

Новые разработки и метрологические подходы в области автомобильных весов на примере Систем дорожного контроля СДК.Ам

В.А.Вдовин, НИПВФ «Тензор», Ростов-на-Дону
(доклад на семинаре в УНИИМ, г.Екатеринбург, 14.03.2017)

Фирма Тензор уже более 20 лет производит весы для взвешивания транспортных средств, в том числе подвижного состава железнодорожного транспорта и автодорожного транспорта в движении.

Все это время ведутся работы по улучшению технических и метрологических характеристик выпускаемых средств измерений. Остановившись на результатах, достигнутых ранее, не позволяет наш динамично меняющийся мир. Меняются характеристики транспортных средств, грузовые автомобили значительно увеличили грузоподъемность, появились новые типы, например четырехосные самосвалы со сдвоенной передней тележкой, меняются представления о точности измерений, появляются новые редакции стандартов, рекомендаций, да и само понятие погрешности измерений претерпевает изменения. Поэтому, чтобы показать новизну в подходе к взвешиванию транспортных средств, обратим взор назад и проследим путь, который пройден за эти 20 лет на примере Систем дорожного контроля или СДК.

Первое поколение весов выпускалось с 1994 по 2001 год. Свидетельство об утверждении типа СДК.А было получено в сентябре 1996 г. На тот момент не было ни одного стандарта, который бы регламентировал взвешивание в движении. ГОСТ 30414-96 «Весы для взвешивания транспортных средств в движении. Общие технические требования» был введен в действие с 1 июля 1998 года, поэтому при разработке своих документов мы опирались на ГОСТ 29329-92 «Весы для статического взвешивания. Общие технические требования» и распространили основные положения этого стандарта на взвешивание в движении и по частям. Были установлены пределы абсолютной погрешности измерений, как для массы, так и осевых нагрузок ТС. В режиме статических измерений пределы погрешности измерений осевых нагрузок составляли ± 100 кг, в режиме динамических измерений ± 1000 кг. Предел погрешности измерений массы вычислялся алгебраическим суммированием пределов погрешности осевых нагрузок. Быстрое развертывание стационарных постов весового контроля на дорогах общего пользования в 1996 -1998 годах показало хорошее соответствие установленных пределов погрешности измерений реальным результатам взвешивания в условиях эксплуатации и в целом удовлетворяло поставленной задаче – обеспечению сохранности дорог, ведь основным фактором, приводящим к разрушению дорог, является воздействие нагрузки от оси ТС. Однако пределы погрешности массы оказались неоправданно завышены. Погрешность тонна на ось быстро стала негласным стандартом для перевозчиков и многие искренне верили, что максимальная допускаемая нагрузка от одиночной оси не должна превышать не 10, а 11 тонн.

После введения ГОСТ 30414-96 были пересмотрены и метрологические характеристики СДК.А. В основу оценки пределов погрешности измерений были положены принципы ГОСТ 30414-96, а именно использование относительной погрешности. Диапазон измерений осевой нагрузки был разбит на два интервала, в интервале от минимальной границы до 35% от максимальной границы диапазона

установлены пределы относительной погрешности, приведенные к верхней границе интервала, а свыше пределы относительной погрешности от измеряемого значения. Однако от принципа, что при поверке погрешность измерений не должна превышать половины допускаемой в эксплуатации пришлось отказаться. Этот пережиток, доставшийся ГОСТ 30414-96 от ГОСТ 29329-92 на практике не имеет под собой обоснования. Возможное увеличение погрешности измерений при статическом взвешивании объяснялось износом средств измерений, поэтому при выпуске из производства или после ремонта устанавливались повышенные требования к точности (см. ГОСТ 29329-92 Таблицу 3). При взвешивании в движении также имеет место износ весов и прилегающих участков дороги, но основной вклад в погрешность измерений вносит неопределенность самого объекта измерений – автомобиля. Поэтому при модернизации СДК.А в 2000 году была поставлена и решена задача оценки качества измерения на основе анализа осциллограмм проезда ТС и автоматического отнесения результата взвешивания к одному из 5 нормированных пределов погрешности измерений, благо, что развитие вычислительной техники позволило реализовать решение данной задачи. В 2001 году было получено свидетельство об утверждении типа СДК.Ам, где впервые были заложены принципы автоматического определения пределов погрешности измерений или отклонения результатов измерений при выявлении недопустимых значений влияющих факторов.

