

## ANALIZA METODĄ POLARYZACYJNO – OPTYCZNĄ STANU NAPRĘŻENIOWO – DEFORMACYJNEGO MODELU ELEMENTU PNEUMATYCZNEGO GĄSIENICY MASZYNY ROBOCZEJ

Włodzimierz BAJKOW,, Janina KALINKA, , Czesław ŻDANOWICZ, Natalia BUTKIEWICZ  
Białoruski Narodowy, Uniwersytet Techniczny w Mińsku

### Streszczenie

W artykule przedstawiono rezultaty badań naprężeniowo - odkształceniowych elementu gąsienicy pneumatycznej przy zastosowaniu metody polaryzacyjno-optycznej. Otrzymano ocenę jakościową naprężeń charakterystycznych stanów badanego elementu gąsienicy przy określonych deformacjach.

Słowa kluczowe: stan naprężeniowo-odkształceniowy, element pneumatyczny, polaryzacyjno- optyczna metoda, analiza

### THE POLARIZATIONS - OPTICAL METHOD OF TENSION'S - DEFORMATION STATE ANALYSIS OF MACHINE - ENGINE PNEUMATIC CATERPILLAR'S ELEMENT MODEL

### Summary

In article were introduced results of investigations the stresses - deformation pneumatic caterpillar's element with use of polarization's - optical method. The qualitative opinion of characteristic stresses states was received with definite deformations of studied caterpillar's element.

Keywords: stresses - deformation state, pneumatic element, polarizations - optical method , analysis

### 1. ВВЕДЕНИЕ

На сельскохозяйственных тракторах используются два типа движителей - колесные и гусеничные. Исторически колесо прошло следующие этапы своего развития: металлический обод, обрешиненный обод, пневматическая шина. Развитие гусеничного движителя отстает от колесного, до сих пор широко используются металлические гусеницы.

В последние годы на рынке представлены резиноармированные гусеницы. Следующим этапом развития гусеничных движителей должна стать пневматическая гусеница.

Пневматическая гусеница (рис. 1) состоит из силовой ленты (1) и пневмоэлементов (2), прикрепленных к нему. Пневмоэлемент представляет собой резинокордную оболочку открытого или закрытого типа с камерой, наполненную воздухом [1].

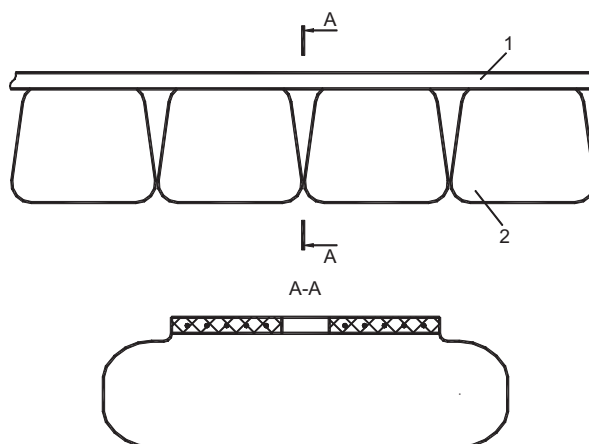


Рис. 2. Пневмогусеница: 1 - силовая лента; 2 – пневмоэлементы

Наличие пневмоэлементов между гусеничной лентой и почвой обеспечивает движение трактора по упругой поверхности с заданной характеристикой. Упругость пневмоэлементов обеспечивает подрессоривание трактора, более равномерное распределение давлений на почву, способствует уменьшению динамической нагрузки на ходовую систему и трансмиссию. При этом пневмоэлемент деформируется, в его конструктивных элементах возникают напряжения, от величины которых зависит долговечность пневмоэлемента. Поэтому при разработке конструкции пневмоэлементов, необходимо знать какие деформации будут возникать в них в процессе эксплуатации и распределение напряжений при этих деформациях.

Известные теоретические методы недостаточно полно описывают напряженно-деформированное состояние тонкостенных конструкций типа оболочек. Применение крупномасштабных моделей при экспериментальном исследовании требует больших средств и времени. Использование малых моделей связано с искажением геометрического подобия по толщине, в связи с чем, необходимо знать зависимости, позволяющие пересчитывать напряжения в модели с одной толщиной для модели с другой толщиной. Только располагая данными о напряжении в модели с полным геометрическим подобием, можно перейти к расчету напряжений в натурной конструкции [2, с. 185-188].

Наиболее приемлемым методом изучения напряжений для наших целей является поляризационно-оптический. При помощи этого метода на моделях из оптически чувствительных материалов решаются задачи о распределении напряжений в различных элементах при их упругом и упруго-пластическом деформировании. Цель работы – исследовать напряженно-деформированное состояние пневмоэлемента  $400 \times 175 \times 130$  методом фотоупругости и выявить зоны концентраций напряжений.

## 2. МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ

Анализ напряженно-деформированного состояния модели пневмоэлемента проводился при отсутствии в нем давления воздуха. Исследование проводили на моделях бескордной конструкции изготовленных в натуральную величину из оптически чувствительного материала на основе эпоксидной смолы ЭД-20М [3] с использованием метода «замораживания» [4].

