально уменьшается по мере увеличения угловой скорости, то есть здесь речь идет о вынужденных колебаниях. Амплитуда таких колебаний во всех рассмотренных случаях приблизительно одинакова.

Расчеты показали, что при одинаковых углах наклона участков цепи, связанных с натяжной звездочкой, значения для схем по рисункам 2, а и 2, б отличаются незначительно.

С другой стороны, увеличение силы предварительного натяжения цепи может приводить к ее разрыву, что соответствует графику на рисунке 4.

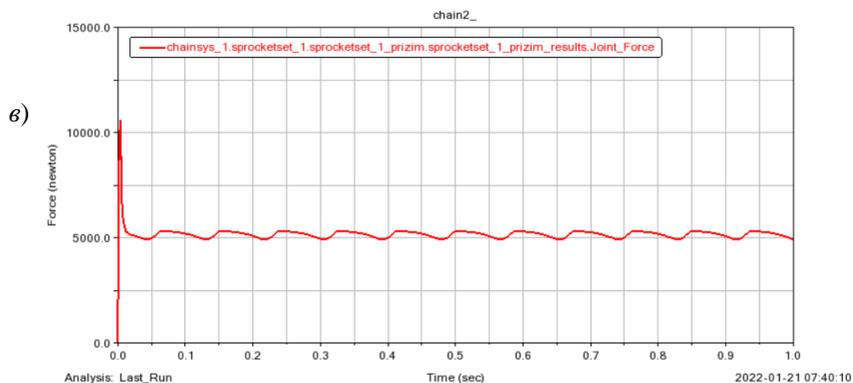
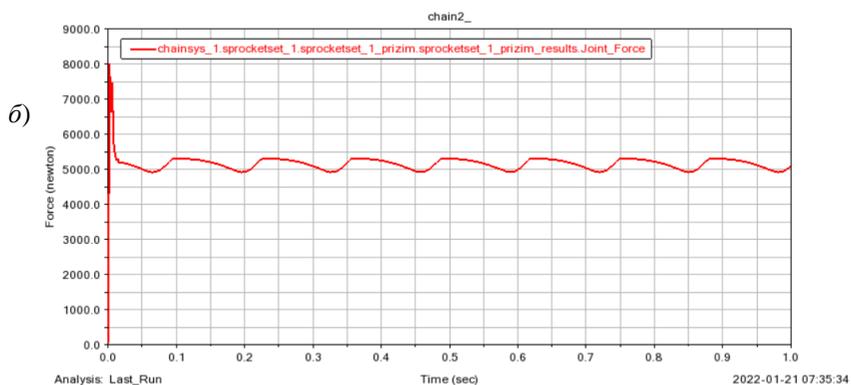
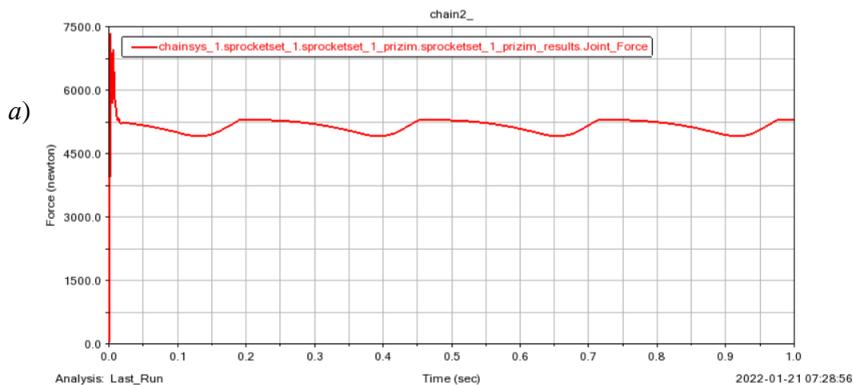


Рисунок 3 – Графики изменения силы натяжения цепи от времени для случаев вращения ведущего вала с угловыми скоростями, рад/с:
 $a - 1$; $b - 2$; $v - 3$

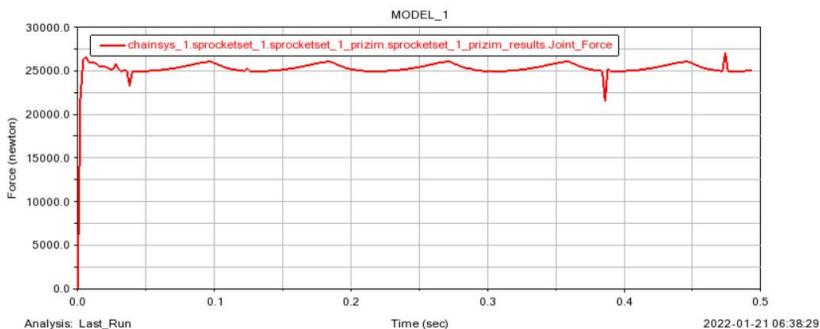


Рисунок 4 – Зависимость силы натяжения цепи от времени при скорости ведущего колеса 3 рад/с и силе предварительного натяжения 1500 Н

Представленный график показывает, что увеличение силы предварительного натяжения приводит к тому, что в начальный период работы механизма кратковременный скачок значения рассчитываемой силы отсутствует, однако в процессе колебаний наблюдаются кратковременные всплески уменьшения или роста сил, которые свидетельствуют о появлении ударов. Они, в конечном счете, и становятся причиной обрыва цепи через 0,5 с после начала движения.

