

**СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТРЕБОВАНИЙ К
ГЕОМЕТРИЧЕСКИМ ЭЛЕМЕНТАМ АВТОМОБИЛЬНЫХ
ДОРОГ НА УЧАСТКАХ С АВТОМАТИЧЕСКИМИ ПУНКТАМИ
ВЕСОГАБАРИТНОГО КОНТРОЛЯ**

Канд. техн. наук **И.А. Рахимова**,
инженер **М.Д. Филиппов**
(ФАУ «РОСДОРНИИ»)

Контактная информация: rakhimova@rosdornii.ru;
filippov@rosdornii.ru

В статье описаны предложения по нормированию требований к геометрическим параметрам участков автомобильных дорог с автоматическими пунктами весогабаритного контроля (АПВГК), представлено обоснование таких требований, а также выполнен сравнительный анализ с действующими требованиями к участкам автомобильных дорог с АПВГК за рубежом. Показано, что к геометрическим параметрам участков автомобильных дорог с АПВГК следует предъявлять повышенные требования по сравнению с требованиями к автомобильным дорогам общего пользования в части продольных и поперечных уклонов, радиусов кривых в плане и продольном профиле.

Ключевые слова: АПВГК, геометрические параметры, требования, продольный уклон, поперечный уклон, радиус кривой.

Одной из ключевых задач национального проекта «Безопасные качественные дороги» является создание и обеспечение эффективных транспортных путей автомобильного транспорта – автомобильных дорог. Решить ее можно только при одновременном строительстве новых дорог для оптимизации и увеличения плотности существующей сети, а также при обеспечении сохранности и долговечности эксплуатируемых дорог.

Одним из основных разрушающих воздействий на автомобильные дороги оказывает сверхнормативная нагрузка, и чем она больше, тем значительнее разрушается автомобильная дорога. По данным Росавтодора, до 40 % грузовых транспортных средств (ТС) осуществляют движение по российским дорогам с перегрузом [1], причем в среднем такие грузовые ТС перевозят груз в полтора раза больше разрешенной массы. Кроме того, что перегруженные автомобили наносят существенный ущерб автомобильным дорогам, они также являются причиной ДТП, оказывая неблагоприятное влияние на безопасность движения на автомобильных дорогах.

Поэтому в настоящее время остро стоит задача сохранности дорожной сети и обеспечения безопасности дорожного движения.

Алгоритм системы защиты дорог от воздействия движения перегруженных ТС в Российской Федерации на сегодняшний день разработан и заключается в том, чтобы загрузить транспортное средство так, чтобы нагрузка на ось, масса и габаритные размеры ТС не превышали допустимые для автомобильных дорог на маршруте движения.

Для предотвращения перегруза ТС перспективным и экономически оправданным является способ контроля путем взвешивания и определения нагрузки на оси ТС в движении автоматизированными системами весогабаритного контроля. Такая система применяется на современном этапе во многих странах мира. В Российской Федерации в рамках проекта «Создание федеральной автоматической системы весового и габаритного контроля ТС на автомобильных дорогах общего пользования федерального значения» запланирован ввод в эксплуатацию 417 автоматических пунктов весогабаритного контроля (АПВГК), а на автомобильных дорогах общего пользования регионального или межмуниципального, местного значения – 598 АПВГК.

При вводе в эксплуатацию АПВГК следует обеспечить их бесперебойную работу, а также требуемую точность измерений в течение всего срока службы оборудования АПВГК.

В настоящее время отсутствуют обоснованные нормативные требования к участкам автомобильных дорог с АПВГК и дорожным конструкциям на них, которые обеспечат работу оборудования на срок службы от 6 до 8 лет.

Для формирования требований к элементам участка дороги в зоне и на подходах к зоне АПВГК требуется прежде всего определить геометрические параметры участка дороги и обосновать эти параметры с позиций как условий движения ТС, их скоростного режима до и после зоны АПВГК, так и влияния ТС и весоизмерительного оборудования на дорожную конструкцию.

В настоящее время в действующих нормативных документах, таких как Приказ Минтранса России № 348 [2], ГОСТ 33475-2015 [3], Постановление Правительства Российской Федерации № 2200 [4], ГОСТ 8.646-2015 [5], отсутствует полный перечень специальных технических требований к элементам автомобильных дорог в зоне и на подходах к зоне АПВГК. Анализ нормативных требований к геометрическим элементам автомобильных дорог показал, что часть требований не могут обеспечить надлежащие условия работы дорожной конструкции и оборудования АПВГК. При этом ряд необходимых требований вообще отсутствует и должен быть принят на основе опыта эксплуатации

АПВГК на сети автомобильных дорог общего пользования и обоснован расчетами.

При размещении АПВГК на автомобильной дороге особое внимание необходимо уделять таким геометрическим элементам автомобильной дороги, как продольные и поперечные уклоны, радиусы кривых в плане и продольном профиле, которые обеспечивают движение грузовых ТС в заданном режиме.

Рассмотрим в отдельности, а при необходимости во взаимосвязи, особенности нормирования каждого из геометрических элементов автомобильной дороги для участков АПВГК.

