

УДК 656.1

М.М. Жилейкин, А.Ю. Захаров, М.В. Паньшин

**ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК  
ДЕФОРМИРУЕМОГО ОПОРНОГО ОСНОВАНИЯ В ПОЛЕВЫХ УСЛОВИЯХ**Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана  
(национальный исследовательский университет)

В работе представлены методики, позволяющие в полевых условиях достаточно точно определить статистические характеристики деформируемой опорной поверхности, влияющие на опорную проходимость транспортных средств. Сконструирован и изготовлен автоматизированный измерительный комплекс, включающий унифицированную модель пенетromетра и цифровую систему регистрации, позволяющие в автоматическом режиме построить зависимости осадки исследуемой деформируемой опорной поверхности от действующих нормальных давлений в пятне контакта колесного движителя с данным типом деформируемой опорной поверхности, а также сдвига грунта от действия прикладываемого крутящего момента. Проведена апробация работы автоматизированного измерительного комплекса, в результате чего доказана его работоспособность и эффективность в полевых условиях.

*Ключевые слова:* деформируемая опорная поверхность, автоматизированный измерительный комплекс, колесный движитель, проходимость транспортных средств

**Введение**

Одним из основных направлений экономического развития России является ускоренное развитие районов Севера и Северо-Востока, занимающих более 60 % территории страны. Дальнейшее освоение этих территорий требует новых подходов и новых технологий для решения транспортно-технологических задач при перемещении грузов и людей в условиях, когда полотном пути является бездорожье. При этом движение транспортно-технологических машин не только затруднено, но в ряде случаев исключается совсем.

Существующие модели колесных, гусеничных и роторно-винтовых машин, имеющих слабонесущие опорные поверхности, не отвечают поставленным функциональным требованиям, требованиям эффективности, надежности и экологичности движителей машин при эксплуатации в северных регионах страны. Таким образом, в настоящее время существует техническая, экономическая и социальная потребность в создании и использовании транспортных средств на пневмоколесных движителях, в том числе – сверхнизкого давления.

Следует отметить, что в настоящее время наша страна не располагает необходимым парком энергоэффективных машин высокой проходимости. Существующая вездеходная техника, выполненная по старым традиционным схемам и серийно выпускаемая промышленностью, не отвечает требованиям эффективности и экологичности движителей машин в сложных природно-климатических условиях эксплуатации. В сложившейся ситуации задача прогнозирования проходимости колесных машин (КМ) по опорной поверхности со слабыми несущими свойствами является весьма актуальной [1, 2].

Одним из основных методов прогнозирования проходимости является имитационное моделирование движения КМ в различных условиях эксплуатации, которое основано на математических моделях взаимодействия эластичной шины с деформируемыми неровностями опорного основания.

Установлено, что на опорно-тяговую проходимость КМ взаимно влияют как деформативные свойства шин, так и физико-механические характеристики грунта [3, 4]. В числе этих характеристик: нормальный прогиб шины и глубина колеи; изменение площади опорного пятна контакта в зависимости от нагрузки и давления воздуха в шине; наличие гистерезис-

ных потерь в материале шины, которые влияют на сопротивление качению, обусловленное трением в пятне контакта о почву; создание касательных реакций почвы по всей площади контакта.

На основе данных величин по известным зависимостям [5] могут определяться все характеристики грунта, необходимые для расчета силовых факторов в контакте движителя с опорной поверхностью и, соответственно, параметров движения робототехнического комплекса. Основные характеристики могут быть получены путем пересчета по аналитическим зависимостям, если известно сопротивление пенетрации. Таким образом, для прогнозирования эффективности движения КМ нужно знать характер распределения физико-механических характеристик опорных оснований и особые условия эксплуатации.

Анализ работ [6-10] позволяет выделить следующие направления исследований:

- особые условия эксплуатации, не характерные для обычных наземных комплексов, обуславливают разработку методик и проведение исследований с целью получения характеристик дорожно-грунтовых поверхностей в регионах со слабонесущими поверхностями;
- разработка специализированного оборудования для автоматизированного сбора необходимой информации о характеристиках дорожно-грунтовых поверхностей.

В рамках указанных направлений в работе были поставлены следующие задачи для экспериментального определения характеристик грунта:

- определение зависимости осадки исследуемой деформируемой опорной поверхности  $h_f$  от действующей на него вертикальной силы  $P_{\text{верт}}$ ;
- определение максимального сдвига грунта  $e_{x_{\text{м}}}$ , при котором связанность частиц грунта не нарушена, от действия прикладываемого вращающего момента  $M_{\text{к}}$ .

