

Обоснование работоспособности гусениц с эластичными уширителями

09, сентябрь 2010

автор: Аникин А. А.

УДК 629.113

ГОУ ВПО Нижегородский государственный

технический университет им. Р.Е.Алексеева

niitmttk@nntu.nnov.ru

Одним из перспективных, на наш взгляд, путей повышения проходимости гусеничных машин является применение уширителей гусеницы. Идея применения уширителей не является новой. Они использовались с целью снижения давления на грунт, и, как следствие, повышение проходимости снегоходных машин, сельскохозяйственных и промышленных тракторов, гусеничных транспортеров.

Однако применяемые металлические уширители обладают существенными недостатками. При работе гусениц с уширителем возникают нежелательные побочные эффекты, связанные с изменением габаритных размеров и условий работы движителя.

Уширители, имеющие по целям использования значительный консольный вылет и высокую жесткость, не могут по очевидным причинам обладать достаточной прочностью. Они быстро выходят из строя при наездах на единичные препятствия (валун, пень и т.д.) или вертикальное боковое препятствие (дерево, стенка). В этом случае, возможно попадание уширителей на беговую дорожку, что приводит к нежелательным

последствиям (спад гусеницы, распор движителя, повреждение бандажей опорных катков и т.д.).

В связи с этим возникла идея использования эластичных уширителей, выполненных из резины, армированной кордом [1,2,3].

Цикл работ по обоснованию работоспособности эластичных уширителей гусениц включал следующие основные этапы: разработка математической модели и алгоритма расчета прогибов уширителей; исследование деформированного состояния с целью выбора геометрических и силовых параметров; разработка конструкции уширителей;; проведение стендовых и дорожных испытаний.

