

ИСПЫТАНИЯ ВИРТУАЛЬНОГО ПРИБОРА ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ СУММАРНОГО ЛЮФТА РУЛЕВОГО УПРАВЛЕНИЯ ТРАНСПОРТНОГО СРЕДСТВА

Смоленков Ф.Ю., Акимкин А.В.,

Научный руководитель к.т.н., доцент Блянкинштейн И.М.

Сибирский федеральный университет

На кафедре «Транспорт» Политехнического института Сибирского федерального университета разработан виртуальный люфтомер рулевого управления транспортных средств [1]. Принцип действия виртуального люфтомера основан на измерении угла поворота рулевого колеса автомобиля посредством видеорегистрации угла поворота управляемого колеса веб-камерой 1, размещаемой на рулевом колесе соосно его оси вращения, и видеорегистрации начала движения управляемого колеса веб-камерой 2, размещаемой на управляемом колесе, при выборе люфта рулевого управления в обоих направления вращения руля и последующем анализе синхронизированных видеопотоков.

Кафедрой «Транспорт» была поставлена задача испытания его и определения основных показателей эксплуатационных свойств.

Цель испытаний: определить работоспособность виртуального люфтомера и его метрологические характеристики.

Методика испытаний свойств виртуального прибора контроля суммарного люфта рулевого управления (СЛРУ) АТС включала два этапа:

1) оценку метрологических характеристик на сертифицированном стенде для поверки люфтомеров СПЛ-МЕТА М 036.830.00, заводской № 48, внесенном в Госреестр СИ за № 34184-07, свидетельство о метрологической поверке № 179541.

2) сличительные испытания и оценку выборочных показателей эксплуатационных свойств по сравнению с лучшим из российских аналогов – люфтомером ИСЛ-М, заводской № 8596, внесенным в Госреестр СИ за № 8596, путем одновременного (параллельного) проведения измерений СЛРУ одного АТС двумя приборами.

Оценка метрологических свойств люфтомера на стенде СПЛ-МЕТА осуществлялась следующим образом.

Кронштейн первой веб-камеры люфтомера разместили на рулевом колесе стенда СПЛ-МЕТА. Экран с красными метками разместили в фокусе веб-камеры 1 люфтомера. Вторую веб-камеру разместили горизонтально на кронштейне, индикатор часового типа ИЧ-10 закрепили вертикально, а на его выходном рычаге жестко подвесили экран с красной меткой. Вращением приводного винта индикатора ИЧ-10 можно осуществлять контролируемое (от 0,01 мм и более) перемещение экрана с красной меткой в вертикальной плоскости.

Вначале провели оценку точности измерения угла поворота рулевого колеса виртуальным люфтомером. Для этого поворачивали рулевое колесо стенда СПЛ-МЕТА от вертикальной линии, проходящей через центры красных кругов, на угол ≈ 10 град. Фиксировали фактический угол по цифровому индикатору стенда СПЛ-МЕТА, а измеренный угол по показаниям виртуального люфтомера (угол поворота первой веб-камеры) определяли в окне интерфейса ПО.

Провели 20 измерений, поворачивая рулевое колесо каждый раз на 10 град. Далее провели измерения поворачивая рулевое колесо на угол от 5° до 35° с шагом 5° .

Затем определили чувствительность люфтомера в определении начала движения управляемого колеса (начала перемещения красной метки в фокусе второй веб-камеры). Для этого инициировали процесс измерения люфта включением ПО и медленным вращением приводного винта индикатора ИЧ-10 перемещали подвешенный экран вниз

до момента смещения изображения, срабатывания ПО и подачи звукового сигнала и также обратно вверх. Зафиксированные величины линейного перемещения экрана с меткой вниз и вверх регистрировали в соответствующем протоколе.

Сличительные испытания эксплуатационных свойств люфтомера проводили параллельным измерением суммарного люфта АТС виртуальным люфтомером и серийно произведенным люфтомером ИСЛ-М.

На кронштейне применяемого серийного люфтомера ИСЛ-М, установленного на рулевом колесе автомобиля, крепилась веб-камера 1. Экран веб-камеры 1 с красными метками крепился на спинке водительского сиденья в фокусе веб-камеры 1. Веб-камера 2 крепилась с помощью кронштейна на правом переднем управляемом колесе. К этому же колесу устанавливался «родной» индукционный датчик люфтомера ИСЛ-М, определяющий начало движения колеса. Экран с красными метками веб-камеры 2 устанавливался параллельно контролируемому колесу (в фокусе веб-камеры 2) на подставке. Ноутбук с установленным ПО в процессе измерений размещался на пассажирском сиденье контролируемого АТС.

В процессе испытаний и исследований виртуального люфтомера определялись факторы и условия, влияющие на точность измерения.