### **Определение зависимости осадки грунта от действия вертикальной силы**

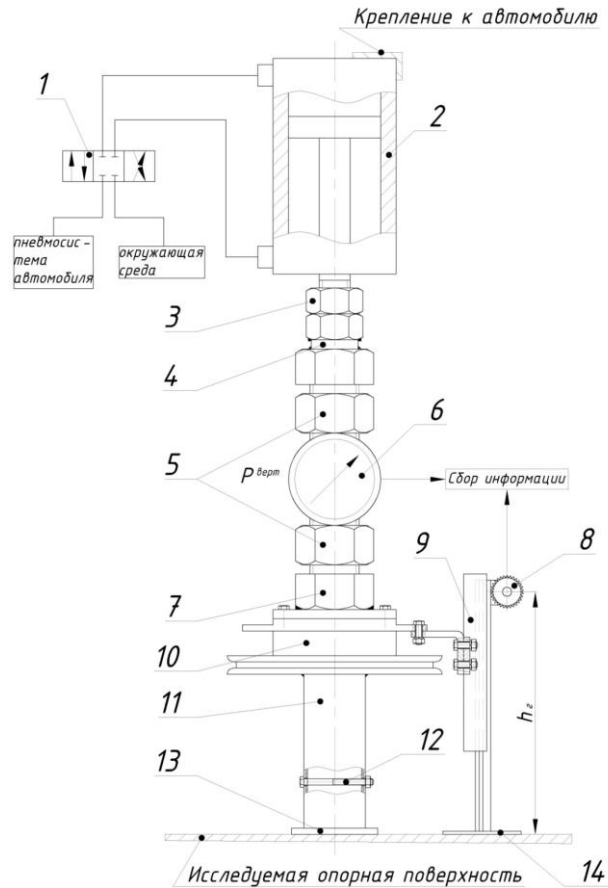
Для определения и аппроксимации искомой зависимости была разработана методика, включающая в себя следующие пункты:

- определение номинального давления, соответствующего давлению одиночного колеса на исследуемую деформируемую опорную поверхность;
- определение параметров штампа для вертикальной осадки грунта;
- продавливание грунта в вертикальном направлении, при этом обеспечение в конце хода номинального давления;
- обработка полученных результатов измерений.

Экспериментальное исследование проводилось на грунтовой опорной поверхности в сухую погоду на полигоне Дмитровского филиала НГТУ им. П.Е. Алексеева. Была сконструирована и изготовлена модель пенетromетра, позволяющая провести данное исследование. Пенетromетр (рис. 1) был оборудован измерительными системами: линейной для измерения осадки (регистровалась инкрементным поворотным энкодером) и динамометрической для измерения величины вертикальной нагрузки (регистровалась весоизмерительным тензорезисторным датчиком). Конструкция была унифицирована для проведения двух измерений: определения параметров грунта в вертикальном направлении, а также определения параметров грунта с помощью пластины сдвига. При проведении эксперимента регистрировались углубление штампа и сила, реализуемая в пятне контакта.

## Определение номинального давления, соответствующего давлению одиночного колеса на исследуемую деформируемую опорную поверхность

За номинальное давление, которое необходимо реализовать на пенетрометре в ходе эксперимента, было принято давление в пятне контакта одиночного колесного движителя многоцелевого автомобиля МЗКТ-6001 (рис. 2).



**Рис. 1. Схема устройства пенетрометра:**

- 1 – пневмораспределитель давления; 2 – пневмоцилиндр; 3 – стопорная гайка;
- 4 – переходник-соединитель динамометра (весоизмерительного тензорезисторного датчика);
- 5 – стопорная гайка; 7 – переходник-соединитель оборудования для измерения осадки грунта;
- 8 – измеритель расстояния (инкрементный поворотный энкодер в сборе с зубчатым колесом);
- 9 – направляющая каретка; 10 – элемент колесно-ступичного узла ВАЗ 2108;
- 11 – труба-удлинитель, фиксирующая штамп; 12 – фиксирующие болт и гайка; 13 – штамп;
- 14 – твердое основание для сохранения рабочей зоны измерений



**Рис. 2. Используемый тягач МЗКТ-6001 с установленным пенетрометром**

Давление  $p_{ш}$  в пятне контакта определялось по следующей формуле:

$$p_{ш} = \frac{G_k}{F_k}, \quad (1)$$

где  $G_k$  – нагрузка на колесо автомобиля, Н;  $F_k$  – площадь пятна контакта, м<sup>2</sup>.

Замеры нагрузки на колесо были сделаны на твердой ровной поверхности при помощи весоизмерительного устройства – подкладных весов «Исток» 7,5-2 (рис. 2). Для определенности рассматривалось переднее левое колесо. Результаты измерений представлены в табл. 1.