Суть метода состоит в следующем: нагруженную модель доводят до

высокоэластического состояния (температуры «замораживания») и, не снимая нагрузки, охлаждают до комнатной температуры. После охлаждения нагрузка снимается, а в модели полностью сохраняется напряженное состояние. Исследование напряженного состояния объемной модели производится на срезах, вырезанных из «замороженной» модели. Напряжения в плоскости среза определяются в обычных полярископах.

Метод «замораживания» непосредственно к резине применить трудно, так как резины замораживаются только при низких температурах и исследование срезов в замороженном состоянии весьма затратно. Однако этот метод может быть использован для определения напряжений в объемных резиновых конструкциях, если их моделировать при помощи «замораживаемых» материалов (например, материалов, изготовленных на основе эпоксидных смол). Коэффициенты Пуассона этих материалов в высокоэластическом состоянии равны коэффициенту Пуассона резины (обычно для всех резин практически применяют  $\mu = 0,5$ ). Поэтому результаты, полученные на «замороженной» при конечных деформациях модели могут быть перенесены на резину [5]. Ценность этого метода состоит в том, что с помощью его можно строить поля напряжений по всему объему пневмоэлемента.

К выбираемому материалу предъявляются следующие требования: незначительные остаточные напряжения после полимеризации; стабильные оптико-механические свойства при температуре «замораживания»; отсутствие оптической и механической ползучести (для решения задачи о напряженно-деформированном состоянии при упругих деформациях); его значение  $\mu$  должно быть близко к  $\mu$  натурального материала. Последнее очень важно, так как различие коэффициентов Пуассона модели и натурной, особенно при моделировании тонкостенных конструкций, вносит погрешность, которая колеблется от 10 до 30%, а общих зависимостей для оценки влияния погрешности на моделировании напряженного состояния пока нет.

Напряженное состояние модели пневмоэлемента исследовали при осадке на 3 % и  $p_{\omega} = 0$  (рис. 2). Объемную модель с «замороженными» деформациями разрежали на отдельные темплеты (срезы) толщиной от 6 до 8 мм, которые исследовали поляризационно-оптическим методом. Масштаб геометрического подобия, равный 1:1, при пересчете напряжений с модели на натурную позволяет избежать двухмасштабного моделирования. При проведении эксперимента соблюдалось подобие граничных условий и силовых воздействия.

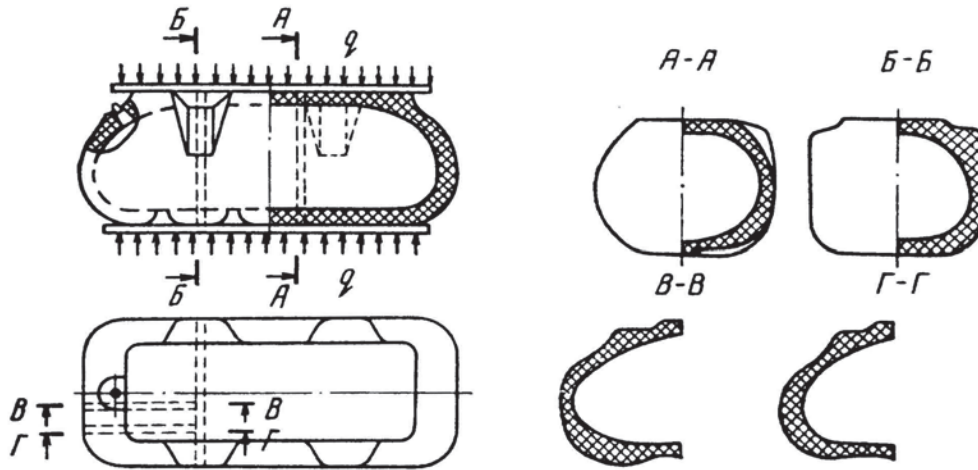


Рис. 2. Схема нагружения модели пневмоэлемента нормальной нагрузкой  $q$  и схема разрезания модели на срезы

## 2. РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

На рис. 3 представлены эпюры главных ( $\sigma$ ) и максимальных касательных ( $\tau_{\max}$ ) напряжений на контурах сечений. Так как на свободном контуре (контур, не имеющий внешних касательных и нормальных нагрузок) одно из главных напряжений, перпендикулярное к контуру, равно нулю, то порядок полосы, выходящей на свободный контур, показывает величину второго главного напряжения, направленного по касательной

к контуру. Поэтому эпюры контурных напряжений, построенных на свободных контурах сечений  $A-A$ ,  $B-B$ ,  $B-B$ ,  $\Gamma-\Gamma$ , показывают распределение главных напряжений вдоль контура. Эпюры напряжений, построенных на несвободном контуре, дают распределение удвоенного максимального касательного напряжения  $2\tau_{\max} = \sigma_1 - \sigma_2$ , где  $\sigma_1$  и  $\sigma_2$  — соответственно наибольшее и наименьшее главные напряжения.