Далее в качестве участка с АПВГК рассмотрим участок автомобильной дороги, на котором в соответствии с проектом ПНСТ «Автомобильные дороги общего пользования. Пункты весогабаритного контроля автоматические. Требования к проектированию» [6] выделены следующие функциональные зоны (рис. 1):

- зона АПВГК, включающая 3 участка (подзону входа в зону контроля – L_1 , непосредственно зону контроля – L_2 и подзону выхода из зоны контроля, в том числе L_3 (подзону особого режима движения) и L_4 (запас)); длина зоны L_4 АПВГК принимается равной максимальной длине автопоезда, которая, согласно Постановлению Правительства Российской Федерации от 15 апреля 2011 г. № 2200 [4], составляет 20 м;
- подходы к зоне АПВГК, в том числе расстояние от мест ускорения или замедления движения до зоны АПВГК – L_5 и расстояние от зоны АПВГК до мест ускорения или замедления движения – L_6 .

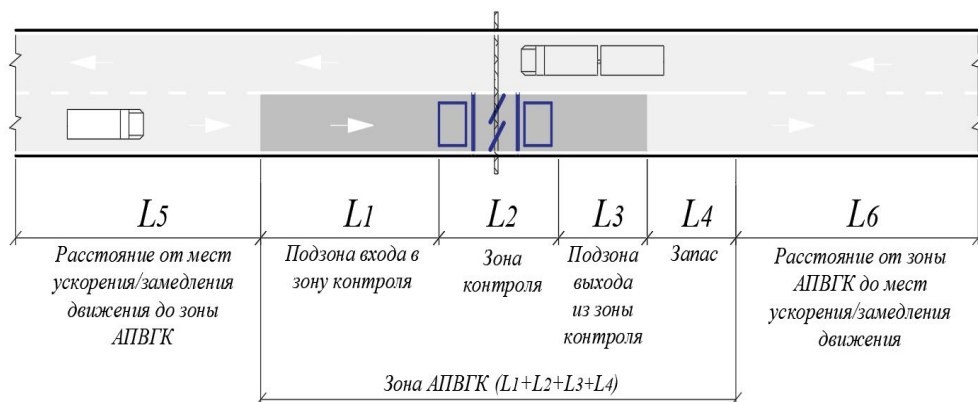


Рис. 1. Схема участка автомобильной дороги с АПВГК

Значения длины каждой из функциональных зон по проекту ПНСТ [6] определены для максимальных скоростей ТС, допустимых для грузовых ТС по правилам дорожного движения (Постановление Правительства Российской Федерации № 1090 [7]):

- 60 км/ч – в условиях населенных пунктов;
- 70 км/ч – допустимая для движения грузовых ТС по автомобильным дорогам, кроме автомагистралей;
- 90 км/ч – разрешенная для движения грузовых ТС на автомагистралях.

Рассмотрим следующие геометрические элементы автомобильной дороги на участках с АПВГК.

Требования к радиусу кривых в продольном профиле должны определяться из условия обеспечения видимости поверхности дороги в зоне АПВГК, а также предотвращения дополнительных динамических нагрузок, влияющих на точность показаний измерительного оборудования.

Рекомендуемые радиусы выпуклых кривых по ГОСТ 33475-2015 [3] – не менее 70000 м, вогнутых кривых – не менее 8000 м. Минимальные значения вертикальных кривых из условия видимости поверхности дороги (для остановки) в зависимости от расчетной скорости движения и категории автомобильной дороги: для выпуклых – 30000-5000 м, вогнутых – 8000-2000 м (табл. 1). По Приказу Минтранса России № 348 [2] радиусы вертикальных кривых не нормируются.

На участках дорог с АПВГК при движении ТС по вогнутой кривой вероятно возникновение дополнительной динамической нагрузки за счет появления центробежной силы, направленной от центра кривой. Это может повлиять на точность измерений, так как к весу добавится величина части центробежной силы. Расчетная формула для определения радиуса вогнутой кривой из условия допустимого центробежного ускорения, при котором еще не возникают дополнительные динамические нагрузки, имеет следующий вид:

$$R_{\text{вогн}} \approx \frac{V^2}{a \cdot 13}, \quad (1)$$

где

V – расчетная скорость движения ТС, км/ч;

a – допустимое центробежное ускорение, 0,5 – 0,7 м/с².

Расчетные значения радиуса вогнутой кривой из условия допустимой центробежной силы (допустимое центробежное ускорение $0,5 \text{ м/с}^2$) для автомобильных дорог разных категорий приведены в табл. 1.

Таблица 1

Значение радиуса вогнутой кривой

<i>Наименование показателя</i>	<i>Величина показателя по категориям автомобильных дорог</i>			
	<i>I</i>	<i>II</i>	<i>III</i>	<i>IV</i>
Расчетная скорость, км/ч	150	120	100	80
Минимальный радиус вогнутой кривой по ГОСТ 33475-2015 [3], м	8000	5000	3000	2000
Расчетный радиус вогнутой вертикальной кривой $R_{\text{вогн}}$ из условия допустимой динамической нагрузки, м	3460	2215	1540	985

Сравнивая расчетные значения радиуса вогнутой кривой из условия центробежной силы и нормируемые значения по ГОСТ 33475-2015 [3] (табл. 1), очевидно, что требования ГОСТ 33475-2015 [3] обеспечивают как соблюдение условий видимости, так и допустимой центробежной силы. Поэтому такие требования являются достаточными нормативными требованиями для зоны и подходов к зоне АПВГК как с позиции обеспечения видимости зоны контроля АПВГК при движении ТС по кривой в продольном профиле, так и с позиции оценки весовых параметров ТС в границах допустимой погрешности измерений при появлении центробежной силы при движении ТС по вогнутой кривой.

