

Разработка методики и расчет условий прохождения сочлененными платформами сортировочных горок и кривых участков пути

ОАО «НВЦ «Вагоны» по заказу ОАО «Трансконтейнер» разработало новую конструкцию сочлененной платформы длиной 120 футов с возможностью перевозки контейнера над узлом сочленения [1; 2]. В процессе разработки возникло множество проблем, в том числе касающихся оценки кинематических ограничений вагона при прохождении горбов сортировочных горок. На вагон-платформу, помимо узла сочленения и специально разработанной средней подвагонной тележки, устанавливаются две турникетные опоры для обеспечения возможности перевозки контейнера типоразмера 1AAA над узлом сочленения. В связи с этим возникла необходимость проверки возможности прохождения платформой горба сортировочной горки без повреждения как конструкции вагона, так и перевозимого контейнера.



Н. А. Кукушина,
аспирант кафедры
«Вагоны и вагонное хозяйство»
Петербургского университета путей сообщения

Вагоны сочлененного типа широко распространены в странах Европы, США, Канаде, Китае. Главной особенностью таких вагонов является наличие узла сочленения, позволяющего лучше использовать погрузочное пространство и, как следствие, повысить полезную погонную нагрузку, уменьшить соотношение массы тары к грузоподъемности, сократить расходы на обслуживание и ремонт подвагонных тележек, а также вагона.

Наиболее распространенными среди вагонов сочлененного типа являются контейнеровозы: до 95 % от всех сочлененных вагонов в Европе и Китае; около 80 % в США и Канаде [3]. За рубежом существует множество моделей сочлененных вагонов-платформ, отличающихся количеством рам в сцепе, грузоподъемностью, типами перевозимых контейнеров и контрейлеров, схемами погрузки, а также конструктивными особенностями тормозного оборудования, ходовыми частями и прочими элементами. Однако по своим характеристикам при перевозке контейнеров в один ярус они уступают российским 80-футовым платформам.

Разработка методики расчета минимальной высоты турникетной опоры

С целью исключения вероятности повреждения вагона в ОАО «НВЦ «Вагоны» была разработана методика расчета прохождения сочлененным вагоном сортировочной горки. Для решения этой задачи необходимо учесть сразу несколько факторов:

- требования нормативных документов, устанавливающих допустимую форму сортировочных горок с выявлением профиля, обеспечивающего наибольший угол взаимного поворота рам;
- геометрические размеры вагона и контейнера;
- прогиб металлоконструкций рам под собственным весом и весом груженого контейнера.

На основе изучения нормативных документов, а именно «Норм расчета и проектирования вагонов железных дорог МПС колеи 1520 мм (несамоходных)» [4] и «Правил и норм проектирования сортировочных устройств на железных дорогах колеи 1520 мм» [5], выявлены три основных типа сортировочных горок и их предельные размеры, обеспечивающие максимальный угол поворота двух полурам сочлененного вагона в вертикальной плоскости:

- профиль надвижной и перевальной частей горки без профильного разделительного элемента [5], представленный на рис. 1;
- профиль надвижной и перевальной частей горки с профильным разделительным элементом [5], представленный на рис. 2;
- профиль надвижной и перевальной частей горки [4] радиуса $R = 250$ м с углом перелома 55 %, представленный на рис. 3.

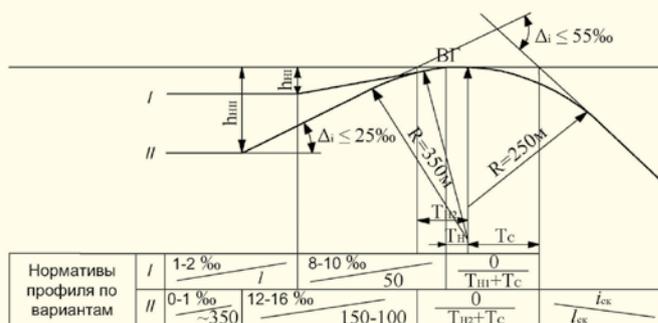


Рис. 1. Варианты профиля надвижной и перевальной частей горки без профильного разделительного элемента