Таким образом, проведенное исследование показывает, что работа привода поручня эскалатора метрополитена сопровождается появлением значительных динамических нагрузок, проявляющихся в начальный период работы привода при малых силах предварительного натяжения цепи и в течение работы в установившемся режиме в случае значительных сил предварительного натяжения. Для более точного анализа протекающих процессов требуется разработка модели зубчатого привода во взаимодействии с иными движущимися элементами конструкции.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Кожушко, Г. Г. Эскалаторы. Пассажирские конвейеры / Г. Г. Кожушко. – Екатеринбург : Изд-во АМБ, 2016. – 140 с.

2 Приводная станция эскалатора : пат. 21479 Респ. Беларусь : МПК (2006.01): В 66В 23/02 / Д. В. Дьяков, А. А. Шульган, П. П. Чирта. – а 20150007 ; заявл. 12.01.15 ; опубл. 30.12.17. – 5 с.

3 Входная площадка эскалатора : пат. 21382 Респ. Беларусь : МПК (2006.01): В 66В 29/08, В 66В 29/02 / Д. В. Дьяков, А. А. Шульган, Ю. П. Заяц. – а 20140719 ; заявл. 20.12.14; опубл. 30.10.17. – 5 с.

4 Ходовое полотно пассажирского конвейера : пат. 22598 Респ. Беларусь : МПК (2006.01): В 66В 21/10, В 66В 23/00 / Д. В. Дьяков, П. П. Чирта, П. В. Куропатин. – а 20170405 ; заявл. 30.10.17; опубл. 30.06.19. – 6 с.

5 Ступень эскалатора : пат. 21480 Респ. Беларусь : МПК (2006.01): В 66В 23/12 / Д. В. Дьяков, А. А. Шульган. – а 20150063 ; заявл. 02.02.15; опубл. 30.12.17. – 3 с.

6 Стенд для динамических испытаний ступеней эскалатора : пат. 11119 Респ. Беларусь : МПК (2006.01): G 01M 7/00 / В. Я. Щерба [и др.]. – и 20160007 ; заявл. 15.01.16; опубл. 30.08.16. – 5 с.

7 **Горбатенко, Ю. П.** Оцінювання пружних властивостей тягових ланцюгів у задачах динаміки транспортувальних машин / Ю. П. Горбатенко, О. В. Загора // Наукові вісті НТУУ «КПІ». – 2015. – № 2 (100). – С. 49–55.

8 **Kwon, Y.-S.** A Multibody Dynamic Model for Escalator Handrail Systems and its Application to Dynamic Characteristics / Y.-S. Kwon, G. S. Copeland, N.-G. Park // *Multibody System Dynamics*. – 2005. – Vol. 13, is. 2. – P. 253–266.

9 **Шимановский, А. О.** Совершенствование элементов конструкций эскалаторов метрополитена / А. О. Шимановский, Д. В. Дьяков, П. П. Чирта // Проблемы безопасности на транспорте : материалы IX Междунар. науч.-практ. конф. – Гомель : БелГУТ, 2019. – С. 75–76.

10 **Шимановский, А. О.** Разработка моделей проектируемых конструкций приводов эскалаторов метрополитена / А. О. Шимановский, Д. В. Дьяков, П. П. Чирта // Проблемы безопасности на транспорте : материалы XI Междунар. науч.-практ. конф. – Гомель : БелГУТ, 2021. – Ч. 2. – С. 48–30.

11 **Шимановский, А. О.** Компьютерное моделирование динамики взаимодействия колесных пар вагонов с тормозными башмаками / А. О. Шимановский, М. Г. Кузнецова, О. В. Демьянчук // *Механика машин, механизмов и материалов*. – 2021. – № 4 (57) – С. 48–55.

12 **Cano-Moreno, J. D.** Experimental validation of an escalator simulation model // J. D. Cano-Moreno, J. M. Cabanellas-Becerra // *Latin American Applied Research*. – 2019. – Vol. 49, no. 3. – P. 187–192.

A. O. SHIMANOVSKY¹, P. P. CHIRTA^{1,2}, D. U. DZYAKAU^{1,2}

¹Belarusian State University of Transport, Gomel, Belarus

²JSC "Soligorsk Institute of Resources Saving Problems with Pilot Production", Soligorsk, Belarus

SIMULATION OF THE METRO ESCALATOR HANDLE DRIVE STRUCTURAL ELEMENTS

To evaluate the dynamic characteristics of the chain transmission used in the subway escalator handrail drive, its model was developed in the MSC.ADAMS software environment. The simulation results for cases of different arrangements of tension sprockets with several chain pretensioning forces and drive wheel angular rotation speeds are presented.

Keywords: chain transmission, handrail drive, escalator, computer simulation.

Получено 31.10.2021