

где  $E$  – модуль упругости материала;  
 $F$  – равнодействующая внешних сил;  
 $A$  – площадь поперечного сечения элемента конструкции;  
 $G$  – модуль сдвига материала.

Таким образом, полученная зависимость (7) показывает, что при растяжении и сжатии бруса относительная угловая деформация или угол сдвига зависит от величины силы, жесткости при сдвиге и положения элемента в окрестности исследуемой точки по отношению к поперечному сечению, т.е. в зависимости от угла  $\alpha$ . Так если угол  $\alpha$  равен 0 или  $90^\circ$  угол сдвига равен 0. Наибольшая величина угла сдвига достигается при расположении элемента под углом  $45^\circ$  к поперечному сечению бруса испытывающего растяжение и сжатие.

УДК 631.311

## **ИЗМЕРЕНИЕ ТЯГОВОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ ПОЧВООБРАБАТЫВАЮЩИХ МАШИН В ПОЛЕВЫХ УСЛОВИЯХ**

*Студент – Романюк К.Г., 38 тс, 2 курс, ФТС  
Научный*

*руководитель – Мисуно О.И., к.т.н., доцент  
УО «Белорусский государственный аграрный технический  
университет», г. Минск, Республика Беларусь*

**Аннотация:** в статье рассмотрены метод и средства измерения тягового сопротивления почвообрабатывающей машины, агрегируемой с трактором по двухточечной схеме.

**Ключевые слова:** почвообрабатывающая машина, тяговое сопротивление, тензометрическая навеска, тензометрическая станция, тензометрическое кольцо, тензорезистор.

Производительность машинно-тракторных агрегатов зависит от многих факторов и условий работы, и в первую очередь от энергоемкости процесса обработки почвы. Главным же показателем энергоемкости процесса является тяговое сопротивление агрегируемой сельскохозяйственной машины или орудия.

Тяговое сопротивление сельскохозяйственных машин и орудий является важнейшим энергооценочным параметром машинно-тракторного агрегата. Определение его величины в полевых условиях необходимо, например, для выбора наиболее производительных составов агрегатов и режимов их рабо-

ты; выбора рациональных параметров рабочих органов; установления технически обоснованных норм выработки и расхода горюче-смазочных материалов; обеспечения контроля за техническим состоянием тракторов и сельскохозяйственных машин, правильностью их регулировок и т.д.

Измерение тягового сопротивления прицепных орудий не представляет особых сложностей и может осуществляться простым динамометрированием или с помощью тензометрического кольца. Значительно сложнее производить измерение тягового сопротивления полунавесных орудий, агрегируемых с трактором по двухточечной схеме. Эта задача значительно усложнена тем, что вектор тягового сопротивления в таком случае направлен не по одной линии, а распределен по тягам навески.

Анализ существующих способов и средств измерения тягового сопротивления почвообрабатывающих машин приводит к выводу, что всем им присущи определенного вида недостатки: либо они не удовлетворяют достаточной точности, либо сложны по конструктивному исполнению или требуют сложной измерительно-регистрирующей аппаратуры и высокой трудоемкости обработки результатов измерений, либо не обладают универсальностью для всего шлейфа используемых машин. Поэтому разработка таких способов, приемлемых не только для машиноиспытательных и нормировочных станций, но и для конкретных исследователей, является весьма актуальной и представляет значительный интерес.

Тяговое сопротивление, как и многие другие параметры, характеризующие эффективность работы почвообрабатывающих агрегатов, являются неэлектрическими величинами. Поэтому при проведении экспериментальных исследований в полевых условиях для энергетической оценки почвообрабатывающих машин широко применяется электротензометрический способ измерения силовых показателей.

Поэтому для измерения тягового сопротивления почвообрабатывающей машины в полевых условиях разработана тензометрическая навеска (рисунок 1), посредством которой происходит соединение нижних тяг навесной системы трактора с рабочей машиной.

Тензометрическая навеска состоит из основания (плиты) 1, на котором закреплены две подшипниковые опоры 2. В опорах установлен вал 3. Посредством шлицевых соединений вал связан с центральным 4 и двумя боковыми 5 и кривошипами. Центральный кривошип шарнирно соединен с тензометрическим звеном в виде кольца 6. Тензометрическая навеска закрепляется на передней поперечной балке почвообрабатывающей машины посредством хомутов 7 с необходимыми приспособлениями.

