



Повышение качества испытаний быстроходных гусеничных машин и первичной аттестации их испытательной трассы



Д.Д. Грибанов

*к.т.н., профессор
кафедры
Университета
машиностроения*

Быстроходная гусеничная техника предназначена, главным образом, для движения в условиях бездорожья или по грунтовым трассам. В связи с этим при создании или модернизации этой техники большую роль играют ее испытания на грунтовых трассах. Цель таких испытаний – определение фактических характеристик машин и проверка работоспособности их систем, узлов и агрегатов в условиях, максимально приближенных к эксплуатационным. Эти условия – воздействующие факторы (нагрузки) – должны воспроизводиться соответствующим испытательным оборудованием (ИО) с нормированной точностью. В данном случае таким ИО являются грунтовые испытательные трассы, представляющие собой весьма сложные технические сооружения. Таким образом, грунтовая испытательная трасса – это оборудование, предназначенное для проведения испытаний и воссоздающее внешние воздействующие факторы на испытуемый объект с нормированной точностью.

В соответствии с определением [1, п. 17] грунтовая испытательная трасса относится к испытательному оборудованию, и на нее полностью распространяются все соответствующие требования. Причем, основным требованием является обязательное проведение первичной аттестации грунтовой испытательной трассы [2]. Необходимо подчеркнуть, что первичная аттестация любого испытательного оборудования, соответствующая по своему уровню метрологической аттестации, представляет собой весьма сложный и трудоемкий процесс.

Особенно остро эта задача стоит для сложных инженерных изделий и испытательного оборудования. Это в полной мере относится к автомобильной и гусеничной технике, а также к испытательным трассам.

Важной особенностью любых испытаний автомобильной и гусеничной техники (рис. 1) является большое количество определяемых параметров с весьма жесткими допусками на значения определяемых величин. Решить эти задачи на должном уровне можно только при использовании современных информационно-измерительных систем (ИИС) и информационно-измерительных комплексов (ИИК), позволяющих одновременно определять и обрабатывать большое число параметров.

К грунтовым испытательным трассам предъявляются весьма многочисленные требования по макро- и микро-профилю. К характеристикам макро-профиля относятся число поворотов, значения их радиусов, углы подъема, спуска и наклона, сопротивление движению и др. Характеристики микро-профиля определяются в основном значениями микронеровностей, их длиной волны, свойствами грунта.

На основные эксплуатационные свойства автомобильной и гусеничной техники – надежность, быстроходность, устойчивость машин – оказывает значительное влияние такая характеристика дороги, как микро-профиль. Комплексное воздействие неровности дороги обусловлено тем, что микро-профиль опорной поверхности не только формирует нагруженность многих агрегатов и машину в целом, но и ограничивает возможности реализации в полной мере многих важнейших параметров



Рис. 1. Многоцелевой транспортер (тягач) легкий бронированный

машины, таких как мощность, скорость, маневренность, грузоподъемность.

Профиль поверхности движения (опорной поверхности) воздействует на машину и на водителя, что проявляется в изменении скорости движения МГШ под влиянием колебаний и перегрузок, воздействующих на психофизиологические характеристики водителя. Колебания машины передаются водителю и вынуждают снижать скорость до такого значения, при котором он будет чувствовать себя по уровню вибронегруженности в зоне комфорта. Воздействие колебаний на организм человека вызывает повышенную утомляемость, увеличивает время его реакции, снижает координацию, остроту зрения и поле видимости.

Единичную неровность профиля можно оценить двумя параметрами: ее длиной и высотой (глубиной). Форманеровности принципиального значения не имеет, особенно если принять во внимание, что в действительности она искажается (сглаживается) движителем при перекачивании. Поэтому для оценки неровности дорожных поверхностей используют совокупность этих двух показателей. В простейшем виде дорогу того или иного типа можно охарактеризовать числом соответствующих неровностей на определенной длине маршрута. На основании обобщения результатов измерений на участках достаточно большой протяженности по дорогам всех видов можно найти осредненные значения длины и высоты неровностей, наиболее характерные для этих дорог, и в первом приближении классифицировать и сопоставлять дорожные условия по ожидаемому воздействию на машину.

Однако характеристику дороги по средним показателям типичных неровностей нельзя считать полной, так как по существу она не раскрывает структуры микро-профиля. Более достоверной и полной является статистическая оценка микро-профиля, получаемая обработкой значительных массивов экспериментальной информации обмера дорог специальными приборами и устройствами.

