

наследственно-упругих тел, разработана математическая модель сопротивления движению ленты с грузом по роликоопорам ленточного конвейера, обусловленного изгибом ленты.

Коэффициент сопротивления движению ленты с грузом по роликоопорам ленточного конвейера, обусловленный изгибом ленты, с увеличением натяжения ленты уменьшается, а с увеличением жёсткости, скорости и вязкости (времени релаксации) ленты и груза увеличивается. При этом коэффициент сопротивления не зависит от погонной нагрузки и мало зависит от расстояния между роликоопорами.

Полученные результаты теоретических исследований достаточно хорошо совпадают с результатами экспериментальных исследований, приведенными в работах [1, 12].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Шахмейстер Л.Г. Теория и расчёт ленточных конвейеров / Л.Г. Шахмейстер, В.Г. Дмитриев. – М.: Машиностроение, 1987. – 336 с.
2. Смирнов В.К. Сопротивление движению ленты от шевеления материала при проходе роликов / В.К. Смирнов, И.А. Шпакунов // Горнорудные машины и автоматика: Сб. тр. – М.: Недра, 1966. – Вып. 2. – С. 228-235.
3. Троцило В.С. Соотношения между составляющими сопротивления движению ленте на роликоопоре / В.С. Троцило, А.Н. Бондаренко // Сборник науч. тр. Национального горного университета. – Днепропетровск, 2002. – № 32. – С. 123-128.
4. Кирия Р.В. Определение коэффициента сопротивления движению ленты по роликоопорам мощного конвейера / Р.В. Кирия, В.Ю. Максютенко, Т.Ф. Мищенко, Н.Г. Ларионов // Геотехническая механика: Межвед. сб. научн. тр. / ИГТМ НАНУ. – Днепропетровск, 2010. – Вып. 86. – С. 248-254.
5. Ишлинский А.Ю. Прикладные задачи механики. Книга 1. Механика вязкопластических и не вполне упругих тел / А.Ю. Ишлинский. – М.: Наука, 1986. – 360 с.
6. Галин Л.А. Контактные задачи теории упругости и вязкоупругости / Л.А. Галин. – М.: Наука, 1980. – 310 с.
7. Мур Д. Трение и смазка эластомеров / Д. Мур. – М.: Химия, 1977. – 264 с.
8. Работнов Ю.Н. Элементы наследственной механики твердых тел / Ю.Н. Работнов. – М.: Наука, 1977. – 383 с.
9. Джонсон К. Механика контактного взаимодействия / К. Джонсон. – М.: Мир, 1989. – 510 с.
10. Малинин Н.Н. Прикладная теория пластичности и ползучести / Н.Н. Малинин. – М.: Машиностроение, 1975. – 400 с.
11. Тимошенко С.П. Пластины и оболочки / С.П. Тимошенко, С. Войковский-Кригер. – М.: Физ.-мат. литература, 1963. – 635 с.
12. Харченко В.И. Рационализация геометрических параметров линейных роликоопор ленточных конвейеров общего назначения на стадии их конструирования / Дис. ... канд. техн. наук: 05.05.05 / В.И. Харченко. – Москва, 1994. – 248 с.

УДК 539.3

Решевская Е.С.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ КОНТАКТНОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ЭЛЕМЕНТОВ КОНСТРУКЦИЙ СЛОЖНОЙ ГЕОМЕТРИЧЕСКОЙ ФОРМЫ

У статті проведено аналіз граничних умов в зоні контакту еластомерних елементів з іншими деталями конструкцій, на основі запропонованого ітераційного процесу уточнення контактної площадки проведено розрахунок нормальних напружень в зоні контакту для еластомерних віброізоляторів.

INVESTIGATION OF CONTACT INTERACTION PARAMETERS OF STRUCTURAL ELEMENTS OF COMPLEX GEOMETRIC SHAPE

The boundary conditions in the contact zone of elastomeric elements with other parts of constructions are analyzed. Calculation of normal stresses is made for elastomeric vibroinsulators using the proposed iterative process of refinement of the contact area in the contact zone.

1 Введение

В промышленности, строительстве, транспорте, сельском хозяйстве, авиационной технике и других областях народного хозяйства широко используются кон-

струкции с эластомерными элементами в качестве основных составляющих. Их применение позволяет повышать надёжность, производительность, долговечность, износоустойчивость машин, снижать материалоёмкость и себестоимость.