Таким образом, минимальные радиусы вертикальных кривых в зоне и подходах к зоне АПВГК должны быть не менее указанных в табл. 2.

*Минимальные радиусы вертикальных кривых
в зоне и на подходах к зоне АПВГК*

<i>Показатель</i>	<i>Минимальное значение, м</i>			
	<i>IA</i>	<i>IB и II</i>	<i>IB и III</i>	<i>IV</i>
<i>Радиус выпуклых вертикальных кривых</i>				
L ₁ , L ₂ , L ₃ , L ₄ , L ₅ , L ₆	30000	15000	10000	5000
<i>Радиус вогнутых вертикальных кривых</i>				
L ₁ , L ₂ , L ₃ , L ₄ , L ₅ , L ₆	8000	5000	3000	2000

Другим геометрическим элементом, требующим внимания, является продольный уклон проезжей части. Величина продольного уклона на спуске и подъеме влияет на степень переноса центра тяжести ТС, а следовательно, и на точность определения массы и нагрузки на оси.

Продольный уклон для зоны контроля (L_2) должен нормироваться из условий обеспечения точности измерений оборудования АПВГК, создавая условия равномерного движения грузовых ТС и наименьшего перераспределения нагрузки между осями, связанной с переносом центра тяжести ТС. По требованиям к параметрам в зоне контроля L_2 , установленными ГОСТ 8.646-2015 [5], подъездные пути должны быть в одной плоскости с весоизмерительной платформой, с продольным уклоном в зоне контроля L_2 , равным 0 %.

В подзонах L_1 , L_3 , L_4 продольный уклон следует нормировать из условия плавного сопряжения зоны контроля L_2 с подходами к зоне АПВГК (L_5 , L_6).

На подходах к зоне АПВГК (L_5 и L_6) величина продольного уклона должна нормироваться из условия обеспечения движения ТС с расчетными скоростями, безопасных маневров, а также с учетом того, что продольные уклоны дороги в местах замедления и ускорения движения (подходы к пересечениям и примыканиям в одном уровне) на протяжении расстояний видимости для остановки автомобиля не должны превышать 40 %, согласно ГОСТ 33475-2015 [3], для обеспечения возможности безопасных маневров для торможения, разгона, перестроения и поворота.

Кроме того, в подзонах L_1 , L_3 и L_4 , а также на подходах к подзонам АПВГК L_5 и L_6 следует учитывать сочетание минимальной длины функциональной зоны и наименьшего допустимого значения радиуса вертикальных кривых. В пределах вертикальной кривой происходит изменение продольного уклона касательной к кривой от 0 ‰ в зоне контроля L_2 до максимального возможного значения уклона (определяется кривизной вертикальной кривой) на соответствующей границе функциональной зоны $L_5, L_1, L_3 - L_6$. Следует оценить максимальный продольный уклон вертикальной кривой в функциональных зонах $L_5, L_1, L_3 - L_6$, который может быть вычислен по следующим формулам:

– для подзоны L_1 :

$$i_{max}^{L_1} = \frac{L_1}{R_{min}} + i_{L_2} ; \quad (2)$$

– для подходов к зоне АПВГК L_5 и L_6 , и подзон L_3 и L_4 :

$$i_{max}^{L_n} = \frac{L_n}{R_{min}} + i_{max}^{n-1} , \quad (3)$$

где

n – порядковый номер функциональной зоны АПВГК;

L_n – протяженность n -ой функциональной зоны АПВГК, которая принимается в соответствии с приложением В проекта ПНСТ [6];

R_{min} – минимальный радиус вертикальной кривой в соответствующей функциональной зоне L_n (табл. 2);

i_{max}^{n-1} – максимальный уклон допустимый для функциональной зоны $n-1$.

Продольные уклоны в зоне АПВГК (L_1, L_2, L_3, L_4) и на подходах к зоне АПВГК (L_5 и L_6), полученные по результатам расчетов с использованием формул (2) и (3) не должны превышать значения, указанные в табл. 3.

Продольные уклоны в зоне и на подходах к зоне АПВГК

<i>Функциональные зоны</i>	<i>Величина продольного уклона на поверхности покрытия проезжей части, не более ‰</i>			
	<i>IA</i>	<i>IB и II</i>	<i>IB и III</i>	<i>IV</i>
L ₂	0			
L ₁	7	12 (10)	20 (16)	30 (25)
L ₃	3	5 (5)	8 (8)	12 (12)
L ₄	12	14 (14)	16 (16)	20 (20)
L ₅	30	36 (28)	40 (40)	
L ₆		34 (30)		

Примечание: В скобках даны значения для участков автомобильных дорог, проходящих в населенном пункте.

Поперечный уклон проезжей части обеспечивает эффективность поверхностного водоотвода. Недостаточный уклон способствует скапливанию осадков на поверхности дороги, что может привести к эффекту аквапланирования. С другой стороны, при увеличении поперечного уклона повышается ошибка взвешивания ТС. Влияние поперечного уклона зависит от высоты расположения центра тяжести ТС. Так, расположение центра тяжести на высоте 2,0 м над проезжей частью и поперечный уклон 20-30 ‰ обуславливают разницу измеренной нагрузки на правое и левое колесо одной оси ТС $\pm (5-6)\%$ и, следовательно, соответствующую ошибку измерения [8].