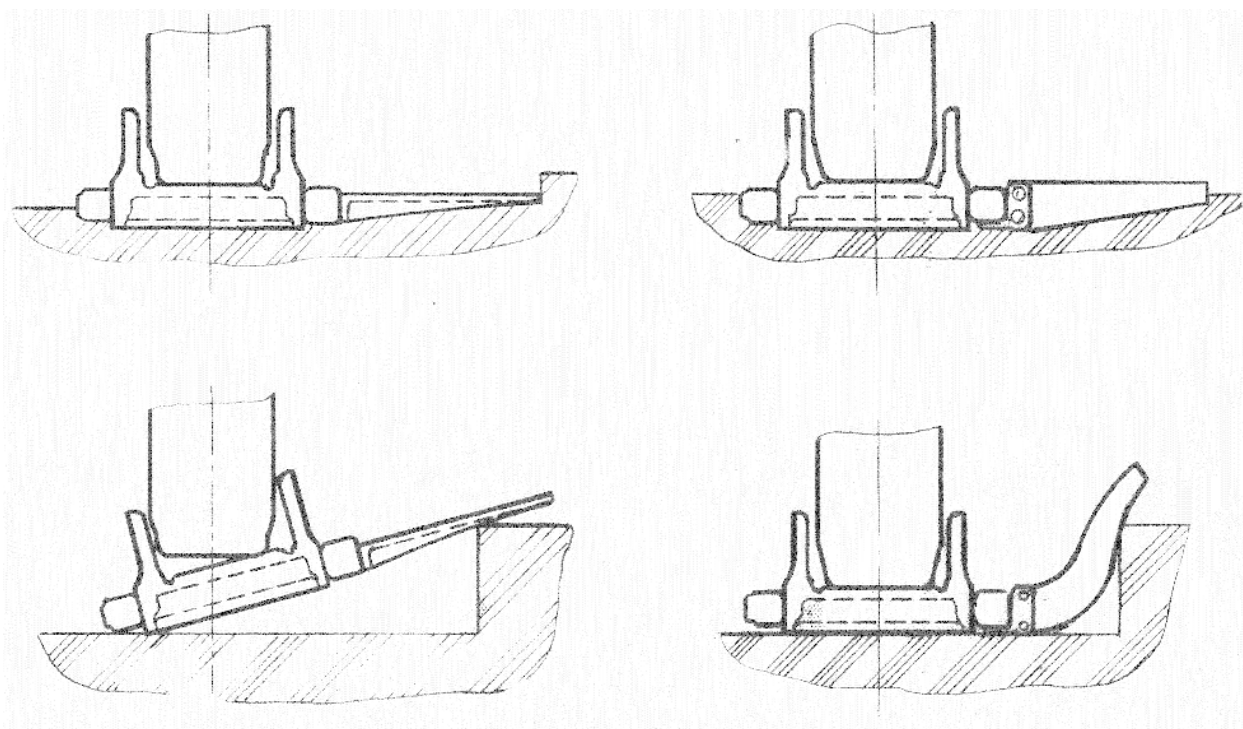


Рис.1. Схема работы эластичного уширителя гусеницы

По целям своего использования уширители должны обладать определенной жесткостью, чтобы обеспечить снижение давления движителя на снег, увеличение силы тяги, реализуемой в контакте с опорной поверхностью и, как следствие, повышение проходимости гусеничных машин при движении по снежной целине. При этом уширители

должны обладать и определенной эластичностью (рис.1), чтобы свободно деформироваться при наезде на единичные препятствия, исключая в этом случае нежелательные последствия в эксплуатации. Для исследования деформированного состояния уширителя была составлена расчетная модель. Задача об определении деформированного состояния резинового уширителя гусеницы представляет собой задачу теории упругости в геометрически и физически нелинейной постановке. Геометрическая нелинейность обусловлена большими перемещениями, а физическая нелинейность – зависимостью «напряжение-деформация» материала уширителя. Решать такую задачу целесообразнее всего численными методами. Известная процедура метода конечных элементов (МКЭ) в варианте метода перемещений и была положена в основу разработанной методики расчета.

Напряженно-деформированное состояние каждого конечного элемента определяется шестью обобщенными координатами – линейными перемещениями узловых точек:

$$\{q\} = \{U_1 V_1, U_2 V_2, U_3 V_3\}, \quad (1)$$

где $\{q\}$ – вектор узловых перемещений конечного элемента;

$\{U, V\}$ – компоненты перемещений по осям X и Y .

Выражение общей потенциальной энергии всего уширителя имеет вид:

$$E = \frac{1}{2} \{\tilde{Q}\}^T [\tilde{M}] \{\tilde{Q}\} - \{\tilde{Q}\} \{\tilde{P}\}, \quad (2)$$

где $\{\tilde{Q}\} = \{U_1 V_1 \dots U_n V_n\}$ – вектор узловых перемещений;

$[\tilde{M}]$ – матрица жесткости; $\{\tilde{P}\}$ – вектор внешних узловых сил.

После минимизации полной потенциальной энергии системы задача определения деформированного состояния уширителя сводится к решению системы линейных

алгебраических уравнений относительно узловых перемещений, матричная форма которых имеет вид:

$$[M]\{Q\} = \{P\}. \quad (3)$$

В случае больших деформаций, которые характерны для работы уширителя гусеницы, изготовленного из такого высокоэластичного материала как резина, задача определения деформированного состояния должна решаться в геометрически нелинейной постановке. Учет геометрической нелинейности ведется методом поэтапного нагружения уширителя (реализуется так называемая шаговая процедура). Вся нагрузка разбивается на α частей $\{\Delta P\}$. Величина $\{\Delta P\}$ берется достаточно малой, чтобы всякий раз при догрузении уширителя очередной порцией нагрузки дополнительные перемещения узлов можно было определять из решения линейной задачи. В тоже время на каждом шаге заново переформируется разрешающая система уравнений с целью отразить те изменения, которые произошли в конструкции от всех предшествующих нагружений, т.е. отразить нелинейность задачи в целом. Учет «предыстории» нагружения осуществляется двояким образом. Во-первых, тем, что для каждого этапа нагружения заново пересчитывается матрица жесткости системы. Во-вторых, тем, что, начиная со второго шага, дополнительно учитывается работа внутренних усилий, накопившихся в системе от предыдущих перемещений на перемещения данного шага.

При шаговом способе нагружения конструкции, когда нагрузка возрастает порционно (скачками), внутренние силы системы на каждом отрезке ее деформации условно можно разделить на две категории. Одни силы, назовем их «новыми», появляются непосредственно на текущем этапе нагружения и изменяются по линейному закону в процессе деформации системы. Для $r+1$ -го шага нагружения потенциальная энергия таких сил определяется по формуле

$$W_H^{r+1} = \frac{1}{2} \sum_N t_N \int_{A_N^r} \left\{ \sigma^{r+1} \right\}_N^T \left\{ \varepsilon^{r+1} \right\}_N dA = \frac{1}{2} \left\{ \Delta \tilde{Q}^{r+1} \right\}^T \left[\tilde{M}^r \right] \left\{ \Delta \tilde{Q}^{r+1} \right\}, \quad (4)$$

где $\left[M^r \right] = \Sigma \left[G^r \right]_N$;

$\left[G^r \right]_N = t_N A_N^r \left[\Phi^r \right]_N^T \left[\theta \right] \left[\Phi^r \right]_N$ - матрица жесткости каждого элемента;

t_N - толщина элемента; A_N - площадь элемента;

$\left[\theta \right]$ - матрица физических констант, которая может быть разной для разных элементов, что и использовалось в дальнейшем при расчете резинового уширителя, армированного кордом.