Таблица 1

**Нагрузка на переднее левое колесо МЗКТ - 6001 «VOLAT»**

| № замера         | Нагрузка на ось автомобиля, кг | Нагрузка на колесо автомобиля, Н |
|------------------|--------------------------------|----------------------------------|
| 1                | 9250                           | 45355,76                         |
| 2                | 9300                           | 45600,92                         |
| 3                | 9420                           | 46189,32                         |
| 4                | 9125                           | 44742,84                         |
| Среднее значение |                                | 45472,21 Н                       |

Измерение площади пятна контакта производилось путем снятия отпечатка шины БЕЛ-95 в области пятна контакта при давлении в шине в 0,6 МПа. В дальнейшем графическими методами была определена площадь пятна контакта, которая составила:  $F_k = 45554$  мм<sup>2</sup>. Тогда искомое давление в пятне контакта:  $p_{ш} = \frac{G_k}{F_k} = 0,998$  МПа.

Таким образом, за номинальное давление, которое необходимо реализовать на пенетрометре, было взято значение  $p_{ш} = 1$  МПа.

**Определение параметров штампа для вертикальной осадки грунта**

Для проведения экспериментального исследования был разработан штамп для пенетрометра, реализующий номинальное давление. В качестве устройства, которое создает требуемое нормальное давление, выступает пневмоцилиндр поршневой ГОСТ 15608-81 (рис.1).

Далее было определено статическое усилие на штоке при номинальном давлении в пневмоцилиндре ( $p_{ном} = 0,63$  МПа) по следующей формуле:

$$P_{ст} = p_{ном} \cdot S_{пор} \quad (2)$$

где  $S_{пор} = \pi \frac{d^2}{4}$  – площадь поршня пневмоцилиндра, мм<sup>2</sup>.

Таким образом, статическое усилие на штоке составило:  $P_{ст} = 7731,26$  Н.

При известном статическом усилии необходимая площадь штампа для проведения эксперимента определялась по следующей формуле:

$$F_{шт} = \frac{0,85 \cdot P_{ст}}{p_{ш}} \quad (3)$$

Тогда диаметр штампа составляет:

$$D_{шт} = 2 \cdot \sqrt{\frac{F_{шт}}{\pi}} = 91,47 \text{ мм} \quad (4)$$

За исходный диаметр для изготовления штампа было принято значение стандартного ряда для деталей подвижных уплотняющих цилиндрических пар устройств объемных гидроприводов, пневмоприводов и смазочных систем [11]:

$$D_{шт} = 90 \text{ мм.}$$

### Определение параметров грунта в вертикальном направлении

После сборки экспериментального оборудования, подключения аппаратурно-измерительных устройств и проверки работоспособности пневмоцилиндра было проведено 15 измерений для определения искомой зависимости осадки грунта  $h_r$  от действующей на него вертикальной силы  $P_{верт}$ . Полученные графики-зависимости  $h_r$  от  $P_{верт}$  представлены на рис. 3.