Требования к поперечному уклону на подходах к зоне контроля АПВГК установлены Приказом Минтранса России № 348 [2], требования к поперечному уклону в зоне контроля АПВГК – ГОСТ 8.646-2015 [5], требования к поперечному уклону на автомобильных дорогах – ГОСТ 33475-2015 [3]. При этом требования ГОСТ 33475-2015 [3] являются более жесткими (15-25 ‰ – на прямых в плане и кривых радиусом более 3000 м, 20-30 ‰ – на виражах с радиусом кривых в плане от 1000 м до 3000 м) по сравнению с требованиями Приказа Минтранса России № 348 [2] (не более 30 ‰). Таким образом, для нормирования требования к функциональным зонам АПВГК следует принять по ГОСТ 33475-2015 [3], за исключением зоны контроля АПВГК (L₂), в которой по ГОСТ 8.646-2015 [5] максимальное значение поперечного уклона не должно превышать 10 ‰ для обеспечения точности измерений.

Изменение поперечного уклона от зоны контроля L_2 (10 ‰) в сторону подзон L_1 и L_3 следует выполнять плавно с соблюдением общих нормативных требований по проектированию отгонов виражей на автомобильных дорогах (ГОСТ 33475-2015 [3], СП 34.13330.2021 [9]).

Таким образом, с учетом всех перечисленных требований в табл. 4 сведены обоснованные величины поперечных уклонов для зоны и подходов к зоне АПВГК.

Таблица 4

Поперечные уклоны в зоне и на подходах к зоне АПВГК

<i>Функциональные зоны</i>	<i>Величина поперечного уклона поверхности покрытия, ‰</i>
L ₁ , L ₃ , L ₄ , L ₅ , L ₆	15 – 25
L ₂	менее 10

Требования к минимальным радиусам кривых в плане для участков с АПВГК следует нормировать из условия обеспечения равномерности и безопасности движения ТС, что обеспечивает работу весоизмерительного оборудования АПВГК с установленной точностью. Величина радиуса кривой в зоне АПВГК закреплена в Приказе Минтранса России № 348 [2] (минимальный радиус – 1000 м). Значения радиуса кривых в плане в целом для автомобильных дорог регламентированы ГОСТ 33475-2015 [3] (рекомендуемый радиус – ≥ 3000 м; минимальный радиус в зависимости от категории дороги IV категория – ≥ 300 м; IB и III категории – ≥ 600 м; IB и II категории – ≥ 800 м; IA категория – ≥ 1200). Необходимо выполнить анализ действующих требований и оценить их для участков с АПВГК в зависимости от функционального назначения отдельных зон.

Так, минимальное допустимое значение радиуса кривой в плане должно быть таким, чтобы при движении по кривой обеспечивалось минимальное влияние поперечной силы (формула (4)).

$$R = \frac{v^2}{g(\mu \pm i)}, \quad (4)$$

где

- V – расчетная скорость движения ТС, м/с;
- μ – коэффициент поперечной силы;
- g – ускорение свободного падения, 9,81 м/с²;
- i – поперечный уклон проезжей части, ‰.

Расчетные значения радиуса кривой в плане из условия допустимой центробежной силы для различных категорий автомобильных дорог, рассчитанные по формуле (4), приведены для сравнения с нормативными требованиями в табл. 5.

Сравнивая нормируемые значения радиуса кривой в плане по ГОСТ 33475-2015 [3] и по Приказу Минтранса России № 348 [2] (табл. 5), следует отметить, что по Приказу Минтранса России № 348 [2] значение радиуса кривой в плане для участков с АПВГК нормируется одним значением для всех категорий автомобильных дорог, без учета особенностей движения грузового ТС, которые зависят от скорости движения. Но при этом нормируемые значения радиусов кривых в плане для участков с АПВГК больше аналогичных расчетных радиусов из условия действия центробежной силы.

Необходимо также учитывать, что в зоне контроля L_2 допустимый поперечный уклон поверхности покрытия не должен превышать 10 %, что ограничивает возможность устройства в этой зоне виражей с радиусами горизонтальных кривых менее 3000 м (для дорог IA категории) и менее 2000 м (для дорог остальных категорий) в соответствии с требованиями ГОСТ 33475-2015 [3]. Поэтому из вышеописанных условий для участков дороги с АПВГК могут быть приняты радиусы кривых в плане, указанные в табл. 6.

Таблица 5

Расчетные значения радиуса кривой в плане

<i>Показатель</i>	<i>Величина показателя</i>						
	<i>по категории автомобильной дороги</i>				<i>для участка с АПВГК</i>		
	<i>I</i>	<i>II</i>	<i>III</i>	<i>IV</i>	<i>для участков с АПВГК</i>		
Расчетная скорость, км/ч	150	120	100	80	90	70	60
Радиус кривой в плане по ГОСТ 33475-2015 [3], м: – рекомендуемый	≥3000				-	-	-
– минимальный	1200	800	600	300	-	-	-
Радиус кривой в плане по Приказу Минтранса России № 348 [2], м	-	-	-	-	≥1000		

Радиус кривой в плане из условия действия центробежной силы, м (расчет)	2215	1260	656	360	485	255	170
---	------	------	-----	-----	-----	-----	-----

Таблица 6

Радиусы кривых в зоне и на подходах к зоне АПВГК

<i>Функциональные зоны</i>	<i>Радиус кривых в плане в зависимости от категории, м</i>			
	<i>IA</i>	<i>IB и II</i>	<i>IB и III</i>	<i>IV</i>
L ₁ , L ₃ , L ₄	≥ 1200	≥ 1000		
L ₂	≥ 3000	≥ 2000		
L ₅ , L ₆	≥ 1200	≥ 800	≥ 600	≥ 300

При проектировании плана требуется учитывать плавность сопряжения смежных участков. Для кривых в плане данное условие обеспечивается скоростью нарастания центробежного ускорения, которое не должно превышать 0,5 м/с³ [9].

