

УДК 656.073.434

И. С. ДЗЮБА

Белорусский государственный университет транспорта (БелГУТ)

ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАСЧЁТНОГО ГАБАРИТА ДЛИННОМЕРНЫХ ГРУЗОВ

Выполнен критический анализ действующей методики и предложен более простой способ расчёта габарита груза в кривой.

Перевозка крупногабаритных и длинномерных грузов требует соблюдения повышенных мер безопасности из-за возможных поперечных смещений груза относительно железнодорожного пути в кривых участках. При этом середина груза, расположенная между опорами, смещается вовнутрь кривой, а концы, свисающие за пределами опор, выходят наружу. По максимальной величине смещения критических точек в кривых участках пути определяют расчётные габариты груза. Отметим, что длинномерный груз должен иметь только две точки опоры, расположенные по центрам шкворневых балок – при размещении на одном вагоне, или по центрам грузонесущих вагонов – при размещении опор на двух вагонах.

По действующей методике сначала рассчитывают величину смещения продольной оси груза в «опасных» точках. При этом расчёт выполняется отдельно для концевых и внутренних сечений.

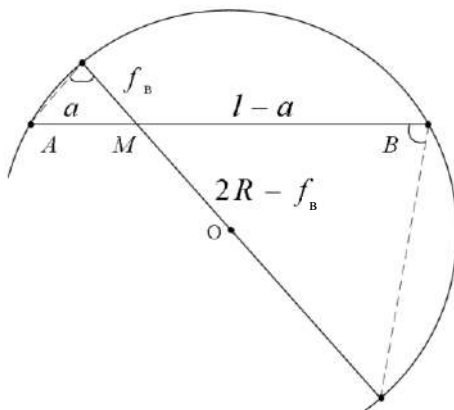


Рисунок 1 – Расчётная схема для вывода уравнения внутреннего смещения груза

Смещение продольной оси груза вовнутрь кривой f_b , мм, между опорами A и B (рисунок 1) согласно [1, 2] рекомендуется рассчитывать* по формуле

$$f_b = 500 a (l - a) / R, \quad (1)$$

где l – база груза, определяемая как расстояние между опорами груза A и B , м; a – расстояние от оси ближайшей опоры до рассматриваемого сечения M , м.

Из подобия треугольников следует, что

$$a / f_b = (2R - f_b) / (l - a),$$

откуда,

$$f_b^2 - 2R f_b + a (l - a) = 0 \quad (2)$$

или

$$f_b = R - \sqrt{R^2 - a(l - a)}. \quad (3)$$

Чтобы получить формулу (1), из уравнения (2) было исключено слагаемое f_b^2 ($f_b^2 \approx 0$). Тогда из оставшегося выражения

$$2R f_b = a (l - a)$$

следует, что

$$f_b = a (l - a) / (2R), \text{ м.}$$

Так как величина смещения обычно рассчитывается в миллиметрах, то умножив правую часть на 10^3 , получаем зависимость (1).

Если груз опирается на два вагона, то следует учитывать внутреннее смещение середины самих грузонесущих вагонов f_0 . При известной базе вагона l_b это смещение

$$f_0 = R - \sqrt{R^2 - (l_b / 2)^2}. \quad (4)$$

Опоры груза на сцепе будут перемещаться по кривой радиусом R_p , меньшим радиуса кривой R на величину f_0 , т. е. $R_p = R - f_0$. Подставляя значение f_0 и R_p в формулу (3), получим внутреннее смещение продольной оси груза, опирающегося на два вагона,

$$f_b = R - \sqrt{R^2 - (l_b / 2)^2 - a(l - a)}. \quad (5)$$

Однако в [2, с. 75]

$$f_b = 500 a (l - a) / R + 125 l_b^2 / R. \quad (6)$$

Здесь второе слагаемое получено из формулы (1) после подстановки вместо a величины $l_b/2$. В некоторых изданиях радиус кривой фиксируется ($R = 350$ м) и вводятся константы: $500 / R$ заменяется коэффициентом 1,43,

* Здесь и далее речь идёт исключительно об основной расчётной составляющей без учёта наклонов, сдвигов, зазоров безопасности и других дополнительных величин.

получаемым как результат $500 / 350 = 1,4286$, а вместо $125 / R$ устанавливается значение $0,36$ ($125 / 350 = 0,3571$). Таким образом, радиус кривой R как основной параметр исключается из расчётов.

Сравнение результатов расчёта, получаемых по формулам (1) и (3), а также (5) и (6) показывает, что упрощённые зависимости, приводимые в Инструкции для расчёта смещений продольной оси груза внутрь кривой дают заниженные значения. Погрешность расчётов увеличивается при уменьшении радиуса кривой R и увеличении базы груза l . Отклонения в расчётах можно считать допустимыми при радиусах $R > 300$ м и базе груза $l < 30$ м, поэтому рекомендуется принимать $R = 350$ м. В Инструкции [1] приведена таблица с коэффициентами, позволяющими корректировать расчёты для радиусов 300, 250 и 220 м, что усложняет методику.

Наружные выносы продольных осей концевых сечений длинномерного груза f_n рекомендуется определять по формуле

$$f_n = 500 a (l_b + a) / R, \quad (7)$$

или при размещении на сепе

$$f_n = (500 / R) (l + a) a - (125 / R) l_b^2, \quad (8)$$

где a – расстояние от ближайшей опоры груза до рассматриваемого сечения свисающей его части, м.