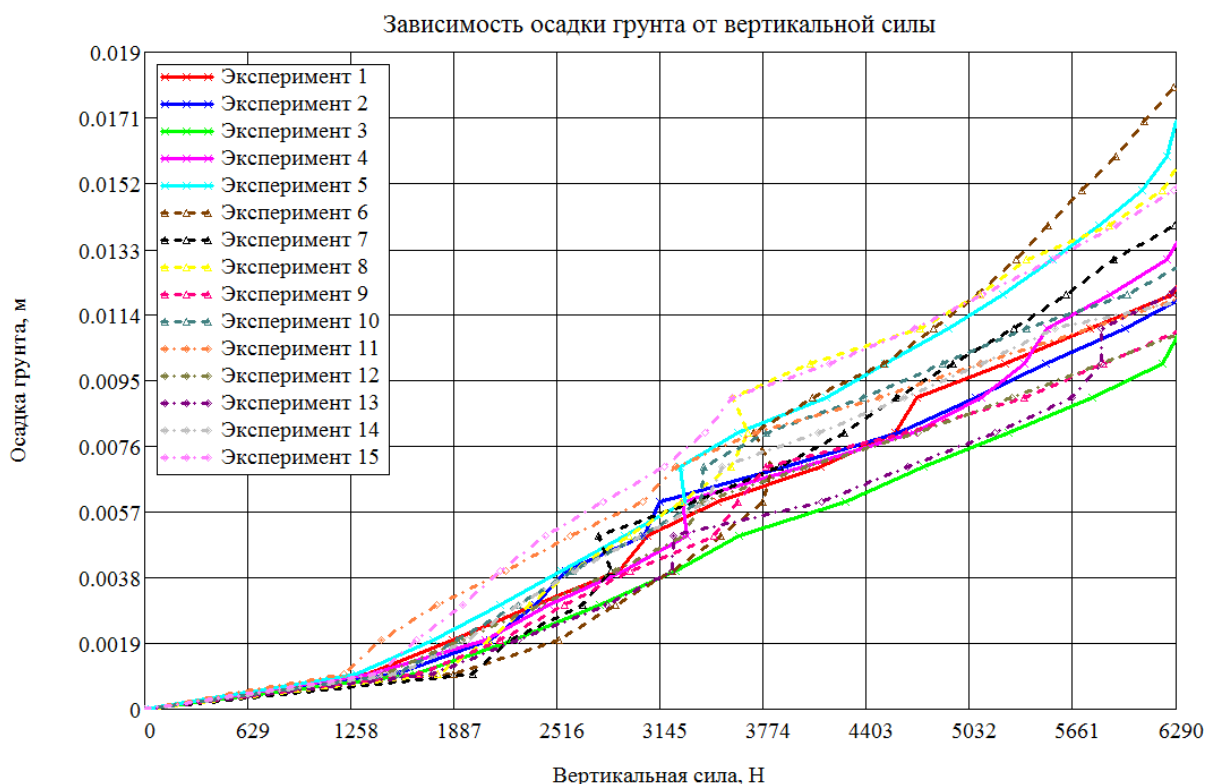


Рис. 3. Распределение зависимостей осадки грунта от вертикальной силы

Обработка результатов эксперимента проводится с использованием известных статистических гипотез и критериев [12].

Первоначально проводился отсев грубых погрешностей для того, чтобы результаты замеров с большими отклонениями исключить из дальнейшего анализа. Наилучшим с практической точки зрения является использование критерия Н.В. Смирнова, когда генеральные параметры не известны, а известны лишь оценки математического ожидания и дисперсии на основании знания вариационного ряда. При этом предполагается нормальное распределение изучаемой случайной величины.

После проведенной проверки при приложенной вертикальной силе  $P_{вз} = 1258 \text{ Н}$  было вычеркнуто 11-е измерение (отклонение  $\Delta = 0.3519 \text{ мм}$ ), а оценки математического ожидания, дисперсии и среднеквадратического отклонения были скорректированы для четырнадцати замеров без учета данного значения.

Затем проводилась проверка соответствия эмпирической функции распределения теоретическому нормальному закону распределения, при этом использовался критерий  $\chi^2$  – Пирсона для группированных наблюдений.

После разбиения измеренных величин во всех точках на интервалы, и определения всех необходимых параметров, были рассчитаны показатели  $\chi^2$  для всех точек. Далее было проведено сравнение расчетных значений с табличным параметром для уровня значимости  $q = 0,05$ , вероятности  $p = 0,95$  и степени свободы  $k = 1\chi_q^2 = 3,841$ . Поскольку для всех расчетных параметров было выполнено условие  $\chi^2 < \chi_q^2$ , то была принята гипотеза, что измеренные результаты подчиняются нормальному закону.

1. *Определение значения измеряемой величины.*

Поскольку было установлено, что результаты наблюдений подчиняются нормальному закону, тогда в качестве наилучшей оценки измеряемой величины принимается оценка математического ожидания выборки [12].

2. *Определение доверительных интервалов.*

Важным при оценке параметров является построение интервала, который накрывает оцениваемый параметр с известной степенью достоверности.

Для известных выборочных значений математического ожидания и среднеквадратического отклонения доверительный интервал для оценки математического ожидания величины отклонения  $\mu_x$  определяется следующей формулой [12]:

$$m - \frac{S \cdot t_n^{\alpha/2}}{(n-1)^{0,5}} \leq \mu_x \leq m + \frac{S \cdot t_n^{\alpha/2}}{(n-1)^{0,5}}, \quad \text{где} \quad (5)$$

$t_n^{\alpha/2}$  – табличное значение распределения Стьюдента;

$\alpha$  – доверительная вероятность, которую обычно принимают равной 0,9..0,95 [12].

Окончательно график зависимости осадки грунта  $h_r$  от действующей на него вертикальной силы  $P_{\text{верт}}$  с соответствующими доверительными интервалами показан на рис 4.