Статистическая проверка гипотез. Для анализа сходимости результатов показаний стенда СПЛ-МЕТА и виртуального люфтомера, а также результатов параллельных измерений серийным люфтомером ИСЛ-М и разработанным виртуальным люфтомером применяем процедуру статистической проверки гипотез для двух групп измерений [2, 3].

1. Гипотеза $H_0 E\{x\} = E\{z\}$ – о равенстве средних относительно альтернативы $H_1 E\{x\} \neq E\{z\}$.

2. Гипотеза $H_0 \sigma_x^2 = \sigma_z^2$ – о равенстве дисперсий относительно альтернативы $H_1 \sigma_x^2 \neq \sigma_z^2$,

где $E\{x\}$ и σ_x^2 – математическое ожидание и дисперсия выборки x_i , ($i = 1, 2, \dots, n$) – это измерения, полученные виртуальным люфтомером;

$E\{z\}$ и σ_z^2 – математическое ожидание и дисперсия выборки z_j ($j = 1, 2, \dots, m$) – это измерения, полученные серийным люфтомером ИСЛ-М.

Предполагая, что выборки x_i ($i = 1, \dots, n$) и z_j ($j = 1, \dots, m$) независимы и получены из некоторых нормальных генеральных совокупностей, проверку гипотезы $H_0 E\{x\} = E\{z\}$ относительно альтернативы $H_1 E\{x\} \neq E\{z\}$ проводим [2, 3] на основании двустороннего критерия Стьюдента, который имеет вид

$$t = \frac{x_{cp} - z_{cp}}{\sigma} \sqrt{\frac{n \cdot m}{n + m}}, \quad (1)$$

где

$$\sigma = \sqrt{\frac{(n-1) \cdot \sigma_x^2 + (m-1) \cdot \sigma_z^2}{n + m - 2}}. \quad (2)$$

Случайная величина t при условии справедливости нулевой гипотезы имеет распределение Стьюдента с числом степеней свободы $f = n + m - 2$ и параметрами, которые определяются объемами выборок и полученными численными значениями x_i ($i = 1, 2, \dots, n$) и z_j ($j = 1, 2, \dots, m$).

На основании вышеизложенного порядок проверки гипотез будет следующим:

1. Расчет величины t (3.8).

2. Выбор уровня значимости 2β и определение по таблицам распределения Стьюдента [2, 3] границ критической области $t_{2\beta, f}$.

3. Сравнение расчетного значения $|t|$ с $t_{2\beta, f}$.

4. Формулирование выводов: нулевая гипотеза $H_0 E\{x\} = E\{z\}$ справедлива, когда $|t| < t_{2\beta, f}$, в противном случае гипотеза отвергается.

Проверку гипотезы $H_0 \sigma_x^2 = \sigma_z^2$ проводим по критерию, основанному на распределении статистики,

$$F = \max [\sigma_x^2 / \sigma_z^2 ; \sigma_z^2 / \sigma_x^2]. \quad (3)$$

Если рассчитанное значение F меньше табличного F_{β}^+ , то гипотезу $H_0 \sigma_x^2 = \sigma_z^2$ будем считать справедливой. При таком правиле проверки гипотезы H_0 вероятность ее отвергнуть, когда она правильная, не превышает 2β .

Таким образом, если гипотезы о равенстве дисперсий и о равенстве средних будут справедливы, то можно с высокой вероятностью утверждать, что показания виртуального люфтомера идентичны показаниям стенда СПЛ-МЕТА, а также показаниям серийного люфтомерам ИСЛ-М.

Результаты метрологических испытаний виртуального люфтомера

По методике, изложенной выше, проведены испытания виртуального прибора на точность определения угла поворота рулевого колеса. По результатам испытания виртуального люфтомера на стенде СПЛ-МЕТА получили две выборки: эталонные показания стенда СПЛ-МЕТА и показания виртуального люфтомера.

Для анализа сходимости результатов показаний стенда СПЛ-МЕТА и виртуального люфтомера проводим проверку гипотезы о равенстве средних:

Рассчитанное приведенное отклонение (формула 2) составляет: $\sigma = 0,119$.

Расчетное значение t-критерия Стьюдента (формула 1) составляет: $t = 0,266$

Табличное значение $t_{2\beta, f}$ для уровня значимости $2\beta = 0,10$ и $f = 38$ составляет 1,684.

Нулевая гипотеза о равенстве средних (условие $|t| < t_{2\beta, f}$) выполняется, так как в нашем случае выполняется условие $0,266 < 1,684$.

Оценка чувствительности определения начала движения управляемого колеса.