В табл. 7 представлены результаты расчетов длины участков переходных кривых при изменении минимального значения радиуса кривых в зоне контроля L₂ и подзонах L₁, L₃, L₄ (табл. 6).

Таблица 7

Длина переходных кривых для минимальных допустимых радиусов кривых в плане

<i>Показатель</i>	<i>Категория автомобильной дороги</i>			
	<i>IA</i>	<i>IB и II</i>	<i>IB и III</i>	<i>IV</i>
Длина плавного перехода, м	72	37	21	11
Длина функциональной зоны, м [6]:	L ₁	60	50	50
	L ₃	45	45	45
	L ₄	20	20	20

По данным **табл. 7** можно сделать вывод о невозможности (критичности) обеспечения плавного перехода от минимального значения радиуса кривой в плане в зоне контроля L_2 к минимальному значению радиуса в подзонах L_1, L_3 по причине недостаточности длины указанных зон по отношению к длине плавного перехода. С учетом корректировки радиусов кривых в плане в **табл. 8** представлены итоговые значения минимальных радиусов кривых, для которых выполняются все рассмотренные выше условия.

Таблица 8

Допустимые радиусы кривых в зоне и на подходах к зоне АПВГК

<i>Функциональные зоны</i>	<i>Радиус кривых в плане в зависимости от категории, м</i>			
	<i>IA</i>	<i>IB и II</i>	<i>IV и III</i>	<i>IV</i>
L_1, L_2, L_3, L_4	≥ 3000	≥ 2000		
L_5, L_6	≥ 1200	≥ 800	≥ 600	≥ 300

Таким образом, для зоны контроля АПВГК L_2 и подзон L_1, L_3 и L_4 применимо требование к радиусу кривых в плане ≥ 3000 м (для дорог IA категории) и ≥ 2000 м (для дорог остальных категорий), а на подходах к подзонам АПВГК L_5 и L_6 применимо требование к радиусу кривых в плане по ГОСТ 33475-2015 [3] в зависимости от категории автомобильной дороги.

Дополнительно следует проверить влияние центробежной силы, которая возникает при движении грузового ТС по кривой в плане и влияет на перераспределение массы между колесами оси ТС, что влечет за собой ошибку весовых измерений (**рис. 2**).

Для этого проанализируем движение грузового ТС и силы, влияющие на режим движения. Так, в кривой на автомобиль действуют две силы, приложенные к его центру тяжести (**рис. 2**): центробежная сила C , направленная во внешнюю сторону закругления (формула (5)), и вес автомобиля G .

$$C = \frac{mV^2}{R}, \quad (5)$$

где

m – масса транспортного средства;

V – его скорость, м/с;

R – радиус кривой в плане, м.

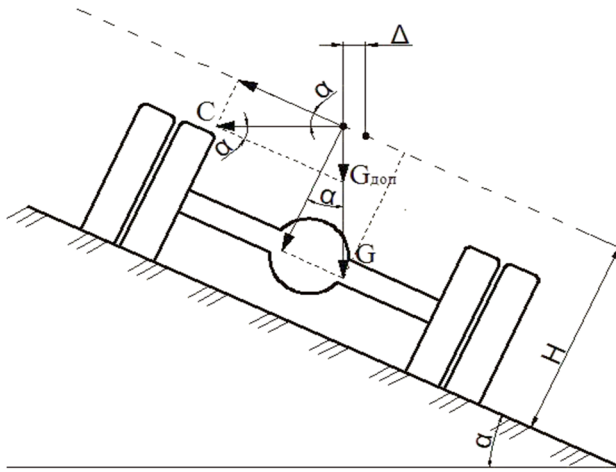


Рис. 2. Силы, действующие на грузовое ТС при движении по кривой в плане:

C – центробежная сила; G – вес грузового ТС; $G_{доп}$ – дополнительная составляющая к весу грузового ТС от действия центробежной силы; α – угол между поверхностью проезжей части и ее проекцией на горизонтальную плоскость; Δ – смещение центра тяжести при движении по кривой в плане; H – высота расположения центра тяжести ТС над поверхностью проезжей части

Для оценки влияния центробежной силы на величину веса автомобиля G спроецируем силу C на вертикальную ось. Тогда вертикальная составляющая центробежной силы C будет являться дополнительной составляющей к весу грузового ТС ($G_{доп}$) и может быть описана выражением (6):

$$G_{доп} = C * \sin\alpha * \cos\alpha ; \quad (6)$$

или с учетом преобразований:

$$G_{доп} = \frac{m*V^2}{R_{min}} * i_{пч} * (\sqrt{1 - i_{пч}^2}) , \quad (7)$$

где

m – масса грузового ТС, кг;

V – разрешенная скорость движения грузового ТС, м/с:

для дорог IA категории – 90 км/ч (25 м/с);

для остальных категорий – 70 км/ч (19,5 м/с);

R_{min} – минимальный радиус кривой в плане, допустимый в зоне АПВГК (табл. 8);

$i_{пч}$ – максимальный поперечный уклон проезжей части, допустимый в зоне АПВГК, в долях (табл. 4).