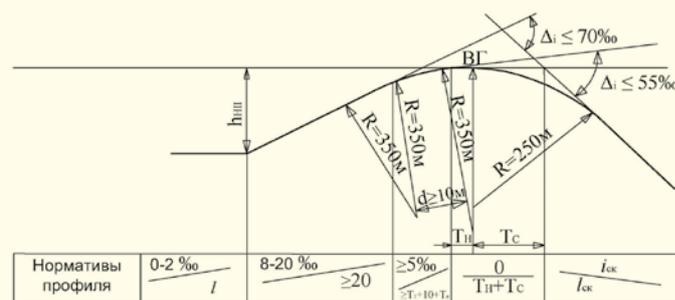


Рис. 2. Профиль надвижной и перевальной частей горки с профильным разделительным элементом

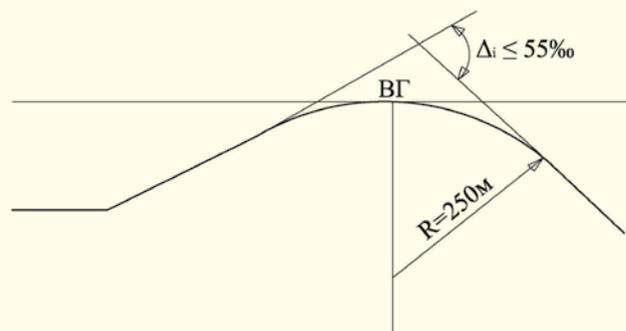


Рис. 3. Профиль надвижной и перевальной частей горки радиуса $R = 250$ м с углом перелома 55 %

Таблица 1. Расчетные значения минимального и максимального расстояния между верхом внутренней торцевой балки рамы платформы и нижней обвязкой контейнера при высоте турникетной опоры 100 мм

| Вариант расчета | Расстояние между верхней гранью рамы платформы и нижней обвязкой контейнера, мм | |
|--|---|-------|
| | min | max |
| Сортировочная горка без разделительного элемента | -46,1 | 126,0 |
| Сортировочная горка с разделительным элементом | -52,6 | 121,0 |
| Сортировочная горка согласно «Нормам...» | -51,4 | 140,2 |

Далее в программном пакете SolidWorks Motion 2011 были построены модели выбранных сортировочных горок с учетом обеспечения наибольших углов перелома и модель сочлененного вагона с турникетными опорами. Для упрощения расчета брался во внимание лишь продольный профиль вагона с учетом существующих взаимосвязей между тележками, рамой вагона и контейнерами. Для сочлененной платформы была задана высота турникетных опор, учтен прогиб металлоконструкции контейнера под собственным весом и прогиб металлоконструкций рам платформ под весом брутто контейнеров в соответствии с ранее проведенными расчетами. Величины прогибов были вычтены из высоты турникетной опоры.

Безопасность прохождения определялась по контролируемым зазорам между торцами рам и нижней обвязкой среднего контейнера.

Расчет минимальной высоты турникетной опоры

Для непосредственного расчета по предложенной методике предлагается использовать программный пакет SolidWorks Motion, позволяющий на основе создаваемых моделей сортировочных горок и сочлененного вагона проводить расчеты всех интересующих зазоров между элементами конструкций, получать графики изменения зазоров в зависимости от положения вагона на сортировочной горке. На основе полученных данных можно скорректировать конструкцию вагона на этапе проектирования.

В качестве примера рассмотрим сочлененную платформу модели 13-470-01 для перевозки трех 40-футовых контейнеров разработки ОАО «НВЦ «Вагоны», оборудованную устройством сочленения SAC-1, поворотными турникетными опорами для перевозки контейнера над центральной тележкой и другими принципиально новыми элементами конструкции [2].