Широкое применение эластомеров (резин, каучукоподобных материалов) ставит задачу рационального проектирования конструкций, изготовленных на их основе, с учётом эффективности и высокого качества работы. Кроме того, перспективность использования их в дальнейшем основана, прежде всего, на уже отмеченных ценных качествах резины как конструкционного материала.

Для более детального изучения свойств этих материалов в эксплуатационных условиях с целью повышения надёжности и экономичности работы высокоэластичных конструкций необходим достоверный расчёт.

При проектировании и разработке эластомерных элементов конструкций одним из основных видов расчёта является определение параметров напряжённо-деформированного состояния. В условиях реальной эксплуатации эластомерные элементы вступают в контактное взаимодействие с другими деталями конструкций, как правило, металлическими.

Эластомерный материал имеет ряд уникальных свойств – высокую механическую прочность, эластичность и слабую сжимаемость. В связи с этим для адекватного описания поведения конструкций из эластомеров в условиях эксплуатации нужны специальные приёмы и методы решения поставленных задач.

Вследствие значительной сложности данных задач аналитические методы дают решение лишь для конструкций, вступающих в контактное взаимодействие, относительно простой формы. Расчёт численными методами позволяет получать решение задачи контакта эластомерных элементов сложной геометрической формы с другими деталями конструкций. Наиболее широко распространённым среди численных методов является метод конечных элементов.

Анализ контактного взаимодействия эластомерных элементов конструкций в условиях эксплуатации показывает, что данные элементы взаимодействуют с деталями, модуль упругости которых значительно превышает модуль упругости эластомеров. Поэтому эти детали конструкций предполагаются абсолютно жёсткими и задаются поверхностями, ограничивающими резиновые элементы.

Применение метода конечных элементов приводит к вариационной формулировке контактной задачи:

$$\int_V \sigma_{ij} (\varepsilon_{ij}^* - \varepsilon_{ij}) dV - \int_S \sigma_{ij} \nu_j (u_i^* - u_i) dS = 0, \quad (1)$$

где u_i – компоненты действительных перемещений;
 u_i^* – компоненты виртуальных перемещений;
 ε_{ij} – тензор действительных деформаций;
 ε_{ij}^* – тензор виртуальных деформаций;
 σ_{ij} – тензор напряжений.

$$\int_V \sigma_{ij} (\varepsilon_{ij}^* - \varepsilon_{ij}) dV - \int_{S_\sigma} P_i (u_i^* - u_i) dS \geq 0, \quad (2)$$

где S_σ – зона контакта;

$$P_i = \sigma_{ij} \nu_j .$$

При введении граничных условий в зоне контакта от вариационного равенства (1) приходим к вариационному неравенству (2).

2 Итерационный процесс уточнения контактной площадки

Вариационное неравенство краевой задачи заменяется последовательностью вариационных равенств. Краевые условия задаются итерационно путём введения вектора дополнительной нагрузки.

Схема решения контактной задачи сводится к последовательному выполнению следующих шагов:

1. По заданным узловым значениям координат $\{x_i\}$ и упругим постоянным строится матрица жёсткости $[K]$.

2. Задаётся вектор узловых нагрузок

$$P_0 = P, \quad (3)$$

3. Находится вектор узловых перемещений из решения СЛАУ

$$[K]\{u_i\} = \{P_i\} \quad (4)$$

где $i = 0, 1, 2, \dots$

4. Определяются узловые точки, проникшие в металлический элемент конструкции (условие непроникновения). Если таких точек нет, происходит переход на пункт 9, в противном случае $i = i + 1$.

5. Для проникших узловых точек находится вектор дополнительных перемещений, который бы возвращал проникшие узловые точки на границу металлического элемента конструкции

(рис. 1):

$$\Delta v_i \quad (i = 0, 1, 2, 3 \dots). \quad (5)$$

6. Из соотношения

$$[\Delta P_i] = [K]\{\Delta v_i\} \quad (6)$$

находится вектор дополнительной нагрузки.

7. Пересчитывается вектор нагрузок

$$P_i = P_{i-1} + \Delta P_i. \quad (7)$$

8. Происходит переход на шаг 3.

9. Для узловых точек, вступивших в контакт, проверяется условие

$$\sigma_v < 0. \quad (8)$$

Если это условие не выполнено для каких-либо узловых точек находящихся в контакте, для этих точек пересчитывается вектор нагрузок, снимается дополнительная нагрузка, приложенная к узлу, и происходит переход на шаг 3.