В соответствии с порядком, проводили оценку чувствительности виртуального люфтомера в определении начала движения управляемого колеса (начала перемещения красной метки) при различных расстояниях от объектива веб-камеры до экрана и различных размерах маркированного красного круга на экране.

Как следует из испытаний, чем ближе веб-камера располагается к экрану, тем выше её чувствительность к началу перемещения маркера (движения управляемого колеса). При расстоянии 40 мм чувствительность веб-камеры соответствует и даже превышает чувствительность индукционного датчика движения колеса.

Результаты сличительных испытаний люфтомеров

По методике, изложенной выше, проведены сличительные испытания виртуального прибора на точность определения угла поворота рулевого колеса в сравнении с лучшим из российских аналогов люфтомером ИСЛ-М. По результатам сличительных испытаний виртуального люфтомера и ИСЛ-М получили две выборки: показания ИСЛ-М и показания виртуального люфтомера.

Для анализа сходимости результатов показаний ИСЛ-М и виртуального люфтомера проводим проверку гипотезы о равенстве средних:

Статистическая проверка гипотез. Пример проверки гипотез на автомобиле Toyota Land Cruiser 200:

Приведенное отклонение (формула 2): $\sigma = 0,241$.

Расчетное значение критерия Стьюдента (формула 1): $t = 2,245$.

Нулевая гипотеза о равенстве средних (условие $|t| < t_{2\beta, f}$) выполняется, так как в нашем случае выполняется условие $2,245 < 2,552$.

Проверку гипотезы о равенстве дисперсий проводим по критерию, основанному на распределении статистики:

Расчетное значение F-критерия, основанного на распределении статистики (формула 3): $F = 1,1$.

Так как расчетное значение F меньше табличного значения F_{β}^+ ($1,1 < 2,32$) при $\beta = 0,05$, то гипотеза о равенстве дисперсий также принимается.

Выводы

В результате проведенных испытаний можно констатировать следующее:
виртуальный люфтомер функционирует;

среднеквадратические отклонения определения угла поворота рулевого колеса веб-камерой относительно эталонного значения, определяемого на стенде СПЛ-МЕТА, по совокупности измерений составляют 0,12–0,25 град;

чувствительность датчика (веб-камеры) определения начала движения управляемого колеса зависит от расстояния между объективом веб-камеры и экраном. Чем ближе веб-камера к экрану, тем выше чувствительность в определении начала движения колеса. При расстоянии в 40 мм чувствительность составляет 0,08 мм, что сопоставимо и даже превышает регламентированную чувствительность индукционного датчика ($0,1 \pm 0,05$ мм), или в пересчете на угловое перемещение колеса $\alpha = (0,038 \pm 0,019$ град) движения колеса серийного люфтомера ИСЛ-М;

сличительные испытания виртуального люфтомера с люфтомером ИСЛ-М свидетельствуют о сходных результатах измерений.

Из анализа формулы определения максимальной погрешности измерения СЛРУ, применяемой для серийно-производимых люфтомеров ИСЛ-М [4],

$$\Delta = \Delta_1 + \Delta_2, \quad (4)$$

где Δ_1 – абсолютная погрешность измерения угла поворота рулевого колеса; Δ_2 – абсолютная погрешность измерения угла поворота управляемого колеса, и полученных в испытаниях данных можно сделать вывод, что испытанный виртуальный люфтомер обладает метрологическими характеристиками, достаточными для его практического применения, так как вполне укладывается в максимальную погрешность измерения 0,5 град, установленную ГОСТ Р 51709–2001 [5].

Список литературы:

1. Пат. 2457457 РФ, МПК G 01 N 17/06. Способ измерения суммарного люфта рулевого управления автотранспортного средства./И.М. Блянкинштейн, В.И. Иванов, С.А. Храмов, Д.А. Храмов; заявитель и патентообладатель Сиб. федер. ун-т.-№ 2011111975/11 (017644); заявл. 29.03.2011; опубл. 27.07.2012, Бюл. № 21.-10с.: ил.)

2. Шаракшанэ, А.С. Сложные системы / А.С. Шаракшанэ, И.Г. Железнов, В.А. Иваницкий. – М.: Высш. Шк., 1977.-248 с.

3. Беловолов В.Г., Блянкинштейн И.М. Применение математических методов при обработке экспериментальных данных: мет. указания. / В.Г. Беловолов., И.М. Блянкинштейн- Красноярск: Красноярский Политехн. ин-т, 1989.-44с.

4. Научно-производственная фирма «МЕТА». Паспорт М 036.000.00-02 ПС Измеритель суммарного люфта рулевого управления автотранспортных средств «ИСЛ-М», 2012.-15 с.

5. ГОСТ Р 51709-2001 «Автотранспортные средства. Требования безопасности к техническому состоянию и методы проверки»