Статистические характеристики могут быть разными. Иногда для описания характера дорожных условий используют функции распределения высот и длин неровностей. Такой подход позволяет с большей полнотой оценить состав микро-профиля в зависимости от количества неровностей различного типа. При этом следует иметь в виду, что параметры неровностей для разных участков распределяются по разным законам, и в зависимости от объема выборки (экспериментальной информации) характер или вид распределения может изменяться. Поэтому построение статистических характеристик (кривых распределения параметров неровностей) требует измерений характеристик на маршрутах большой

протяженности, во всяком случае, всех наиболее характерных участков, чтобы получить характеристику, приближающуюся к действительной и отражающую всю совокупность дорожных условий. Как правило, для этого необходимо обмерить участки общей протяженностью в десятки километров.

Кривые распределения значений высоты и длины неровностей могут быть аппроксимированы функциями нормального распределения и распределения Вейбулла. Аппроксимация опытных данных позволяет найти плотность вероятности появления неровностей на дорогах того или иного вида и учесть это при проектировании автомобиля или гусеничной машины. Однако и этот способ статистического описания дорожных условий в виде отдельного группирования значений высоты и длины имеет существенный недостаток – он не позволяет «привязывать» высоту к «собственной» длине, т.е. оценивать профиль по составу реальных неровностей, для которых каждой длине соответствует своя высота. Поэтому в последние годы все более широкое применение для оценки ровности дорог находит спектральный анализ.

В настоящее время очень важно использовать компьютерные технологии в измерительных средствах, это позволяет с высокой достоверностью определять параметры исследуемых машин, их узлов, агрегатов и систем практически без увеличения погрешностей, присущих первичным преобразователям. Кроме того, накладываются определенные требования в зависимости от погодных условий и времени года.

В связи с жесткостью предъявляемых к грунтовым испытательным трассам требований и их обилием аттестация таких трасс представляет довольно сложные испытания. Особенно это относится к первичной аттестации, аналогичной, по сути, метрологическому исследованию параметров трассы. Так, например, при аттестации одного прямолинейного горизонтального участка трассы длиной 10000 м необходимо провести измерения параметров микро-профиля, как минимум, на двух представительных участках. Длина каждого участка должна быть не менее 400 м. Причем, измерения характеристик микро-профиля требуется проводить с шагом не более 0,5 м. Таким образом, даже при однократных измерениях для определения микро-профиля горизонтального прямолинейного участка грунтовой испытательной трассы длиной 10000 м требуется около 1600 измерений. Их следует выполнить для четырех времен года и различных погодных условий. Приведенный пример дает некоторое представление об объеме измерительной информации, которую необходимо получить в процессе первичной аттестации грунтовой испытательной трассы.

Естественно, что выполнить эту работу можно только используя самые современные ИИС, позво-



ляющие определять одновременно несколько параметров с последующей автоматизированной обработкой данных измерений и выдачей результатов в реальном масштабе времени. В настоящее время созданы ИИС, основанные на различных принципах работы первичных преобразователей (датчиков), предназначенные для определения характеристик автомобильной и гусеничной техники или для характеристик опорной поверхности. С точки зрения экономичности и обеспечения условий единства измерений наиболее целесообразно применение таких ИИС, которые позволяют определять как характеристики испытываемых машин, так и параметры испытательной трассы. Одна из таких ИИС – созданный во ФГУП НАТИ информационно-измерительный комплекс «МИГ», разработанный по модульной схеме с открытой архитектурой. Он позволяет проводить измерения значений давления, частоты вращения, температуры, электрического напряжения и силы тока и других физических величин.

С помощью этого комплекса можно определить разгонные и тормозные характеристики гусеничной машины, ее максимальную скорость, характеристики поворотливости и радиуса поворота, характеристики системы поддрессоривания, максимальную скорость движения, прохождения стандартных неровностей, значения максимальной неровности для различной скорости и др.

Помимо указанных физических величин комплекс позволяет определять динамические и кинематические параметры исследуемого объекта с помощью доплеровского измерителя скорости.

Важной характеристикой ИИК «МИГ» является возможность его использования на любой опорной поверхности, в том числе и водной.

Структурная схема этого комплекса представлена на рис. 2.

На схеме ДИС_{лб} и ДИС_{пб} – доплеровские измерители скорости левого и правого бортов, соответственно, (рис. 3). ИП – измерительные преобразователи (датчики) измеряемых физических величин.

ИИК «МИГ» построен по модульному принципу, позволяющему изменять и наращивать состав

измерительных каналов. Единственным условием для вновь включаемых в «МИГ» измерительных каналов является наличие соответствующих измерительных преобразователей, работа которых в данном случае может быть основана на любом физическом принципе.