Для сочлененной платформы была задана изначальная высота турникетных опор 100 мм, а также прогибы металлоконструкции контейнера под собствен-

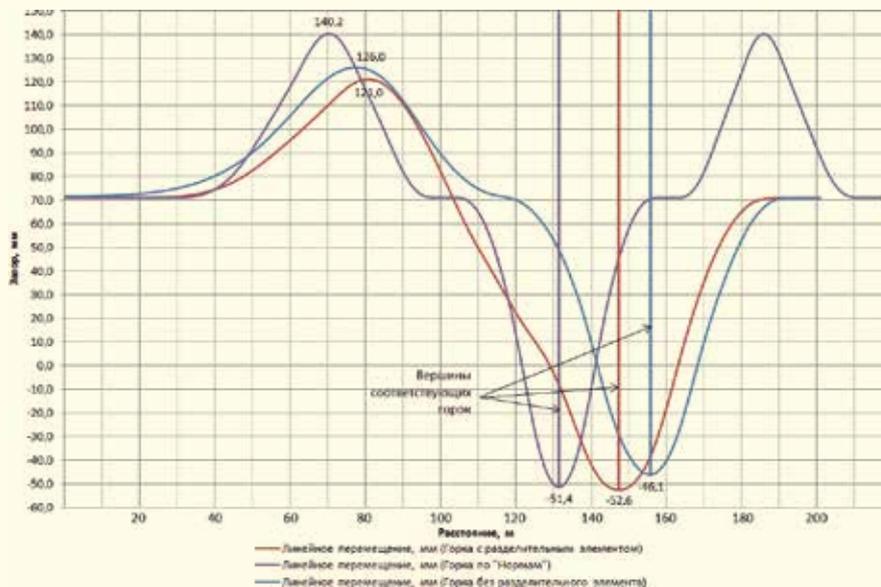


Рис. 4. Изменение зазоров между нижней обвязкой контейнера и верхом внутренней торцевой балки полурамы платформы при высоте турникетной опоры 100 мм для вариантов сортировочных горок

ным весом 20 мм и металлоконструкций рам платформ под весом брутто контейнеров 35 мм, которые были вычтены из высоты турникетной опоры. В результате расчетов были получены графики изменения расстояния между верхом торцевой балки рам платформы и нижней обвязкой контейнера в зависимости от положения платформы на горбе сортировочной горки для выбранных профилей (рис. 4).

Анализ графиков изменения расстояния между верхней гранью внутренней торцевой балки рам платформы и нижней обвязкой контейнера (табл. 1) выявил отрицательные значения минимальных расстояний между верхней гранью рамы платформы и нижней обвязкой контейнера, что свидетельствует о том, что торцевые рамы вагона будут задевать контейнер. Наибольшее отрицательное отклонение составило 52,6 мм — оно зафиксировано в случае прохождения через вершину сортировочной горки с разделительным элементом.

Был сделан вывод, что для обеспечения безопасного прохождения вагоном горба сортировочной горки необходимо поднять турникетные опоры на величину не менее 60 мм (с учетом необходимого

зазора не менее 5–7 мм), т. е. высота турникетных опор должна составлять не менее 160 мм.

Повторные расчеты сочлененного вагона с увеличенной высотой турникетных опор до 160 мм подтвердили безопасное прохождение платформой сортировочной горки (рис. 5). Полученные максимальные и минимальные значения зазоров между верхней гранью внутренней торцевой балки рам платформы и нижней обвязкой контейнера представлены в табл. 2.

Разработка методики расчета ограничения высоты турникетной опоры

Чтобы проверить возможность установки турникетной опоры рассчитанной высоты, необходимо дополнительно оценить ее максимально допустимую высоту. Для этого нужно провести расчет на вписывание сочлененной платформы с контейнером в габарит. Расчет предлагается провести для расположения вагона в кривом участке пути, основываясь на требованиях нормативных документов [6–8]. Поскольку контейнер является грузом, он должен быть вписан в основной габарит погрузки [8]. С учетом того, что габарит