Появившаяся возможность записи в память компьютера осциллограмм проезда ТС и возросшие вычислительные способности персональных компьютеров позволили применить более сложные математические методы обработки исходного сигнала и существенно повысить точность измерений. При соблюдении требований к условиям измерений и ограничении скорости движения транспортных средств во время взвешивания в интервале 3-5 км/ч удалось добиться неопределенности измерений массы не более 0,2% от измеряемой величины. То есть, фактическая погрешность измерений массы ТС в движении, при заявленных минимальных пределах погрешности измерений в 1%, сравнялась с погрешностью измерений на весах для статического взвешивания. Иногда при поверке метрологи вынуждены были записывать в свидетельство о поверке, что погрешность измерений в движении в интервале скоростей до 5 км/ч равна 0.

СДК.Ам выпускались 10 лет и открыли новые сферы применения – коммерческое взвешивание. СДК.Ам стали применять на станциях по переработке твердых бытовых отходов, карьерах нерудных материалов, понтонных переправах. В сочетании с устройствами автоматической идентификации ТС, управления движением и хранения результатов измерений в базе данных СДК.Ам стали незаменимы в работе предприятий. Удачная конструкция грузоприемного устройства в сочетании с квалифицированным обслуживанием обеспечивает многолетнюю эксплуатацию, некоторые экземпляры систем работают уже по 20 лет.

В 2011 году была начата работа по дальнейшей модернизации СДК, которая привела к появлению в 2013 году Систем дорожного контроля третьего поколения, которые вобрали в себя лучшие решения, прошедшие проверку временем и новейшие исследования в части метрологического обеспечения взвешивания в движении.

Испытания шли 3 года и совпали по времени с разработкой в рамках гармонизации стандартов нового межгосударственного стандарта «Весы автоматические для

взвешивания транспортных средств в движении» на основе международных рекомендаций OIML R 134-1. Во время подготовки к испытаниям рассматривалась возможность применения положений OIML R134-1 при формировании метрологических требований к СДК.Ам. В процессе испытаний были выявлены существенные ошибки в OIML R 134-1, которые не позволили опереться на данные рекомендации в полной мере. В результате, был разработан принципиально новый, *не имеющий аналогов в мире*, подход к нормированию и оценке пределов допускаемой погрешности измерений при взвешивании ТС в движении. Разработана и подтверждена испытаниями *модель неопределенности измерений весовых параметров транспортных средств при взвешивании по частям*. Была разработана по сути *референтная методика измерений опорных значений осевых нагрузок контрольных автомобилей* и методика поверки, которая позволяет в случае отсутствия контрольных весов для статического взвешивания провести поверку, используя эталонные грузы. Проблема поверки заключалась в том, что *не существует эталона осевой нагрузки*. Опираясь на положения ГОСТ Р ИСО 5725-1-2002 «Точность (правильность и прецизионность) методов и результатов измерений», для определения опорных значений осевых нагрузок контрольных ТС были использованы методы измерений и оценки неопределенности измеренных значений, применяемые для эталонных образцов. Результатом этих исследований и испытаний явилась разработка метрологических рекомендаций МИ–3410 «Системы дорожного контроля измерительные СДК.Ам. Методика поверки» и получение свидетельства об утверждении типа систем дорожного контроля СДК.Ам № 51469 от 17.07.2013.

СДК.Ам калибруется при изготовлении и юстируется на месте эксплуатации с помощью гирь в полном соответствии с ГОСТ 8.021-2005 – «ГСИ. Государственная поверочная схема для средств измерений массы». По опыту эксплуатации, при правильном и своевременном техническом обслуживании, метрологические характеристики СДК.Ам сохраняются на весь срок службы весоизмерительных датчиков. *Использование контрольных ТС для калибровки и юстировки СДК.Ам не требуется.*

СДК.Ам на основе анализа информации, полученной в процессе взвешивания в движении, автоматически производит оценку неопределенности результатов измерений осевых нагрузок и массы ТС и доверительных границ погрешности с вероятностью 0,95 и автоматически назначает ближайшие большие пределы допускаемой погрешности для каждой оси и массы ТС из установленного ряда значений. Таким образом, с вероятностью больше чем 0,95 фактическая погрешность измерений не превышает автоматически назначенных пределов. Если какой-либо фактор (ускорение, торможение, неравномерность осевой нагрузки) выходит за границы рабочего диапазона, то такой результат измерений считается оценочным, а пределы погрешности измерений не назначаются.

В общем случае результат измерения осевой нагрузки рассматривается как мгновенная реализация на момент проезда оси через грузоприемное устройство весов, а разброс показаний при повторных измерениях соответствует амплитуде колебаний осевой нагрузки ТС во время движения. Амплитуда колебаний ТС с механической подвеской без демпфирования может достигать 25% и более.

Увеличить точность измерений в движении можно, если результат измерения осевой нагрузки рассматривать, например как среднее ряда значений, полученных во

время нахождения оси на грузоприемном устройстве весов. Существенное увеличение точности можно получить, если время нахождения оси на грузоприемном устройстве весов больше или равно периоду собственных колебаний ТС. Как правило, ТС разрабатывают таким образом, чтобы при номинальной загрузке собственные колебания подвески имели частоту, не превышающую 2 Гц.