Используя осевую нормативную статическую нагрузку, можно оценить величину дополнительной составляющей к весу грузового ТС, приходящуюся на ось.

Например, для группы расчетной нагрузки А-11,5 величина дополнительной составляющей к весу грузового ТС на ось для автомобильных дорог IA категории составит $G_{доп} = 59,9 \frac{кг*М}{с^2}$; для автомобильных дорог II – IV категории – $G_{доп} = 54,3 \frac{кг*М}{с^2}$.

Дополнительная масса, приходящаяся на ось и возникающая в результате действия центробежной силы при движении грузового ТС по кривой, определяется следующим образом:

$$m_{доп} = \frac{G_{доп}}{g} , \quad (8)$$

где

g – ускорение свободного падения, $9,81 \text{ м/с}^2$;

$$m_{\text{доп}} = \frac{59,9}{9,81} = 6,1 \text{ кг для IA категории};$$

$$m_{\text{доп}} = \frac{54,3}{9,81} = 5,5 \text{ кг – для II – IV категории},$$

что составляет 0,05 % и 0,04 % соответственно от расчетной массы, приходящейся на ось грузового ТС.

По результатам проверки установлено, что при движении по кривой в плане с радиусом менее 3000 м (для дорог IA категории) и менее 2000 м (для дорог остальных категорий) при максимальной скорости движения грузового ТС (90 км/ч и 70 км/ч соответственно) и минимальном радиусе кривой увеличение массы ТС за счет действия центробежной силы не превысит 0,05 % и 0,04 %, что в соответствии с Постановлением Правительства РФ от 16.11.2020 № 1847 [10] находится в пределах допустимой погрешности для вероятности 0,95 (± 11 %). Полученные результаты показали, что центробежная сила не оказывает существенного влияния на точность измерений весовых параметров грузового ТС, что позволяет размещать АПВГК на кривой в плане радиусом не менее 3000 м (для дорог IA категории) и не менее 2000 м (для дорог остальных категорий).

Таким образом, на основе анализа действующих нормативных требований, оценки особенностей движения по автомобильным дорогам грузовых ТС, формируемых дорожных условий на участках до и после зоны АПВГК установлены требования к геометрическим параметрам зоны и подходов к зоне АПВГК.

Анализ зарубежного опыта [11-13] о практике осуществления весогабаритного контроля на автомобильных дорогах системами автоматической фиксации параметров ТС в движении также позволяет выполнить сравнение с представленными выше геометрическими элементами и оценить достаточность выработанных требований.

В табл. 9 приведены сводные данные обоснованных величин геометрических элементов зоны и подходов к зоне АПВГК, а также их сравнение с рекомендациями к аналогичным параметрам в зарубежных странах и в соответствии с действующими нормативными документами РФ.

Таблица 9

*Сопоставление показателей по действующим нормам в ряде зарубежных стран и в РФ
и результатов технического обоснования*

<i>Показатель</i>	<i>Зона</i>	<i>По зарубежным рекомендациям</i>	<i>По Приказу Минтранса России № 348 от 31.08.2020 г.</i>	<i>На основе технического обоснования, в зависимости от категории автомобильной дороги</i>			
				<i>IA</i>	<i>IB и II</i>	<i>IB и III</i>	<i>IV</i>
<i>Продольный уклон, ‰</i>	<i>L₁</i>	США – < 10; Страны ЕС – < 10 или < 20 (в зависимости от класса АПВГК); Индия – < 10 или < 20 (на автомагистралях в зависимости от класса конструкции); 0 или < 10 (кроме автомагистралей, в зависимости от типа систем)	≤ 10	≤ 7	≤ 12 (10)	≤ 20 (16)	≤ 30 (25)
	<i>L₂</i>			0			
	<i>L₃</i>			≤ 3	≤ 5 (5)	≤ 8 (8)	≤ 12 (12)
	<i>L₄</i>			≤ 12	≤ 14 (14)	≤ 16 (16)	≤ 20 (20)
	<i>L₅</i>	по нормам проектирования автомобильных дорог		≤ 30	≤ 36 (28)	≤ 40 (40)	
	<i>L₆</i>				≤ 34 (30)		

<i>Показатель</i>	<i>Зона</i>	<i>По зарубежным рекомендациям</i>	<i>По Приказу Минтранса России № 348 от 31.08.2020 г.</i>	<i>На основе технического обоснования, в зависимости от категории автомобильной дороги</i>			
				<i>IA</i>	<i>IB и II</i>	<i>IB и III</i>	<i>IV</i>
<i>Поперечный уклон, %</i>	<i>L₁</i>	Страны ЕС – < 30; Индия – < 30 (на автомагистралях) или 10 (кроме автомагистралей)	< 30	15 – 25			
	<i>L₂</i>			≤ 10			
	<i>L₃</i>			15 – 25			
	<i>L₄</i>						
	<i>L₅</i>	по нормам проектирования автомобильных дорог					
	<i>L₆</i>						
<i>Радиус кривой в плане, м</i>	<i>L₁, L₂, L₃, L₄</i>	Страны ЕС – > 1000; США – > 1700; Индия – < 1000, < 1700 или < 2500 (в зависимости от класса и типа конструкций)	> 1000 м	≥ 3000	≥ 2000		
	<i>L₅</i>	по нормам проектирования автомобильных дорог		≥ 1200	≥ 800	≥ 600	≥ 300
	<i>L₆</i>						