Таблица 2. Расчетные значения минимального и максимального расстояния между верхом внутренней торцевой балки рамы платформы и нижней обвязкой контейнера при высоте турникетной опоры 160 мм

| Вариант расчета | Расстояние между верхней гранью рамы платформы и нижней обвязкой контейнера, мм | |
|--|---|-------|
| | min | max |
| Сортировочная горка без разделительного элемента | 13,9 | 186,0 |
| Сортировочная горка с разделительным элементом | 7,4 | 181,0 |
| Сортировочная горка согласно «Нормам...» | 8,6 | 200,2 |

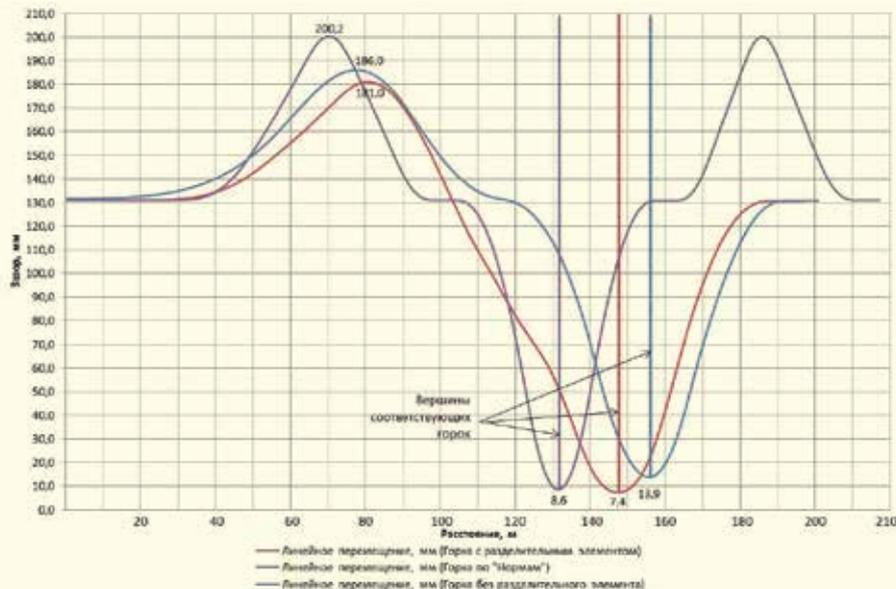


Рис. 5. Изменение зазоров между нижней обвязкой контейнера и верхом внутренней торцевой балки полурамы платформы при высоте турникетной опоры 160 мм для вариантов сортировочных горок

погрузки назначен для традиционных четырехосных платформ, с целью обеспечения безопасности проверялось также вписывание контейнера в габарит 1-Т [6; 7].

При вписывании сочлененной платформы с грузом, установленным над сцепом, в габарит 1-Т [там же] необходимо определить выносы по расчетной схеме, представленной на рис. 6. Вынос центрального контейнера в кривых участках пути был определен из рассмотрения положения продольных осей вагона, тележек и контейнера. Продольная ось правой части платформы пересекает среднюю линию пути в кривой радиуса R в точках А и В, расстояние между которыми равно $2l$, что соответствует полубазе сочлененного вагона. Продольная ось контейнера длиной $2L$, установленного на турникетных опорах в точках G_1 и F_1 , отклоняется от середины пути вовнутрь на величину $f_{цн}$, которая является суммой перемещения турникетных опор (точек G_1 и F_1) на величину f_1 и перемещения оси самого контейнера на величину f_2 .

В этом случае значение выноса платформы f'_1 (с учетом выносов тележек с базой l_T) определяется из подобия треугольников ΔBC_1C_2 и ΔFC_2E (рис. 6) и не отличается от принимаемого в [там же]:

$$f'_1 = \frac{(2l - n)n}{2R} + \frac{(l_T)^2}{2R}. \quad (1)$$

Для определения выноса собственно контейнера внутрь кривой f'_2 необходимо провести хорды G_1G_2 и F_1F_2 , перпендикулярные оси контейнера, до пересечения с осью кривой (рис. 6). В этом случае из подобия треугольников ΔJKG_2 и ΔKHF_2 получим формулу для определения выноса контейнера:

$$f'_2 = \frac{(2L - x)x}{2R}. \quad (2)$$

Таким образом, суммарный вынос контейнера, установленного на сочлененной платформе, будет равен сумме величин, получаемых по формулам (1) и (2), т. е.:

$$f_{цн} = \frac{(2l - n)n}{2R} + \frac{(l_T)^2}{2R} + \frac{(2L - x)x}{2R}. \quad (3)$$