В конструктивном плане ДИС представляет собой металлический корпус, внутри которого располагаются составные части.

Внешний вид ДИС при снятом кожухе представлен на рис. 3.

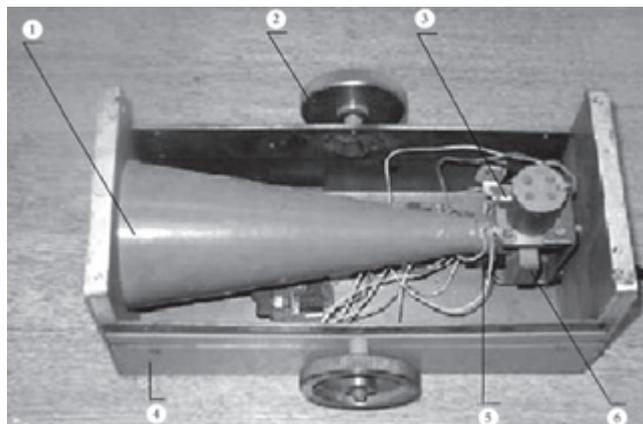


Рис. 3. Внешний вид ДИС: 1 – излучатель-приемник; 2 – кронштейны крепления; 3 – диод Гана; 4 – корпус; 5 – генератор; 6 – усилитель

Действие доплеровского измерителя скорости (ДИС) основано на изменении частоты принимаемого сигнала в зависимости от скорости исследуемого объекта.

Отличительной чертой этого комплекса является возможность измерения мгновенных скоростей обоих бортов и центра масс машины. Значения этих скоростей измеряются в горизонтальной и в вертикальной плоскостях. Полученная измерительная информация дает возможность определять как характеристики машины, так и параметры испытательной трассы (ее микро-профиль, углы подъема, спуска и наклона, радиусы поворотов и др.). Измерения мгновенных значений горизонтальной скорости центра масс машины позволяет полностью определить траекторию движения машины в плане, а следовательно, и вид в плане испытательной трассы со всеми поворотами.

Устройство ДИС представлено на рис. 4.

Принцип работы ДИС основан на эффекте Доплера. Этот эффект заключен в том, что если какое-то тело облучается сигналом определенной частоты, то частота отраженного сигнала зависит от того, находится тело в покое или движется. Если

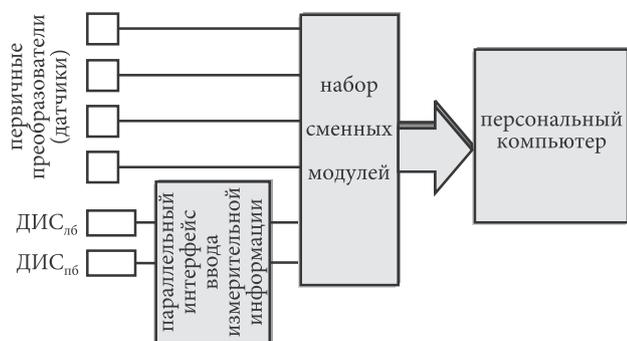


Рис. 2. Структурная схема ИИК «МИГ»

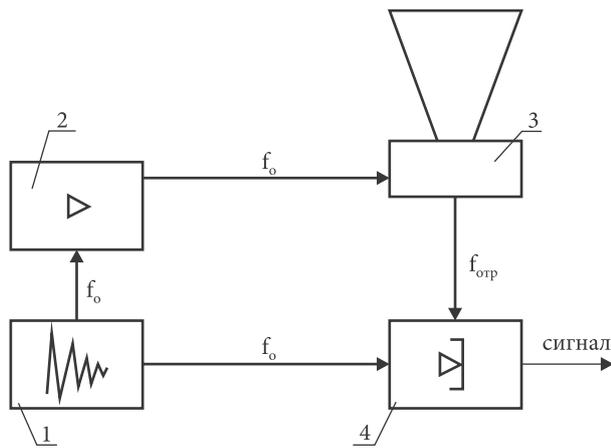


Рис. 4. Устройство ДИС: 1 – генератор частоты; 2 – усилитель сигнала; 3 – излучатель-приемник; 4 – диод Гана

тело удаляется от объекта излучения, то частота отраженного сигнала уменьшается, а длина волны увеличивается. Если тело приближается к источнику излучения, то частота отраженного сигнала возрастает.

Доплеровский сдвиг частоты $\Delta f = f_{из} - f_{прин}$, где $f_{из}$ и $f_{прин}$ – значения частот излучаемого и принимаемого сигналов, соответственно.