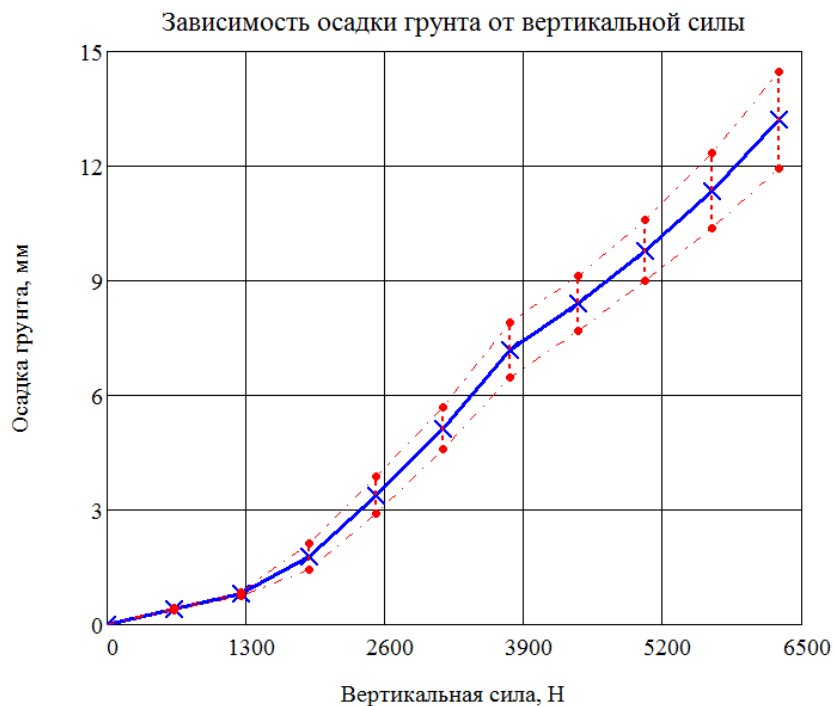


Рис. 4. Экспериментальная зависимость осадки грунта от вертикальной силы

### Аппроксимация экспериментальной зависимости

Получив экспериментальную зависимость осадки грунта  $h_r$  от действующей на него вертикальной силы  $P_{\text{верт}}$ , можно построить универсальную зависимость осадки грунта  $h_r$  от действующих нормальных давлений  $p_{0z}$  в пятне контакта колесного движителя с данным типом деформируемой опорной поверхности. Для этого в формуле Бернштейна-Летошнева необходимо определить  $c_{гр}$  и  $\mu$  [5]:

$$p_{0z} = c_{гр} h_r^\mu, \text{ МПа}, \quad (6)$$

где  $c_{гр}$ , МПа – коэффициент деформации грунта;  $\mu$  – показатель плотности грунта.

С этой целью перейдем от вертикальной силы  $P_{верт}$  к нормальному давлению  $p_{0z}$  в области пятна контакта штампа экспериментальной установки, зная диаметр  $d_{ш}$  разработанного штампа.

$$p_{0z} = \frac{P_{верт}}{S_{ш}}, \text{ МПа}, \quad (7)$$

где  $P_{верт}$ , Н – действующая вертикальная сила;  $S_{ш} = \frac{\pi \cdot d_{ш}^2}{4}$ , мм<sup>2</sup> – площадь рабочей поверхности штампа.

Далее прологарифмируем формулу Бернштейна-Летошнева и получим следующее выражение:

$$\ln p_{0z} = \ln c_{гр} + \mu \ln h_r \quad (8)$$

Путем аппроксимации методом наименьших квадратов составляем и решаем следующую систему уравнений для определения параметров  $c_{гр}$  и  $\mu$ .

$$\begin{cases} \mu \cdot \sum (\ln h_r)_i^2 + \ln c_{гр} \cdot \sum (\ln h_r)_i = \sum (\ln h_r)_i \cdot (\ln p_{0z})_i \\ \mu \cdot \sum (\ln h_r)_i + \ln c_{гр} \cdot n = \sum (\ln p_{0z})_i \end{cases} \quad (9)$$

Решив систему уравнений относительно  $\ln c_{гр}$  и  $\mu$ , получим следующие значения искомых параметров:

$$\mu = 0.61211 \quad c_{гр} = 0.19343 \text{ МПа}$$

Тогда зависимость осадки грунта  $h_r$  от действия нормального давления в пятне контакта  $p_{0z}$  для данного типа исследуемой деформируемой опорной поверхности примет следующий вид:

$$h_r = \left( \frac{p_{0z}}{0.19343} \right)^{\frac{1}{0.61211}} \quad (10)$$

### Определение сдвига грунта, при котором нарушается связанность его частиц

Целью экспериментального исследования является определение максимального сдвига грунта  $e_{xm}$ , при котором связанность частиц грунта не нарушена, от действия прикладываемого вращающего момента  $M_B$ .

Для нахождения значения искомого параметра была разработана методика, включающая в себя следующие пункты:

- определение параметров матрицы сдвига для измерения зависимости крутящего момента  $M_k$  от угла поворота матрицы сдвига  $\theta$ ;
- продавливание грунта в вертикальном направлении, при этом обеспечение в конце хода номинального давления, соответствующего давлению одиночного колеса на исследуемую деформируемую опорную поверхность;
- измерение зависимости вращающего момента  $M_B$  от угла поворота матрицы сдвига  $\theta$ ;
- обработка полученных результатов измерений.