Например для СДК.Ам размер грузоприемной площадки вдоль направления движения составляет 1 м. Эффективный размер, когда пятно касания от колес оси ТС целиком находится на ГУ составляет примерно 0,8 м. Рассчитаем критическую скорость ТС при которой время проезда оси равно периоду колебаний, если частота колебаний равна 2 Гц:

Для конкретного ТС и типа систем взвешивания критическая скорость может смещаться в зависимости от собственной частоты колебаний ТС и эффективного размера грузоприемной платформы. В качестве пределов погрешности измерений на скорости ниже критической могут быть установлены любые пределы погрешности из стандартного ряда в зависимости от оценки неопределенности измерения. На скорости выше критической недостаточно информации для точных измерений и нет оснований считать, что погрешность измерений осевых нагрузок может принимать значения менее 8%.

В качестве стандартного ряда пределов погрешности измерений осевых нагрузок, используем значения и обозначения из рекомендации OIML R 134-1: А – 1%, В – 2%, С – 3%, D – 4%, Е – 8%, F – 16%. Пределы погрешности измерений массы могут принимать значения 1%, 2%, 3%, 7%, 10%, 15%. В случае принятия другого ряда стандартных значений пределов погрешности измерений системы СДК.Ам могут быть легко модифицированы простой заменой ряда пределов погрешности, причем алгоритм оценки неопределенности измерений остается неизменным.

Очевидно, что при дискретизации измерительного сигнала по времени, ряд измерений, пока ось катится по грузоприемному устройству, можно рассматривать как серию одиночных измерений. Естественно среднее значение рассматривать как результат измерения осевой нагрузки путём обработки некоторого числа измерений за время движения оси по грузоприемной площадке, где каждое единичное измерение i -той осевой нагрузки, полученное при дискретизации по времени непрерывного аналогового сигнала с датчиков грузоприемного устройства, имеет свой порядковый номер измерения осевой нагрузки $I_{i,n}$.

В результате обработки полученных таким образом данных измерений получаем стандартную неопределенность измерения осевой нагрузки, среднее значение I_i которой для каждой i -той осевой нагрузки, принимаем за окончательный результат измерения.

Оценку доверительных границ относительных погрешностей измерений для осевой нагрузки и для массы ТС определяем как результат измеренных значений массы ТС при взвешивании по частям с коэффициентом охвата k_o равным 2 при доверительной вероятности $p=0,95$ и равным 3 при $p=0,99$ для стандартной неопределенности с неисключенной систематической погрешностью Θ_i прямых измерений i -той части из N частей ТС и с поправочным коэффициентом k , учитывающим систематические отклонения при измерении осевых нагрузок в движении, принимаемым равным 1,1.

Этот подход позволяет автоматически назначать пределы погрешности измерений для каждой оси и массы ТС при однократном взвешивании в зависимости от вида осциллограммы и других влияющих факторов, что и было реализовано в СДК.Ам.

Грузоприемное устройство СДК.Ам устанавливается на бетонный фундамент и имеет большой запас прочности. Грузоприемная платформа подвешена внутри рамы на датчиках растяжения, что делает Систему нечувствительной к воздействию тангенциальных усилий.

Для взвешивания в движении без ограничения скорости и контрольного взвешивания с остановкой каждой оси на грузоприемной платформе применяются однотипные грузоприемные модули, которые могут различаться только наличием или отсутствием защитного полимерно-металлического настила.

Системы оснащены устройствами:

- видеонаблюдения и автоматической записи изображения ТС в момент взвешивания;
- автоматического распознавания государственного регистрационного номера;
- автоматического управления движением во время взвешивания с помощью светофоров и громкой связи;

В программном обеспечении СДК.Ам предусмотрено измерение статических осевых нагрузок ТС в автоматическом режиме, то есть результат измерения осевой нагрузки не зависит от действий оператора или водителя – осевая нагрузка будет автоматически зафиксирована только при условии, что ось находится над центральной зоной грузоприемной платформы, а показания стабилизировались.

Проверка СДК.Ам проводится с использованием гирь и контрольного ТС с числом осей больше 2-х, и осуществляется в течение одного рабочего дня. Межповерочный интервал составляет 1 год. Ухудшение метрологических характеристик системы в течение межповерочного интервала не происходит.

Использование мощной базы данных Firebird для хранения информации и работы с ней позволило сохранять не только результаты измерений, но и исходные данные для их расчета, что облегчает решение спорных вопросов при наличии разногласий сторон с результатами измерений.