Доплеровский сдвиг длины волны:

$$\lambda - \lambda_0 = V \cdot \lambda_0 / C,$$

где λ – длина волны отраженного сигнала, м;
 λ_0 – длина волны излучаемого сигнала, м;
 V – скорость объекта, м/с;
 C – скорость света, м/с.

$$\lambda = C/f; \quad f = C/\lambda$$

$$C/f_{отр} - C/f_0 = V(C/f_0 \cdot C)$$

$$C/f_{отр} - C/f_0 = V/f_0$$

$$f_0 (C/f_{отр} - C/f_0) = V$$

$$V = (f_0/f_{отр}) \cdot C - C = C \cdot (f_0/f_{отр} - 1) = 3 \cdot 10^8 \cdot (f_0/f_{отр} - 1) \text{ м/с}$$

Изменение частоты отраженного сигнала жестко связано с его скоростью относительно источника излучения. Это дает возможность определить скорость перемещения объекта относительно источника излучения в направлении по оси луча на основании измерений смещения частоты излучаемого и принимаемого сигнала.

Используя принцип Даламбера можно считать, что если какое-то тело облучается сигналом определенной стабилизированной частоты, то частота отраженного сигнала зависит от того, находится ли тело в покое или движется относительно приемника сигнала.

Благодаря тому, что ДИС устанавливается под определенным углом к опорной поверхности (рис. 5), он позволяет определить значения состав-

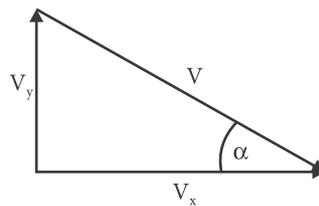


Рис. 5. План скоростей

ляющих скорости в двух плоскостях: параллельной опорной поверхности V_x (условно – горизонтальная составляющая) и нормальной к ней V_y (условно – вертикальная составляющая).

Мгновенные значения вертикальной составляющей скорости используются для определения характеристик подвески и плавности хода, а также при исследованиях микро-профиля, а горизонтальной – для определения скоростных характеристик машины и траектории ее движения, в частности – радиуса ее поворота. Имея мгновенные значения скорости левого и правого бортов машины относительно опорной поверхности, это легко сделать. Как видно из схемы, приведенной на рис. 6, радиус поворота центра масс машины:

$$R = \frac{B}{2} \cdot \left(\frac{V_{лб} + V_{пб}}{V_{лб} - V_{пб}} \right) = B \left(\frac{V}{V_{лб} - V_{пб}} \right),$$

где R – радиус поворота;

B – расстояние между осями ДИС левого и правого бортов;

$V_{лб}$ и $V_{пб}$ – значения скорости левого и правого бортов, соответственно;

V – скорость центра масс машины, равная полусумме значений скорости левого и правого бортов относительно опорной поверхности.

Указанный комплекс использовался для определения макро- и микро-профиля испытательной трассы и вида ее в плане. С целью достижения необходимой точности измерения значений скорости (относительная погрешность $\delta \leq 2,0\%$) частота излучаемого сигнала ДИС была выбрана $F = 10^9$ Гц (10 ГГц).

Метрологические характеристики ИИК «МИГ»:

1. Диапазон измерений скорости, м/с (0,5...19,4), (1,8...70) км/ч.

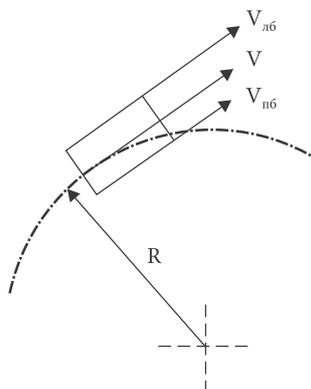


Рис. 6. Схема определения радиуса поворота



2. Погрешность измерения скорости, м/с $\pm 0,1$, ($\pm 0,35$) км/ч.
3. Угол установки оси излучателя относительно горизонтали машины, $\alpha = 10^\circ \pm 6'$.
4. Частота опроса, ГЦ 8,0.
5. Частота излучения ГГц $10 \pm 0,01$.
6. Напряжение питания, В 12 ± 2 .
7. Рабочая температура от 5°C до 55°C .
8. Относительная влажность от 5% до 90% при $+25^\circ\text{C}$.
9. Массовая концентрация пыли не более $2,5 \text{ г/м}^3$.
10. Присутствие паров вредных агрессивных веществ не допускается.

С помощью ИИК «МИГ» были определены радиусы поворота экспериментальной гусеничной машины МТ-ЛБ, снабженной гидрообъемно-механической трансмиссией.