Экспериментальное исследование проводилось на грунтовой деформируемой опорной поверхности в сухую погоду на полигоне Дмитровского филиала МГТУ им. Н.Э. Баумана. Пенетрометр (рис. 1) был оборудован системой, позволяющей измерить угол поворота матрицы сдвига под действием прикладываемой вращающей силы (регистрировалась инкрементным поворотным энкодером). При проведении эксперимента регистрировались величина силы, реализуемой в пятне контакта, угол поворота матрицы сдвига и величина вращающей силы, прикладываемой для поворота матрицы сдвига. Было произведено тринадцать за-

меров с дальнейшей обработкой полученных результатов измерений с использованием известных статистических методов.

### Определение параметров матрицы сдвига

Для проведения экспериментального исследования была разработана матрица сдвига, присоединяемая к пенетрометру, реализующая измерение требуемых параметров. Согласно рекомендациям, предложенным в работе [13], при конструировании и изготовлении матрицы сдвига использовались приведенные ниже расчетные зависимости:

$$\begin{aligned} D_{\text{нар}} &= 0,9 \cdot D_{\text{шт}}, \\ d_{\text{вн}} &= \frac{D_{\text{нар}}}{1,33}, \\ h &= 0,1 \cdot D_{\text{нар}}. \end{aligned} \quad (11)$$

где  $D_{\text{нар}}$  – наружный диаметр кольца матрицы сдвига;  $d_{\text{вн}}$  – внутренний диаметр кольца матрицы сдвига;  $h$  – величина секторного зуба кольца матрицы сдвига;  $D_{\text{шт}}$  – диаметр штампа пенетрометра.

Чертеж и габаритные размеры разработанной матрицы сдвига показаны на рис. 5.

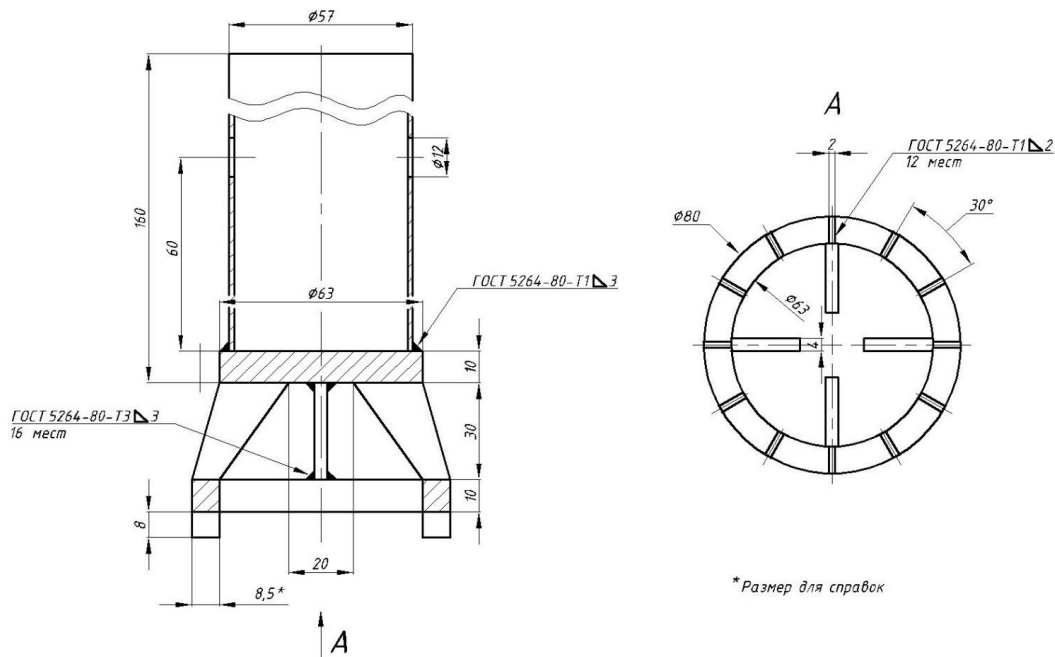


Рис. 5. Матрица сдвига (схема общего вида)

### Определение зависимости вращающего момента $M_B$ от угла поворота матрицы сдвига $\theta$

Перед проведением экспериментального исследования по определению зависимости вращающего момента  $M_B$  от угла поворота матрицы сдвига  $\theta$ , предварительно проводился эксперимент по вертикальной осадке грунта, описанный выше. По результатам данного экспериментального исследования в месте продавливания деформируемой опорной поверхности от штампа образовывались лунки. Осуществлялась замена штампа на матрицу сдвига, и при вводе ее в каждую из лунок, образовавшихся на предыдущем этапе, было произведено 13 измерений для определения искомой зависимости, включающих в себя следующие четыре пункта.