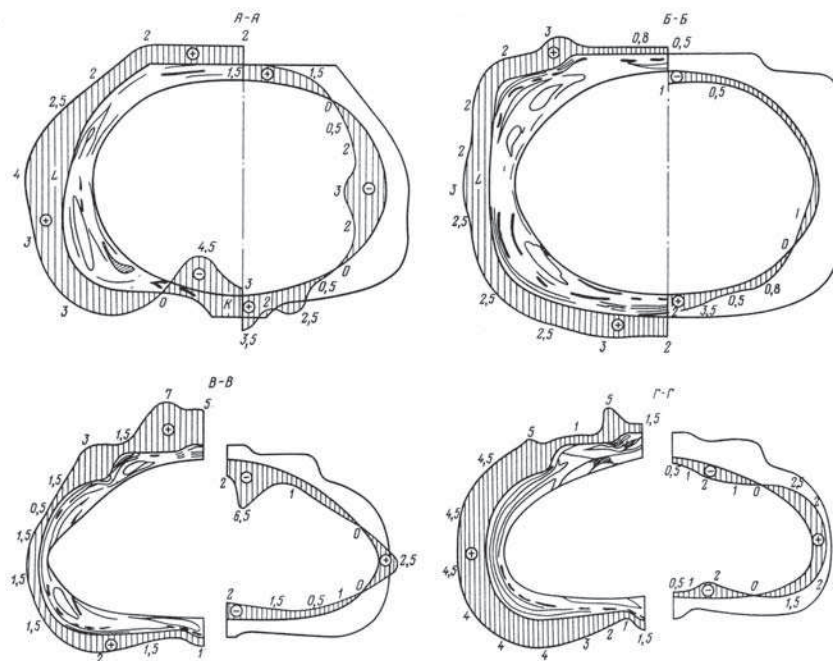


Рис. 3. Эпюры главных и максимальных касательных напряжений на внешнем (слева от оси симметрии) и внутреннем (справа) контурах сечений  $A-A$ ,  $B-B$ ,  $B-B$  и  $\Gamma-\Gamma$ : (+) — растяжение; (-) — сжатие;  $K$  — область, испытывающая одновременно сжатие (на внешнем контуре) и растяжение (на внутреннем контуре);  $L$  — область повышенной концентрации растягивающих напряжений на внешнем контуре

Во всех выбранных сечениях модели пневмоэлемента гусеничного движителя имеются нагруженные и ненагруженные участки наружного контура; внутренний контур пневмоэлемента нагрузки не несет. Напряженное состояние представленных сечений характеризуется наличием одной или нескольких изотропных областей ( $\sigma_1 - \sigma_2 = 0$ ), либо расположенных близко к контуру, либо выходящих за него.

Напряженное состояние внутреннего контура модели очень неоднородно. Наблюдалась частая и регулярная смена сжимающих напряжений растягивающими и обратно. В зонах действия нагрузки, сдвигающие напряжения максимальны на контуре и затухают на расстоянии  $0,3d$  от него, где  $d$  — толщина сечения. Максимальные растягивающие напряжения в окружающих сечениях наблюдаются также на наружном контуре и распределяются равномерно в боковых зонах сечений.

При переходе от ненагруженной части сечения к нагруженной происходит скачок напряжений (резкое возрастание, затем уменьшение). На свободном контуре преобладают растягивающие напряжения, и только в сечении  $A-A$  (рисунок 3) в области  $K$  они переходят в сжимающие.

В сечениях  $B-B$  и  $\Gamma-\Gamma$  (рисунок 3) наиболее напряженными являются участки с максимальным порядком полос 7 (в сечении  $B-B$ ) и 5 (в сечении  $\Gamma-\Gamma$ ).

#### 4. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На модели из оптически чувствительного материала на основе эпоксидной смолы ЭД-20М получена качественная оценка

напряжений в характерных сечениях, соответствующих напряженному состоянию пневмоэлемента гусеничного движителя на границах поверхностей.

Выявлены зоны концентрации напряжений и неоднородного напряженного состояния. Наиболее однородно напряженное состояние на наружном свободном контуре сечений  $A-A$  и  $B-B$ , однако повышенная концентрация растягивающих напряжений в области  $L$  этих сечений заставляет предполагать возможность образования трещин в этих зонах, что подтверждалось при нагружении модели. Полученные результаты могут быть полезны при конструировании и разработке технологии изготовления пневмоэлемента гусеничного движителя.

#### ЛИТЕРАТУРА

- [1] Zhdanovich Ch. Experimental study of pneumatic track propulsion systems // Agricultural Machine Systems. SP-1383, SAE 1998. - p.23-28.
- [2] Хесин Г. Л., Губин Ф. Ф., Попов А. И. и др. Метод фотоупругости. Т. 1 / Под ред. Г. Л. Хесина. М.:Стройиздат, 1975.— 460 с.
- [3] Буткевич Н. Н. // Теорет. и прикл. механика. 1981. № 8. С. 70—71.
- [4] Александров А. Я., Ахметзянов М. Х. Поляризационно-оптические методы механики деформируемого тела. М.: Наука, 1973.— 106 с.
- [5] Горелик Б. М., Фельдман Г. М. II Труды 5-й Всес. конф. (23—27 июня 1964 г.). Л.: ЛГУ, 1966. — С. 418.