Другие внутренние силы, их будем называть «старыми», накапливаются в системе от всех предшествующих этапов нагружения и на каждом новом шаге выступают как силы постоянные. Разделение внутренних сил на «новые» и «старые» условно в том смысле, что силы, которые на данном шаге классифицируются как «новые», на следующем шаге переходят в категорию «старых» и вливаются в систему «старых сил». Потенциальная энергия всех «старых» внутренних сил на перемещениях системы, вызванных $r+1$ -ой порцией нагрузки, определяется по формуле:

$$W_c^{r+1} = \sum_N t_N \int_{A_N^r} \left(\sum_{k=1}^r \left\{ \sigma^k \right\}_N^T \right) \left\{ \varepsilon^{r+1} \right\}_N dA = \left\{ \Delta \tilde{Q}^{r+1} \right\}^T \left\{ \tilde{R}^r \right\}, \quad (5)$$

где $\left\{ \tilde{R}^r \right\}$ - вектор внутренних усилий, который формируется из векторов приведенных узловых сил каждого конечного элемента в отдельности.

Потенциальная энергия внешних сил на $r+1$ -ом шаге представляется как

$$II^{r+1} = II_C^{r+1} + II_H^{r+1} = - \left\{ \Delta \tilde{Q}^{r+1} \right\}^T r \left\{ \Delta \tilde{P} \right\} - \left\{ \Delta \tilde{Q}^{r+1} \right\}^T \left\{ \Delta \tilde{P} \right\}, \quad (6)$$

где первое слагаемое учитывает предыдущую нагрузку, а второе - новую ее порцию.

Матричные уравнения, которыми после учета граничных условий, приближенно описывается поставленная задача, имеют вид:

$$[M^r]\{\Delta Q^{r+1}\} = (r\{\Delta P\} - \{R^r\}) + \{\Delta P\}, r=0, \dots (\alpha-1). \quad (7)$$

Каждое отдельно взятое уравнение представляет собой уравнение равновесия узловых сил. Когда система при нагружении переходит в равновесное состояние, эти силы оказываются взаимоуравновешенными. Иначе обстоит дело при скачкообразном “переключении” геометрии системы в момент перехода на новый этап нагружения. В этом случае нарушается равновесие между “старыми” внешними и “старыми” внутренними силами в узлах $\{R^r\} \neq r\{\Delta P\}$, причем может иметь место как догрузка, так и разгрузка узлов. Поэтому каждой дополнительной порции нагрузки приходится не только преодолевать упругое противодействие системы в ее новой конфигурации, но и компенсировать образовавшийся дисбаланс узловых сил, что и отражается в правой части разрешающей системы уравнений. Окончательная конфигурация системы определяется как сумма узловых перемещений на всех этапах нагружения:

$$\{Q\} = \sum^{\alpha} \{\Delta Q^r\}. \quad (8)$$

В качестве исходных данных задаются геометрические размеры уширителя, характеристики материала (резины, вязкозного или капронового корда, металлокорда и других армирующих материалов), сосредоточенные или распределенные нагрузки. Первые имитируют прохождение уширителем единичного препятствия (пень, валун, дерево и т.п.), вторые - погружение уширителя в снег. В результате решения задачи определяются прогибы уширителя. Жесткость резинового уширителя определяется его геометрическими размерами и армирующими материалами. На рисунке 2 в качестве примера показаны результаты расчетов по выбору рациональной жесткости.

В этом случае уширитель полностью выполнял свои основные функции: снижал давление движителя на снег и свободно деформировался под действием сосредоточенной нагрузки, имитирующей проезд единичного препятствия.