1. С помощью пневмораспределителя обеспечивалась подача воздуха от пневмосистемы автомобиля в верхнюю полость пневмоцилиндра для реализации номинального давления в



области контакта матрицы сдвига  $p_{ш} = 1$  Мпа, соответствующего давлению одиночного колеса на исследуемую деформируемую опорную поверхность. Предварительно вычислялась вертикальная сила, соответствующая номинальному давлению матрицы сдвига на грунт по следующей зависимости:

$$P_{\text{верт}} = p_{ш} \cdot \frac{\pi \cdot (D_{\text{нар}}^2 - d_{\text{вн}}^2)}{4}, \quad (12)$$

Вертикальная сила составила:  $P_{\text{верт}} = 1909,3$  Н.

2. При помощи силового устройства, создающего вращающую силу  $P_{\text{вр}}$  (тали электрической), осуществлялся поворот матрицы сдвига в лунке.

3. Вращение матрицы сдвига в лунке от воздействия вращающей силы  $P_{\text{вр}}$  осуществлялось до тех пор, пока на тензорезисторном датчике не возникал резкий сброс напряжения после медленного его возрастания, то есть увеличение вращающего момента  $M_{\text{в}}$  осуществлялось до максимального сдвига грунта  $e_{\text{хт}}$ , при котором связанность частиц грунта не нарушена.

4. При нарушении связности частиц грунта эксперимент прекращался. Производилось сбрасывание давления, поднятие поршня вверх за счет подачи воздуха в нижнюю полость пневмоцилиндра и осуществлялся переезд автомобиля вместе с экспериментальной установкой к следующей лунке. Далее следовал повтор экспериментального исследования.

### Результаты экспериментальных исследований

По результатам расшифровки полученных результатов измерений построены графики-зависимости  $M_{\text{в}}$  от  $\theta$  (рис. 6). На графиках резкое падение вращающего момента означало, что при данном угле поворота матрицы сдвига связанность частиц деформируемой опорной поверхности нарушалась.

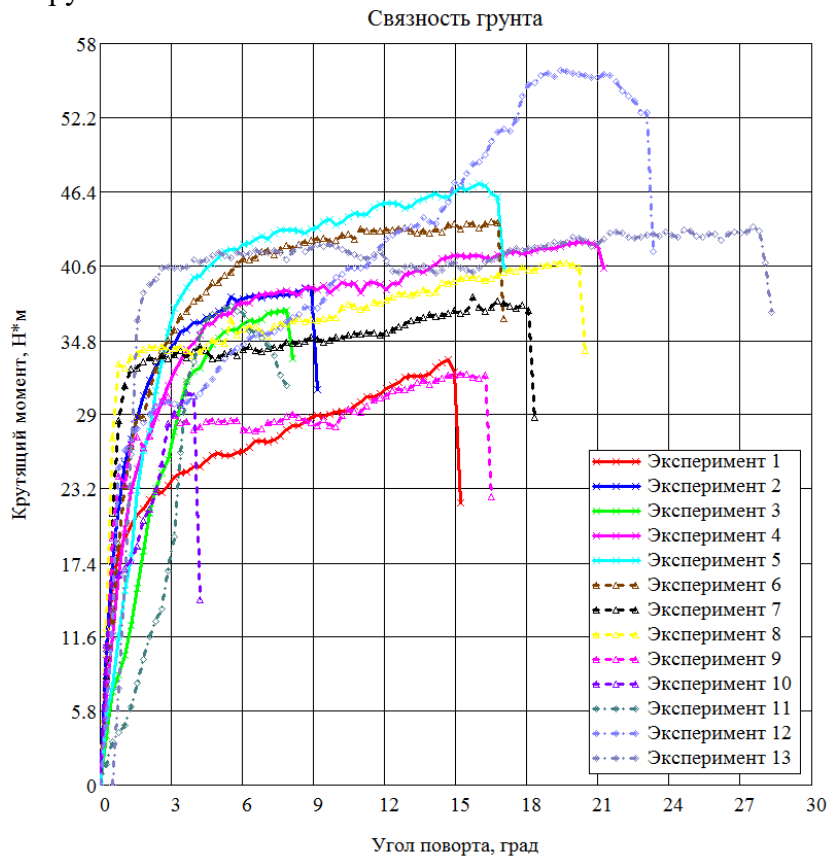


Рис. 6. Распределение зависимостей регистрируемого крутящего момента от угла поворота матрицы сдвига

Обработка результатов эксперимента проводится аналогично методу, описанному выше.

Зная угол поворота матрицы сдвига  $\theta_{xm}$ , при котором связанность частиц грунта не нарушена, можно определить сдвиг грунта  $e_{xm}$  как длину дуги окружности по среднему радиусу кольца матрицы при известном угле ее поворота:

$$e_{xm} = \frac{\pi \cdot R \cdot \bar{m}_{\theta_{xm}}}{180^\circ}, \quad (13)$$

где  $R = \frac{D_{\text{нар}} + d_{\text{вн}}}{2}$  – средний радиус кольца матрицы, мм;  $\bar{m}_{\theta_{xm}}$  – математическое ожидание угла поворота матрицы сдвига, град.