Как известно, квадрат касательной CM (рисунок 2) равен произведению отрезков секущей, проведенной из той же точки, т. е.

$$CM^2 = (l + a)a.$$

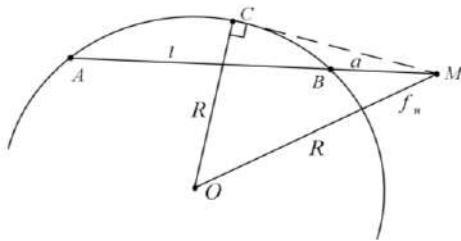


Рисунок 2 – Расчётная схема для определения наружных выносов

В то же время из прямоугольного треугольника ΔOCM следует, что

$$CM^2 = (R + f_n)^2 - R^2.$$

Приравняв правые части, имеем

$$(R + f_n)^2 = R^2 + (l + a)a, \quad (9)$$

откуда величина наружного выноса оси груза

$$f_n = \sqrt{R^2 + a(l + a)} - R. \quad (10)$$

Из уравнения (9) следует, что $2R f_n + f_n^2 = (l + a)a$. Если теперь убрать слагаемое f_n^2 , то

$$f_n = (l + a) a / (2R).$$

Умножая данное выражение на 10^3 , получим формулу (7). В результате аналогичных преобразований получается и зависимость (8). Исследования показывают, что погрешность расчётов по упрощённым формулам (7) и (8) в зависимости от исходных данных может быть достаточно большой (до 50 мм и более).

Согласно Инструкции расчётный габарит груза рекомендуется определять прибавлением к смещению продольной оси в «опасных» сечениях половину ширины груза. В результате должен быть получен расчётный вынос критической точки груза за пределы оси пути. При этом расчёты должны выполняться отдельно для концевых и внутренних сечений по различным аналитическим формулам с учётом различных коэффициентов. К тому же получаемые результаты имеют заметную системную погрешность.

Схема расчёта смещений груза (рисунок 3) имеет следующие позиции: прямая AB – продольная ось груза (точки A и B – центры опор груза); отрезок AB – база груза l (расстояние между осями опор); M – некоторая критическая точка груза, габаритность которой необходимо проверить; x , y – координаты рассматриваемой критической точки M относительно центра базы груза (точки C).

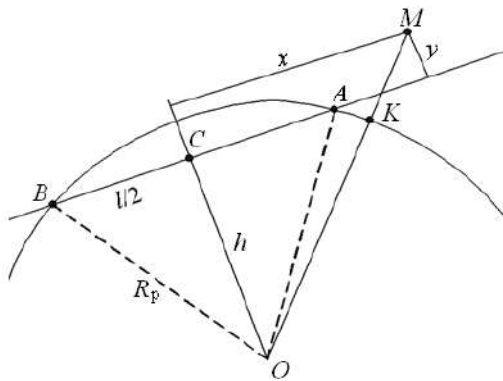


Рисунок 3 – Схема для расчёта смещений

Смещение f любой точки груза M от оси пути должно измеряться по прямой, соединяющей эту точку с центром окружности O (отрезок MK). Это расстояние равно разности отрезка MO и радиуса R_p , т. е. $f = MK = MO - R_p$.

Радиус, по которому перемещается база груза R_p , зависит от схемы погрузки. При опоре на один вагон $R_p = R$, на два вагона $R_p = R - f_0$, где R – радиус круговой кривой пути, м; f_0 – смещение продольной оси самого вагона (согласно формуле (4)).

Из прямоугольного треугольника AOC определяется величина отрезка OC (высота ΔAOC).

$$h = \sqrt{R_p^2 - (l/2)^2}.$$

Расстояние от любой точки груза M до центра круговой кривой

$$MO = \sqrt{(h \pm y)^2 + x^2}.$$

Смещение любой точки груза от оси железнодорожного пути, м, будет определяться по формуле

$$f = \sqrt{(h \pm y)^2 + x^2} - R_p$$

или

$$f = \sqrt{(R_p^2 - (l/2)^2 \pm y^2) + x^2} - R_p.$$

Если величина f положительная, то имеет место внешнее смещение, а если разность отрицательная – точка смещена внутрь кривой.

Значения величин x и y определяются по схеме погрузки и габаритным размерам груза. Направление отсчёта величины x не принципиально. Величина x всегда положительна и равна расстоянию от середины базы груза до рассматриваемого сечения.

Для всех точек, расположенных от продольной оси груза к центру кривой, величина y принимается со знаком «минус» ($-y$), а для точек, расположенных с противоположной стороны, – со знаком «плюс» ($+y$).

Таким образом, предлагаемый подход к определению расчётного габарита груза и размеров величин геометрических выносов при прохождении кривых участков пути не требует промежуточных вычислений, достаточно прост и математически корректен.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Инструкция по перевозке негабаритных и тяжеловесных грузов на железных дорогах государств – участников СНГ, Латвийской, Литовской, Эстонской республик / М., 2001. – 192 с.

2 Сборник правил и тарифов железнодорожного транспорта общего пользования / сост. И. Н. Каплевская. – Минск : Триолета, 2005. – 112 с.

I. S. DZUBA

DETERMINATION OF THE DESIGN DIMENSION FOR LONG ITEMS OF FREIGHT

A critical analysis of the current methodology was carried out and a simplified method for calculating the freight dimensions in the curve was proposed.

Получено 21.09.2018.