В противном случае выполняется следующий шаг.

10. На основе полученного приближенного вектора перемещений $\{u_i\}$ определяется вектор узловых невязок $\{R_i\}$, численной характеристикой которого является сумма квадратов компонент узловых невязок $\{R^*\}$. Данная величина позволяет судить о сходимости получаемых решений.

11. Оценка вектора узловых невязок $\{R_i\}$ происходит следующим образом: принимается то значение вектора перемещений $\{u_i\}$, при котором выполняется условие

$$(R_i)^2 < (P_i)^2 \varepsilon, \quad \text{где } (10^{-4} \leq \varepsilon \leq 10^{-2}). \quad (9)$$

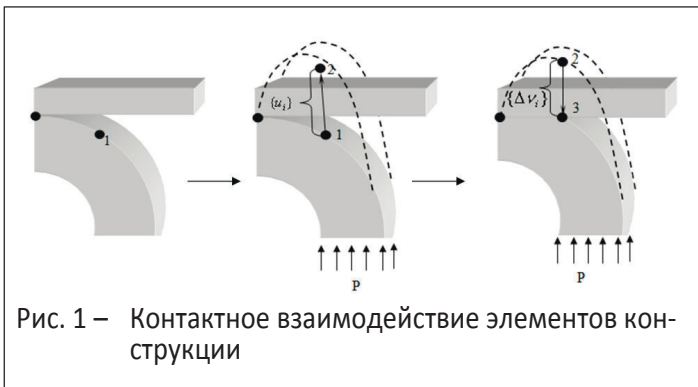


Рис. 1 – Контактное взаимодействие элементов конструкции

12. При невыполнении условия (9) вектор $\{R_i\}$ прибавляется к вектору нагрузок и подставляется в правую часть системы линейных уравнений (4), т.е. происходит переход к пункту 3. В противном случае происходит переход к следующему пункту.

13. Итерационный процесс заканчивается при выполнении условия (2) для текущих значений величины вектора невязок и по вектору $\{u_i\}$ находятся компоненты тензора деформаций $\{\varepsilon_i\}$ и вектора напряжений $\{\sigma_{ij}\}$.

3 Численный расчёт контактных напряжений

Элементы со сложной формой свободной поверхности типа ВР-203, 204 являются конструктивным развитием полых цилиндров. С целью повышения устойчивости последних был разработан параметрический ряд таких виброизоляторов. Эластомерные виброизоляторы ВР-203,204 (рис. 2) используется для виброизоляции и защиты от ударных воздействий вентиляторов, работающих во взрывоопасных условиях. Особенностью таких элементов является малая поперечная жёсткость, что весьма существенно при бесфундаментной установке оборудования.

Рассмотрим эластомерные виброизоляторы типа ВР-203, ВР-204. Марка резины – 2959, модуль сдвига $G_0 = 1,76 \times 10^6$ Па, $\nu = 0,4999$. Схема и размеры виброизоляторов представлены на рис. 3 и в табл. 1.

Контактная область при нагружении данных виброизоляторов имеет форму кольца, внешний радиус которой увеличивается с ростом прикладываемой нагрузки. При исследовании напряжённо-деформированного состояния эластомерного элемента наибольший интерес представляют сжимающие напряжения в данной области. Характер изменения величины нормальных напряжений по радиусу контактного кольца показан на рис. 3, рис. 4.



Рис. 2 – Меридианное сечение виброизоляторов ВР-203, ВР-204

Таблица 1 – Размеры виброизоляторов

	r , мм	d , мм	d_1 , мм	d_2 , мм	d_3 , мм	d_4 , мм	h , мм	R , мм	k , мм
ВР-203	52	130	200	170	32	90	180	60	38
ВР-204	60	140	230	197	32	100	200	60	44

На графиках рис. 3, рис. 4 видно изменение положения возникновения максимальных контактных напряжений в виброизоляторах при различных величинах распределённой нагрузки, что в свою очередь служит основой для проведения анализа мест концентрации максимальных напряжений.

Выводы. Проведенный анализ параметров контактного взаимодействия эластомерных виброизоляторов показал, что при увеличении величины распределённой нагрузки на 0,2 МПа величина сжимающих напряжений на поверхности контакта виброизолятора ВР-203 увеличивается на 30 %, а при увеличении распределённой нагрузки на 0,1 МПа значения нормальных напряжений в виброisolляторе ВР-204 возрастают на 20 %.