В результате получено значение максимального сдвига грунта  $e_{xm}$ , при котором связанность частиц грунта не нарушена, получилось следующее:

$$e_{xm} = 19.391 \text{ мм}$$

при доверительном интервале:  $e_{xm} \in [14.224; 24.558]$  мм.

### Заключение

Разработаны методики, позволяющие в полевых условиях достаточно точно определить статистические характеристики деформируемой опорной поверхности, влияющие на опорную проходимость транспортных средств.

Сконструирован и изготовлен автоматизированный измерительный комплекс, включающий унифицированную модель пенетрометра и цифровую систему регистрации, позволяющие в автоматическом режиме построить зависимости осадки исследуемой деформируемой опорной поверхности от действующих нормальных давлений в пятне контакта колесного движителя с данным типом деформируемой опорной поверхности, а также сдвига грунта от действия прикладываемого вращающего момента.

Проведена апробация работы автоматизированного измерительного комплекса, в результате чего доказана его работоспособность и эффективность в полевых условиях.

### Библиографический список

1. **Котляренко, В.И.** Основные направления повышения проходимости колесных машин / В.И. Котляренко. – М.: Изд-во МГИУ, 2008. – 284с.
2. **Шухман, С.Б.** Пути повышения экологических свойств многоосных полноприводных автомобилей, эксплуатирующихся в районах Крайнего Севера / С.Б. Шухман, И.А. Плиев, В.Э. Маляревич // Автомобильная промышленность. – 2008. – № 10. – С.15-17.
3. **Wong, J.Y.** Theory of Ground Vehicles / J.Y. Wong. – New York: Wiley IEEE, 2001. – 560 p.
4. **Прядкин, В.И.** Оценка воздействия высокоэластичной шины на поверхность качения / В.И. Прядкин // Лесное хозяйство. – 2011. – № 5. – С.42-43.
5. **Вольская, Н.С.** Оценка проходимости колесных машин при движении по неровной грунтовой поверхности / Н.С. Вольская. – М.: МГИУ, 2007. – 215 с.
6. **Беляков, В.В.** Транспортно-технологические проблемы Северного Кавказа / В.В. Беляков, У.Ш. Вахидов, Ю.И. Молев. – Н. Новгород: НГТУ им. П.Е. Алексеева, 2009. – 330 с.
7. **Макаров, В.С.** Классификация береговых зон как полотна пути для транспортно-технологических машин и комплексов / В.С. Макаров [и др.] // Труды НГТУ им. П.Е. Алексеева. – 2016. – № 3. – С. 138-142.
8. **Wong, J.Y.** Terramechanics and Off-Road Vehicle Engineering / J.Y. Wong. – Elsevier, 2010. – 463 p.
9. **Rybansky, M.** The impact of terrain on cross-country mobility geographic factors and their characteristics / M. Rybansky [et. al] // 18th International Conference of the International Society for Terrain-Vehicle Systems, ISTVS 2014. – Seoul, 2014.
10. **Makarov, V.** Unmanned Ground Vehicles for Coastal Monitoring / V. Makarov [et. al.] // International Journal of Imaging and Robotics. – 2017. – Vol. 17. – P. 64-75.
11. ГОСТ 12447-80. Гидроприводы объемные, пневмоприводы и смазочные системы. Нормальные диаметры. – Взамен ГОСТ 12447-67; введ. 1980-07-01. – М.: Изд-во стандартов, 1985. – 6 с.

12. Орлов, А.И. Прикладная статистика / А.И. Орлов. – М.: Экзамен, 2006. – 672 с.
13. Беккер, М.Г. Введение в теорию систем местность – машина / М.Г. Беккер. – М.: Машиностроение, 1973. – 520 с.

*Дата поступления  
в редакцию: 06.02.2019*

**M.M. Zhileykin, A.J. Zakharov, M.V. Panshin**

## **EXPERIMENTAL CHARACTERIZATION OF DEFORMED SUBSTRUCTURE IN THE FIELD**

Bauman Moscow state technical university

**Purpose:** development of methods that allow in the field to accurately determine the statistical characteristics of the deformable bearing surface, affecting the support permeability of vehicles.

**Design/methodology/approach:** the study of the statistical characteristics of the deformable support base was carried out with the help of unique measuring equipment.

**Findings:** the work of the automated measuring complex was tested, as a result of which its efficiency and effectiveness in the field were proved

**Research limitations/implications:** the carried out researches allow to apply the developed methods of research for forecasting of passability of wheel cars on the deformable basis.

**Originality/value:** for the first time, detailed experimental studies of the interaction of an elastic wheel with a deformable support base were carried out.

*Key words:* a deformable support surface, measuring set, a propulsion wheel, cross-country vehicles.