При выполнении технологического процесса почвообрабатывающим агрегатом усилие, передаваемое от орудия на трактор через нижние тяги навесной системы, соединенные с боковыми кривошипами тензометрической навески, через вал и центральный кривошип передается на тензометрическое кольцо (рисунок 2). Это кольцо представляет собой статически

неопределимую конструкцию. Рациональные размеры тензометрического кольца, при которых будет обеспечена его прочность и наибольшая чувствительность всей измерительной системы определяются из расчетов на прочность и жесткость. При этом кольцо представляется как брус большой кривизны с прямоугольным поперечным сечением.

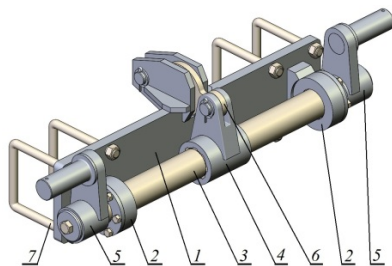


Рисунок 1 – Тензометрическая навеска

Для измерения деформации тензометрического кольца, пропорциональной приложенному растягивающему усилию, на его внутренней цилиндрической поверхности наклеены четыре тензорезистора ПКБ-20-100 (рисунок 2).

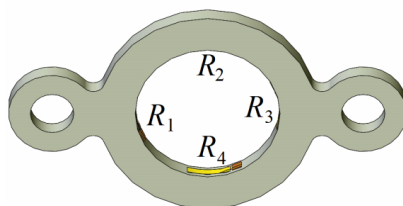


Рисунок 2 – Тензометрическое кольцо

Для обеспечения компенсации сопротивления кабеля, разъема и ключей, термокомпенсации тензорезисторы соединяются в полный мост по 6-проводной схеме (рисунок 3).

Показанная на рисунке 3 схема тензорезисторов подключается посредством кабеля и USB-разъема к тензометрической станции *TS32L1-02*, предназначенной для измерения деформаций в элементах инженерных конструкций и деталях машин. Принцип действия станции основан на измерении напряжения на плечах разбалансированного резисторного моста по отношению к напряжению питания моста. Микроконтроллер принимает команды и передает результаты измерения терминалу (персональному компьютеру ПК, установленному в кабине трактора) через модуль беспроводного соединения по протоколу Bluetooth 2.0. Программное обеспечение тензометрической станции *TS32L1-02* версии 1.03 предназначено для работы на пер-

сональном компьютере, позволяет отображать результаты измерений тягового сопротивления почвообрабатывающей машины в виде таблицы и диаграммы и сохранять их в файлах ПК. Станция состоит из электронного блока и сетевого адаптера, установлены в одном корпусе с размерами 160x160x60 мм, который монтируется на тензометрической навеске.

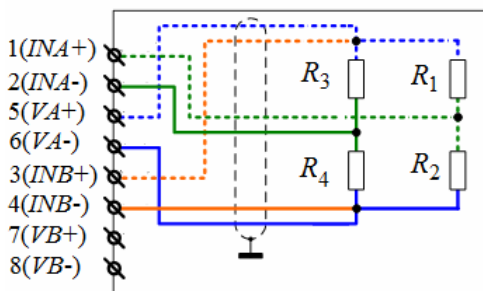


Рисунок 3 – Схема соединения тензорезисторов

Тяговое сопротивление почвообрабатывающей машины – результат измерения  $F$  автоматически рассчитывается по формуле:

$$F = \frac{2}{k} \frac{R_1 - R_2}{R_1 + R_2} - \frac{R_3 - R_4}{R_3 + R_4} \frac{\Delta V_0}{V},$$

где  $\frac{\Delta V_0}{V}$  – смещение нуля – начальное относительное электрическое напряжение на плечах моста, измеряется при проведении балансировки моста;  
 $k$  – тарировочный коэффициент, определяемый экспериментально перед проведением полевых испытаний в лабораторных условиях;

$R_1, R_2, R_3$  и  $R_4$  – сопротивления тензорезисторов в мосте.

Таким образом, предложенные электротензометрический метод и средства измерения тягового сопротивления почвообрабатывающих машин, навешиваемых на трактор по двухточечной схеме, при проведении полевых экспериментальных исследований дают возможность быстро и с высокой степенью точности фиксировать измеряемое тяговое сопротивление, имеют стабильную величину нулевого сигнала (величину до и после работы), видеть его изменение в реальном времени и сохранять результаты в файле в цифровом виде на компьютере, что значительно упрощает обработку экспериментальных данных. Также преимуществом предложенных метода и средств являются простота конструкции и регулировки, удобство при обслуживании и надежность при длительной эксплуатации. Измерительный комплекс устойчив к изменениям температуры, вибрации и влажности.