Испытания полностью подтвердили работоспособность комплекса «МИГ». Результаты многократных измерений мгновенных значений скорости левого и правого бортов показали, что в диапазоне от 0,5 м/с до 10 м/с суммарная относительная погрешность измерения этих параметров не превышает 1,6%, а радиуса поворота – 4,8%, что вполне соответствует установленным требованиям.

Для примера на рис. 7 и 8 приведены результаты определения радиуса поворота гусеничной машины МТ-ЛБ с гидрообъемномеханической и механической трансмиссией при различных значениях скорости движения.

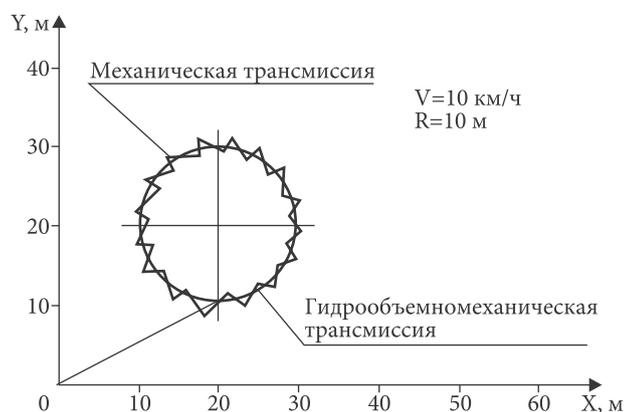


Рис. 7. Результаты измерения радиуса поворота при $V=10 \text{ км/ч}$

Значения высот микро-профиля h получают как промежуточные результаты при численном интегрировании вертикальной составляющей скорости V_y на исследуемом участке S по следующей формуле:

$$h = \int_{t_0}^t V(t) dt$$

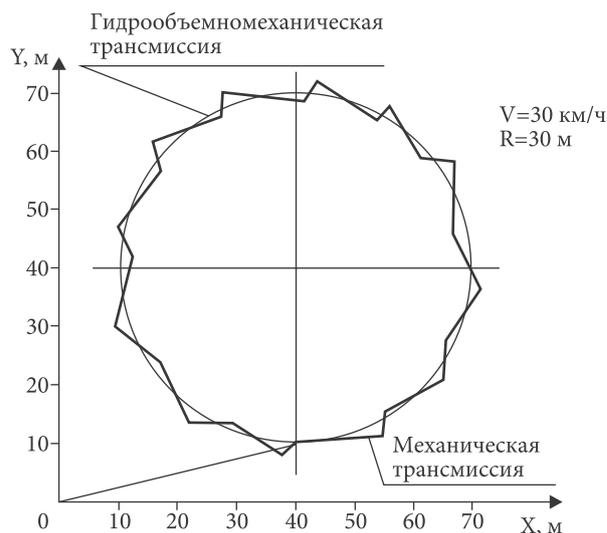


Рис. 8. Результаты измерения радиуса поворота при $V=30 \text{ км/ч}$

Вычисления значений высоты неровностей микро-профиля проводились в соответствии со схемой, представленной на рис. 9.

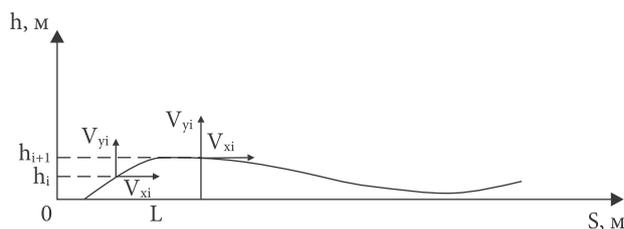


Рис. 9. Схема вычисления высоты неровности

Согласно этому алгоритму каждое последующее значение высоты микро-профиля определяется на основе предыдущего значения высоты путем прибавления значения приращения высот и определяется по формуле $\Delta h = V_i \cdot \Delta t$, где V_i – скорость в предыдущей точке.

Рабочая формула:

$$h_{i+1} = V_{yi} \cdot \Delta t + h_i$$

где V_{yi} – мгновенные значения вертикальной составляющей скорости;
 Δt – время, через которое производятся измерения;
 h – ордината, значение высоты микро профиля.

Сравнение результатов измерения высот неровностей трассы, полученных с помощью ИИК «МИГ» и с помощью теодолита, показало, что различие между ними не превышает 0,5%.

Литература

1. ГОСТ 16504-81 «СГИП. Испытания и контроль качества продукции. Основные положения».
2. ГОСТ 8.568-97 «ГСИ. Аттестация испытательного оборудования. Основные положения».