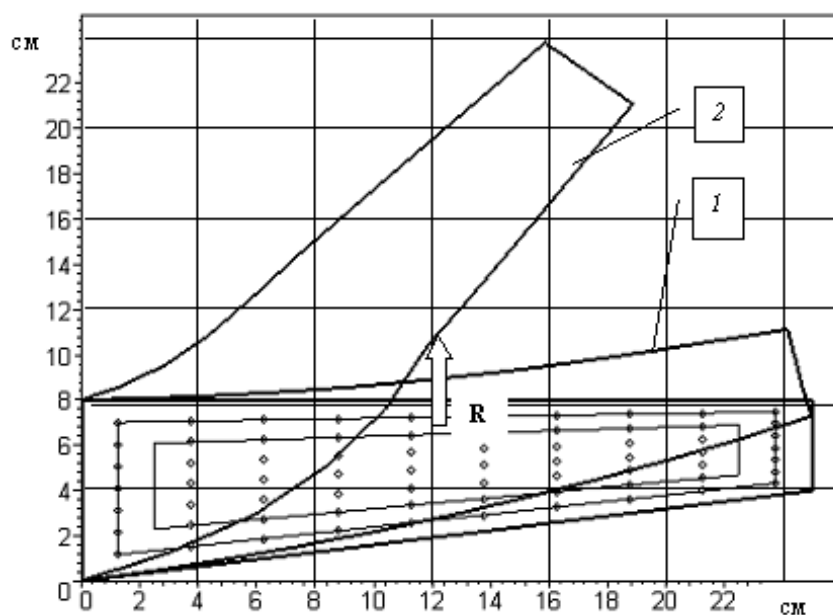


Рис.2. Деформация уширителя под действием нагрузки:
1 – распределенной; 2 – сосредоточенной

Оценка влияния уширителей на проходимость гусеничных машин по снегу была проведена для ряда машин с общей массой от 2,2 до 12,5 т. Расчеты отчетливо показали эффективность применения уширителей для повышения проходимости гусеничных машин по снежной целине. В целом, в результате расчетно-теоретических, а в дальнейшем, и экспериментальных исследований установлено, что сохраняется устойчивая тенденция: чем меньше давление движителя на снег, тем больший эффект дает уширение гусениц.

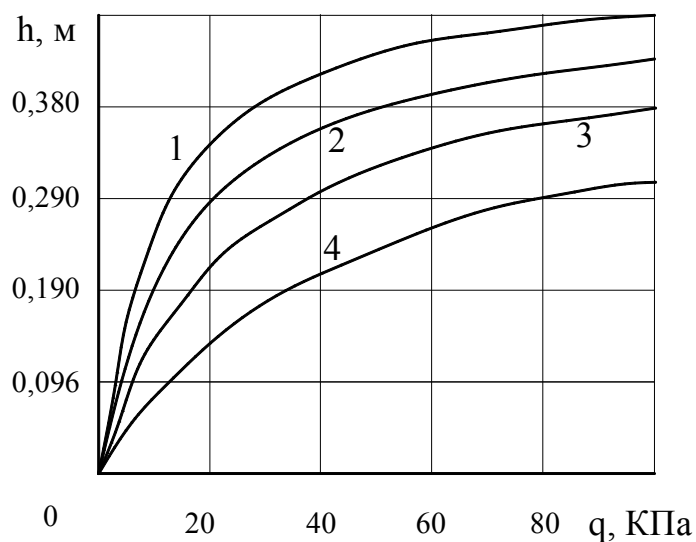


Рис.3. Зависимость нагрузка – осадка

Это происходит потому, что на разных участках зависимости «нагрузка-осадка» (рис.3), одинаковым изменениям давления соответствуют разные изменения погружения гусеницы в снег. А это, в свою очередь, ведет к тому, что при уширении гусеницы у одних машин происходит существенное уменьшение погружения движителя в снег и, как следствие, повышается проходимость машины, у других данное конструктивное мероприятие не вызывает значительного повышения проходимости.

Список использованных источников

1. Снегоходные машины /Л.В. Барахтанов, В.И. Ершов, С.В. Рукавишников, А.П. Куляшов. – Горький: Волго-Вятское кн. изд-во, 1986.191 с.
2. Барахтанов Л.В. Повышение проходимости гусеничных машин по снегу: Дисс... докт. техн. наук: 05.05.03. – Горький, 1988 г. – 352 с.
3. Аникин А.А., Барахтанов Л.В., Донато И.О. Проходимость гусеничных машин по снегу. – Н.Новгород.: Изд-во «Омега» 2009. – 362с