<i>Показатель</i>	<i>Зона</i>	<i>По зарубежным рекомендациям</i>	<i>По Приказу Минтранса России № 348 от 31.08.2020 г.</i>	<i>На основе технического обоснования, в зависимости от категории автомобильной дороги</i>			
				<i>IA</i>	<i>IB и II</i>	<i>IB и III</i>	<i>IV</i>
<i>Радиус выпуклой кривой в продольном профиле, м</i>	<i>L₁, L₂, L₃, L₄, L₅, L₆</i>	по нормам проектирования автомобильных дорог		≥ 30000	≥ 15000	≥ 10000	≥ 5000
<i>Радиус вогнутой кривой в продольном профиле, м</i>	<i>L₁, L₂, L₃, L₄, L₅, L₆</i>	по нормам проектирования автомобильных дорог		≥ 8000	≥ 5000	≥ 3000	≥ 2000

Примечание: В скобках даны значения для участков автомобильных дорог, проходящих в населенном пункте.

По сопоставительным данным, приведенным в **табл. 9**, можно заключить следующее:

1. Требования к продольному уклону по зарубежным рекомендациям для АПВГК высокого класса и по нормам РФ совпадают ($\leq 10 \text{ ‰}$).
2. Результаты технического обоснования требований позволяют:
 - дифференцировать значения максимального продольного уклона в зависимости от категории и функциональной зоны участка автомобильной дороги с АПВГК. При этом определены строгие рекомендации к продольному уклону для зоны контроля (L_2) – 0 ‰ ;
 - выделить отдельные рекомендации к поперечному уклону в зоне контроля (L_2) – $< 10 \text{ ‰}$ и остальным функциональным зонам – $15\text{-}25 \text{ ‰}$;
 - установить более жесткие требования к минимальным радиусам кривых в плане – не менее 3000 м (для дорог IА категории) и менее 2000 м (для дорог остальных категорий).

Таким образом, согласно приведенному техническому обоснованию, показано, что для обеспечения точности измерений оборудования АПВГК требования к геометрическим параметрам должны быть ужесточены по сравнению с нормативными требованиями к автомобильным дорогам общего пользования в части радиуса кривых в плане и продольного уклона для зоны L_2 и поперечного уклона для зон L_1 – L_3 . По итогам анализа и сравнения с зарубежными рекомендациями и действующими нормами РФ установлено, что набор элементов для подходов к зоне и для зоны АПВГК достаточен, а величины геометрических элементов являются обоснованными.

ЛИТЕРАТУРА

1. *В Росавтодоре рассказали о влиянии перегрузки на дороги. [Электронный ресурс] // Autonews.ru. – Режим доступа: <https://www.autonews.ru/news/5825dc899a7947578b1429c1> (дата обращения: 09.08.2021).*
2. *Приказ Министерства транспорта Российской Федерации от 31 августа 2020 г. № 348 «Об утверждении Порядка осуществления весового и габаритного контроля транспортных средств». [Электронный ресурс] // Pravo.gov.ru. – Режим доступа:*

<http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/0001202012040010>
(дата обращения: 09.08.2021).

3. ГОСТ 33475-2015. Дороги автомобильные общего пользования. Геометрические элементы. Технические требования. – М.: Стандартинформ, 2019. – 15 с.
4. Об утверждении правил перевозок грузов автомобильным транспортом и о внесении изменений в пункт 2.1.1 правил дорожного движения Российской Федерации [Текст]: Постановление Правительства РФ от 21.12.2020 № 2200 // Собрание законодательства Российской Федерации, № 52 (ч. II), 28.12.2020, ст.887. – 48 с.
5. ГОСТ 8.646-2015. Государственная система обеспечения единства измерений (ГСИ). Весы автоматические для взвешивания транспортных средств в движении и измерения нагрузок на оси. Методика проверки. – М.: Стандартинформ, 2019. – 20 с.
6. Проект ПНСТ «Автомобильные дороги общего пользования. Автоматические пункты весогабаритного контроля. Требования к проектированию. – 2021. – 35 с.
7. О правилах дорожного движения [Текст]: Постановление Совета министров – Правительства Российской Федерации от 23 октября 1993 г. № 1090 (с изменениями на 4 декабря 2018 г.) // Собрание актов Президента и Правительства Российской Федерации, 1993, № 47, ст.4531. – 92 с.
8. САМЕА WIM Презентация к 8-ой Международной конференции *Weigh-In-Motion-ICWIM8*. – 2019.
9. СП 34.13330.2021 «Автомобильные дороги». Актуализированная редакция СНиП 2.05.02-85* (с Изменениями №1) Свод правил. – М.: ФАУ «ФЦС», 2013. – 108 с.
10. Об утверждении перечня измерений, относящихся к сфере государственного регулирования обеспечения единства измерений [Текст]: Постановление Правительства РФ от 16.11.2020 № 1847 // Собрание законодательства Российской Федерации, № 48, 30.11.2020, ст.7719. – 65 с.
11. ASTM E1318 - 09(2017). *Standard Specification For Highway Weigh-In-Motion (WIM) Systems With User Requirements and Test Methods / ASTM International*. – 2017. – 18 P.
12. COST 323, 2002. *Weigh-in-Motion of Road Vehicles: Final Report of the COST 323 Action // Jacob, B., O. Brien, E.J., Jehaes, S. (Eds.)*. – Paris: LCPC. –2002. – 83 P.