Результат измерения сопровождается фотоизображением автомобиля в целом и крупным планом с целью распознавания государственного регистрационного номера. На экран может быть выведена осциллограмма прямых измерений осевых нагрузок ТС.

Дополнительно, при взвешивании в движении, программное обеспечение автоматически определяет расстояния между осями и тип ТС, а также оценочные значения скорости для каждой оси.

База данных результатов измерений движущихся в потоке ТС формируется автоматически с фиксацией даты и времени проезда.

Для выполнения задач весового контроля предусмотрена возможность выявления ТС с нарушениями установленных норм максимально допустимой массы и (или) осевых нагрузок в соответствии с действующим законодательством и нормативными документами. После внесения дополнительной информации о маршруте движения и грузоперевозчике, программа рассчитывает ущерб, причиненный дорогам, а также позволяет распечатать соответствующие документы: Акт и расчетный лист.

Маршрут движения ТС удобно вводить, используя встроенную в программу карту автомобильных дорог. Редактор карт позволяет для каждой дороги в соответствии с ее паспортными данными вводить все пункты и узлы пересечения с другими дорогами, включая их координаты. Для прокладки маршрута достаточно указать начальный пункт, узел, где маршрут переходит на другую дорогу, выбрать дорогу из предлагаемого списка, следующий узел или конечный пункт. В помощь оператору по введенным буквам программа подсказывает возможные населенные пункты и наименования автомобильных дорог. Теперь карта может храниться на севере базы данных и все изменения, вносимые в карту дорог одновременно становятся доступными для каждого экземпляра СДК. Ам включенного в виртуальную сеть Службы весового контроля.

В настоящее время фирма Тензор завершает работы по испытанию устройств габаритного контроля взвешиваемых ТС на основе систем технического зрения, позволяющих получить 3D изображение объекта, определить его геометрическую форму и размеры с высокой точностью.

Предусмотрена возможность удаленного просмотра данных о работе постов весового контроля через браузер с любого, подключенного к интернету устройства, например планшета или Smart TV.

Перечисленные выше свойства СДК позволяют охарактеризовать их как надежное, долговечное, удобное в эксплуатации средство весового контроля транспортных средств, которое доказало свою состоятельность за 20 лет эксплуатации этих систем. В настоящий момент подавляющее число СПВК в России оборудовано системами автоматического взвешивания в движении и весами для контрольного взвешивания именно производства фирмы Тензор.

Средний срок службы Систем составляет не менее 10 лет. В СДК. Ам применяются весоизмерительные датчики, аппаратное и программное обеспечение разработки и производства фирмы Тензор. Россия, используя данное оборудование, не зависит от политической и экономической обстановки, складывающейся за ее пределами.

По данным на 2013 год Системами дорожного контроля производства фирмы «Тензор» было оборудовано 73 СПВК на дорогах общего пользования и 27 Автомобильных пункта пропуска (АПП) через государственную границу в России и 2 АПП в Республике Беларусь. Всего, с начала производства фирма «Тензор» выпустила более 500 экземпляров СДК.

В настоящее время актуальным становится применение СДК. Ам не только для осуществления весового контроля на дорогах общего пользования или коммерческого взвешивания, но и *в качестве контрольных весов*. Это вызвано изменениями принципов весового контроля, которые в настоящее время готовятся к применению. Предполагается, что взвешивание ТС с целью выявления и наказания нарушителей установленных норм весовых параметров будет осуществляться без остановки ТС и фактически без права контрольного взвешивания, что вызывает необходимость более тщательного контроля загрузки автомобилей перед выездом в путь. По сути, возникает необходимость реанимировать «Соглашение о введении международного сертификата взвешивания грузовых транспортных средств» стран СНГ в рамках Конвенции о Гармонизации от 16 апреля 2004 г. В Соглашении установлены «Требования к станциям взвешивания» и

«Порядок оформления и использования Сертификата», в том числе требования к точности: *весы должны соответствовать ряду 0,5; 1,0; 2,0 классов точности.*

СДК.Ам полностью соответствует требованиям данного Соглашения. Пределы погрешности измерений осевых нагрузок свыше 6 тонн и массы груженых ТС в режиме статических измерений не превышают $\pm 1\%$. Результат *добровольного контрольного взвешивания* ТС на станции взвешивания с использованием СДК.Ам может служить официальным основанием для оформления разрешений на перевозку тяжеловесных неделимых грузов или оформления международного сертификата взвешивания, а также могут быть использованы при возникновении разногласий с результатами автоматического взвешивания.

Данные контрольного статического взвешивания следует использовать и для контроля погрешности систем взвешивания в движении без ограничения скорости, в том числе для проведения автоматической самонастройки (калибровки) систем взвешивания типа Strip HS WIM.