Предложенный подход может быть применён для расчёта величин контактной области и контактных напряжений для других инженерных конструкций.

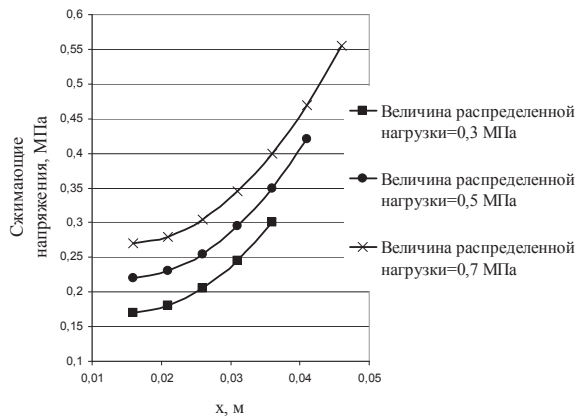


Рис. 3 – Характер распределения нормальных напряжений в виброизоляторе ВР-203 при $z = h$

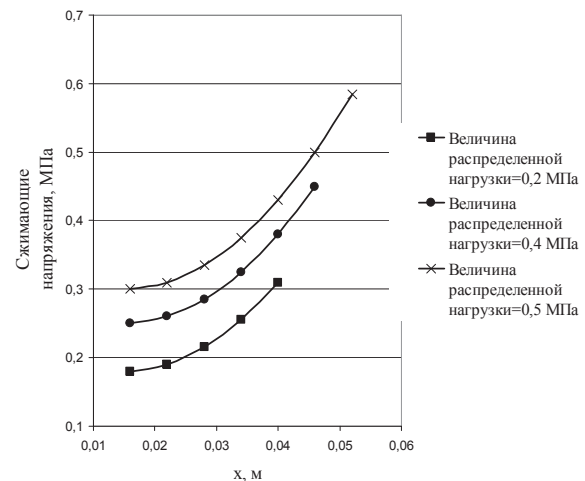


Рис. 4 – Характер распределения нормальных напряжений в виброизоляторе ВР-204 при $z = h$

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Киричевский В.В. Метод конечных элементов в механике эластомеров / В.В. Киричевский. – К.: Наук. думка, 2003. – 655 с.
2. Толоч В.А. Метод конечных элементов: теория, алгоритмы, реализация / В.А. Толоч, В.В. Киричевский, С.И. Гоменюк, С.Н. Гребенюк, Д.П. Бувайло. – К.: Наук. думка, 2003. – 316 с.
3. Зенкевич О.К. Метод конечных элементов в технике / О.К. Зенкевич. – М.: Мир, 1975. – 541 с.
4. Дырда В.И. Резиновые детали в машиностроении / В.И. Дырда, Е.Ф. Чижик. – Днепропетровск: Полиграфист, 2000. – 581 с.

УДК 631.316.022.4

Кобець А.С., Кобець О.М., Пугач А.М.

ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ ОБТІКАННЯ РОБОЧИХ ОРГАНІВ ПОТОКОМ ҐРУНТУ

Установлені початкові значення потоку ґрунту, що обтекає поверхню робочого органу, способують забезпеченню направленої абразивної дії.

RESEARCH OF PROCESS OF SOIL STREAM FLOWING AROUND OF WORKING BODY

The initial values of the soil stream on the surface of the working body, that promote directional blade wear, are established.

Постановка проблеми. В загальній сукупності факторів, що впливають на спрацювання металу, домінуючим є переміщення абразивних часток у залежності від фізико-механічних властивостей ґрунту і матеріалу, з якого виготовлений робочий орган. Знаючи закономірності переміщення абразивних частинок і параметри потоку ґрунту можливо вивчити їх взаємний вплив і встановити шляхи оптимізації спрацювання [1-3].

Абразивні частки, що знаходяться в контактній зоні з поверхнею робочого органу, виконують складний рух: переміщення, кочення і обертання. Враховуючи малий розмір абразивних часток, переміщенням одна відносно іншої і обертанням можна знехтувати. Однак, така характеристика потоку ґрунту, як відносна швидкість руху по поверхні робочого органу є домінуючою.

Розглянемо культиваторну лапу, як найбільш поширений ґрунтообробний робочий орган.

Мета досліджень. Встановити початкові параметри потоку ґрунту, що дозволять забезпечити направлене спрацювання ріжучої кромки леза.