13. *Draft Standard Specification for Weigh-In-Motion System for Road Vehicles, India/ The Ministry of Road Transport & Highways. – 2014. – 172 P.*

L I T E R A T U R A

1. *V Rosavtodore rasskazali o vliyanii peregruzki na dorogi.* [Elektronnyj resurs] // *Autonews.ru*. – Rezhim dostupa: <https://www.autonews.ru/news/5825dc899a7947578b1429c1> (data obra-shcheniya: 09.08.2021).
2. *Prikaz Ministerstva transporta Rossijskoj Federacii ot 31 avgusta 2020 g. № 348 «Ob utverzhdenii Poryadka osushchestvleniya vesovogo i gabaritnogo kontrolya transportnyh sredstv».* [Elektronnyj resurs]. // *Pravo.gov.ru*. – Rezhim dostupa: <http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/0001202012040010> (data obrashcheniya: 09.08.2021).
3. *GOST 33475-2015. Dorogi avtomobil'nye obshchego pol'zovaniya. Geometricheskie elementy. Tekhnicheskie trebovaniya.* – M.: Standartinform, 2019. – 15 s.
4. *Ob utverzhdenii pravil perevozok gruzov avtomobil'nym transportom i o vnesenii izmenenij v punkt 2.1.1 pravil dorozhnogo dvizheniya Rossijskoj Federacii [Tekst]: Postanovlenie Pravitel'stva RF ot 21.12.2020 № 2200 // Sobranie zakonodatel'stva Rossijskoj Federacii, № 52 (ch. II), 28.12.2020, st.887. – 48 s.*
5. *GOST 8.646-2015. Gosudarstvennaya sistema obespecheniya edinstva izmerenij (GSI). Vesny avtomaticheskie dlya vzheshivaniya transportnyh sredstv v dvizhenii i izmereniya nagruzok na osi. Metodika proverki.* – M.: Standartinform, 2019. – 20 c.
6. *Proekt PNST «Avtomobil'nye dorogi obshchego pol'zovaniya. Avtomaticheskie punkty vesogabaritnogo kontrolya. Trebovaniya k proektirovaniyu.* – 2021. – 35 s.
7. *O pravilah dorozhnogo dvizheniya [Tekst]: Postanovlenie Soveta ministrov – Pravitel'stva Rossijskoj Federacii ot 23 oktyabrya 1993 g. № 1090 (s izmeneniyami na 4 dekabrya 2018 g.) // Sobranie aktov Prezidenta i Pravitel'stva Rossijskoj Federacii, 1993, № 47, st.4531. – 92 s.*
8. *CAMEA WIM Prezentaciya k 8-0j Mezhdunarodnoj konferencii Weigh-In-Motion-ICWIM8».* – 2019.
9. *SP 34.13330.2021 «Avtomobil'nye dorogi».* Aktualizirovannaya redakciya SNIIP 2.05.02-85* (s Izmeneniyami №1) Svod pravil. – M.: FAU «FCS», 2013. – 108 s.

10. *Ob utverzhdenii perechnya izmerenij, odnosyashchihsya k sfere gosudarstvennogo regulirovaniya obespecheniya edinstva izmerenij [Tekst]: Postanovlenie Pravitel'stva RF ot 16.11.2020 № 1847 // Sobranie zakonodatel'stva Rossijskoj Federacii, № 48, 30.11.2020, st.7719. – 65 s.*
11. *ASTM E1318 - 09(2017). Standard Specification For Highway Weigh-In-Motion (WIM) Systems With User Requirements and Test Methods / ASTM International. – 2017. – 18 P.*
12. *COST 323, 2002. Weigh-in-Motion of Road Vehicles: Final Report of the COST 323 Action // Jacob, B., O. Brien, E.J., Jehaes, S. (Eds.). – Paris: LCPC. –2002. – 83 P.*
13. *Draft Standard Specification for Weigh-In-Motion System for Road Vehicles, India/ The Ministry of Road Transport & Highways. – 2014. – 172 P.*

.....

IMPROVEMENT OF REQUIREMENTS FOR ROAD GEOMETRIC ELEMENTS AT THE SITES OF WEIGH-IN-MOTION SYSTEMS

*Ph. D. (Tech.) I.A. Rakhimova,
Engineer M.D. Filippov
(FAI «ROSDORNII»)*

*Contact information: rakhimova@rosdornii.ru;
filippov@rosdornii.ru*

The article describes proposals for the normalization of requirements for the geometric elements of road sections with Weigh-in-Motion (WIM) systems, the justification of such requirements is presented, and a comparative analysis with the current foreign requirements for road sections with WIM Systems is carried out. It is shown that the requirements for geometric elements of road sections with WIM Systems should be increased in comparison with the requirements for public roads in terms of longitudinal and transversal slopes, curves radii in plan and longitudinal profile.

Key words: *Weigh-in-Motion (WIM) systems, geometric elements, requirements, longitudinal slope, transversal slope, curve radius.*

Рецензент: канд. техн. наук А.С. Конорев (ФАУ «РОСДОРНИИ»).
Статья поступила в редакцию: 26.08.2021 г.