Согласно поставленной геометрической задаче максимальные значения выносов контейнера и платформы в кривой будут достигнуты при значениях расстояний до исследуемых сечений $n = L$ и $x = L$. Тогда формула (3) примет вид:

$$f_{цн} = \frac{(2l - L)L}{2R} + \frac{(l_T)^2}{2R} + \frac{L^2}{2R}. \quad (4)$$

При расчете необходимо дополнительно учесть горизонтальные смещения, обусловленные зазорами и износами ходовых частей в соответствии с норматив-

ными документами [там же], и смещения в соединениях турникетных опор с платформой и контейнером:

$$E_0 = f_{цн} + 0,5(S - d) + q + w + v_1 + v_2, \quad (5)$$

где S — максимальная ширина колеи в кривой расчетного радиуса, мм;

d — минимальное расстояние между наружными гранями предельно изношенных гребней бандажей, мм;

q — наибольшее из возможных поперечное перемещение в направляющем сечении в одну сторону из центрального положения рамы тележки относительно колесной пары вследствие зазоров при максимальных износах и деформаций упругих элементов в буксовом узле и узле сочленения рамы тележки с буксой, мм;

w — наибольшее возможное поперечное перемещение в направляющем сечении в одну сторону из центрального положения кузова относительно рамы тележки вследствие зазоров при максимальных износах и упругих колебаний в узле сочленения кузова и рамы тележки, мм;

v_1 — наибольшее возможное поперечное перемещение в направляющем сечении в одну сторону из центрального положения турникетной опоры вследствие зазоров при максимальных износах и деформаций соединения турникетной опоры и рамы платформы;

v_2 — наибольшее возможное поперечное перемещение в направляющем сечении в одну сторону из центрального положения турникетной опоры вследствие зазоров при максимальных износах и деформаций соединения турникетной опоры и контейнера.

Максимально допускаемая ширина подвижного состава $2B$ на некоторой высоте H над уровнем верха головки рельса в рассматриваемом сечении определяется по формуле:

$$2B = 2(B^w - E_0), \quad (6)$$

где B^w — полуширина соответствующего габарита подвижного состава на рассматриваемой высоте, мм.

При расчете выноса груза, установленного над сцепом двух вагонов, при вписывании в основной габарит погрузки [8] применяется следующая формула:

$$2B = 2(B^w - f_{сц}), \quad (9)$$

где B^w — полуширина основного габарита погрузки на рассматриваемой высоте, мм.

Расчет ограничения высоты турникетной опоры

Для уточнения максимальной высоты турникетных опор был проведен расчет габаритной рамки согласно предложенной методике для сочлененной платформы модели 13-470-01 (рис. 7) по ГОСТ 9238-83 [3; 4] и ЦМ-943-2003 [8].

При расчете сочлененной платформы с установленным над сцепом контейнером на вписывание в габарит 1-Т [6; 7] и в основной габарит погрузки в кривых участках пути [8], с учетом ранее проводившихся расчетов, были приняты следующие величины:

- база полурамы сочлененной платформы $l_b = 16\,548$ мм;
- расстояние между опорами груза (контейнера), расположенного над сцепом $L = 6096$ мм;
- база тележки $l_t = 1850$ мм;
- максимальная ширина колеи в кривой расчетного радиуса $S = 1465$ мм;
- минимальное расстояние между наружными гранями предельно изношенных гребней бандажей $d = 1306$ мм;
- наибольшее из возможных поперечное перемещение в направляющем сечении в одну сторону из центрального положения рамы тележки относительно колесной пары вследствие зазоров при максимальных износах и деформаций упругих элементов в буксовом узле и узле сочленения рамы тележки с буксой $q = 3$ мм;
- наибольшее из возможных поперечное перемещение в направляющем сечении в одну сторону из центрального положения кузова относительно рамы тележки вследствие зазоров при максимальных износах и упругих колебаний в узле сочленения кузова и рамы тележки $w = 28$ мм;
- допуски на ширину, высоту контейнера и установку фитингов на сцепе в расчете не учитываются, так как являются отрицательными;
- наибольшее из возможных поперечное перемещение в направляющем сечении в одну сторону из центрального положения турникетной опоры вследствие зазоров при максимальных износах и деформаций соединения турникетной опоры и рамы $v_1 = 4$ мм;
- возможные смещения контейнера за счет зазоров между фитинговыми упорами, установленными на сцепе, и фитингами контейнера в поперечном направлении $v_2 = 13,5$ мм.

Вынос сочлененной платформы модели 13-470-01 с установленным над сцепом контейнером по формуле (5) составил: $E_0 = 229$ мм. В соответствии с формулой (6) были вычислены ко-

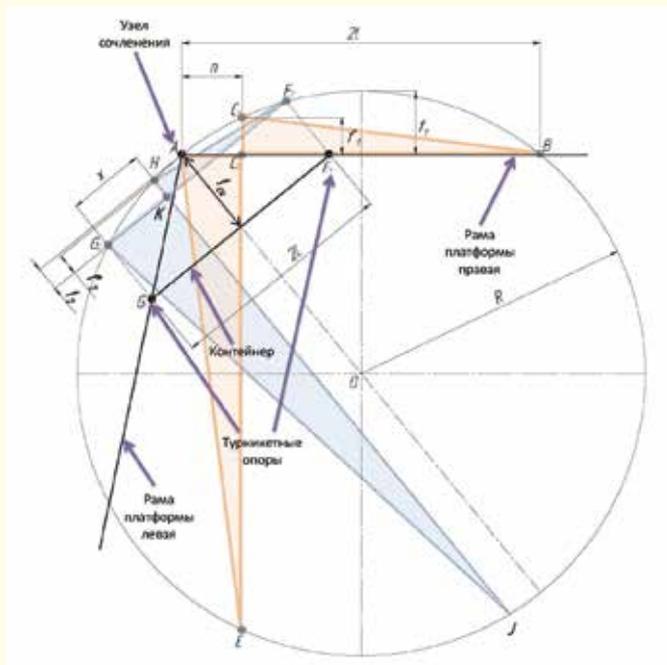


Рис. 6. Схема вычисления выноса груза (контейнера) над узлом сочленения сочлененной платформы: $2L$ — расстояние между опорами груза (контейнера), расположенного над сцепом; $2l$ — полубаза вагона; n — расстояние до исследуемого сечения платформы; x — расстояние до исследуемого сечения контейнера; $f_{сц}$ — общий вынос вагона с грузом в кривой; f_1 — вынос вагона в кривой; f_2 — вынос груза (контейнера) в кривой; R — расчетный радиус кривой.

$$f_{сц} = \frac{l_b^2}{4 \cdot 2R} + \frac{(L - n)n}{2R} - 105, \quad (7)$$

где n — расстояние до сечения, которое для груза, имеющего по всей длине одинаковые размеры поперечного сечения, принимается равным $n = 0,5L$; 105 — часть уширения габарита приближения строений и междупутий в расчетной кривой, мм.

Однако из-за особенностей конструкции сочлененной платформы эта формула неприменима, поскольку предполагает установку над сцепом двух четырехосных вагонов. Предлагается расчетная схема, аналогичная представленной на рис. 6. Таким образом, обобщенная формула для вычисления выноса груза будет аналогична формуле (4):

$$f_{сц} = \frac{(2l - L)L}{2R} + \frac{(l_t)^2}{2R} + \frac{L^2}{2R} - 105. \quad (8)$$

Далее, в соответствии с документацией [8], определяется максимально допускаемая ширина подвижного состава $2B$ на высоте H над уровнем верха головки рельса:

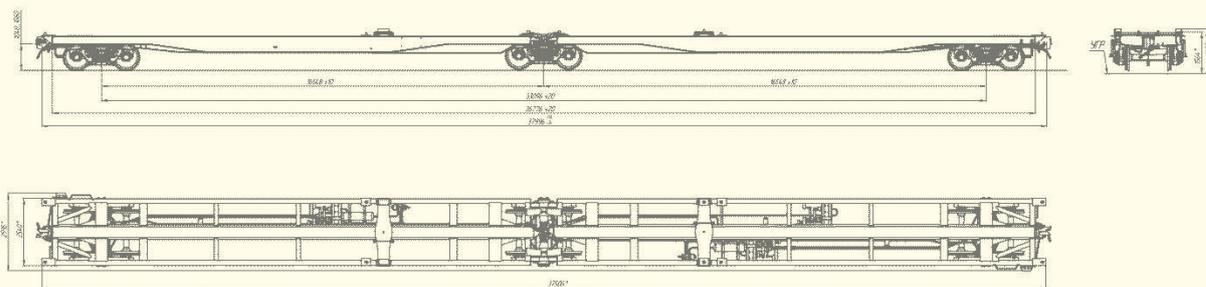


Рис. 7. Сочлененная платформа модели 13-470-01

ординаты точек габарита 1-Т при условии указанного смещения. Результаты расчета представлены в *табл. 3*.

Таблица 3. Координаты точек строительного очертания вписываемого в габарит 1-Т сочлененного вагона с установленным над сцепом контейнером, мм

| B_i^w | E_0 | B_i | H |
|---------|-------|-------|------|
| 700 | 235 | 471 | 5300 |
| 1400 | | 1171 | 4500 |
| 1600 | | 1371 | 4250 |
| 1700 | | 1471 | 4000 |

Вынос сочлененной платформы модели 13-470-01 с установленным над сцепом контейнером по формуле (8) составил: $f_{\text{сч}} = 79,5$ мм. В соответствии с формулой (9) были вычислены координаты точек основного габарита погрузки при условии указанного смещения. Результаты расчета представлены в *табл. 4*.

Таблица 4. Координаты точек строительного очертания вписываемого в основной габарит погрузки сочлененного вагона с установленным над сцепом контейнером, мм

| B_i^w | E_0 | B_i | H |
|---------|-------|--------|------|
| 620 | 79,5 | 540,5 | 5300 |
| 1625 | | 1545,5 | 4000 |
| 1625 | | 1545,5 | 380 |
| 1300 | | 1220,5 | 380 |
| 1300 | | 1220,5 | 150 |

На *рис. 8* представлены смещения габарита 1-Т [8] и основного габарита погрузки [6; 7] для сочлененного вагона модели 13-470-01 с установленным над сцепом контейнером в соответствии с проведенными расчетами. Минимальное расстояние между рассчитанными очертаниями и ближайшим ребром контейнера составляет 99 мм в случае вписывания в основной габарит погрузки [8].

Для проверки расчетов по предложенной методике были проведены испытания опытного образца сочлененной платформы модели 13-470-01 с высотой турникетной опоры 214 мм на сортировочной горке станции Рузаевка (*рис. 9*).

Перелом профиля возле вершины горки станции Рузаевка составляет 40 %, что в 1,375 раза меньше значений перелома горки без разделительного элемента и горки в соответствии с «Нормами...» (составляют 55 %) [4]. Ожидаемые результаты и замеры фактических зазоров между нижним поясом среднего контейнера и лобовыми листами полурам представлены в *табл. 5*.

Таблица 5. Расчетные и фактические зазоры между нижним поясом среднего контейнера и лобовыми листами полурам сочлененной платформы модели 13-470-01 на месте перелома (горба) сортировочной горки, мм

| Расчетные значения на горке без разделительного элемента | Расчетные значения на горке по «Нормам...» | Фактические значения |
|--|--|----------------------|
| 94 | 89 | 99...108 |

Расхождение результатов в случае горки без разделительного элемента составило от 5 до 14 мм. При этом фактический прогиб рамы контейнера составил 11 мм вместо расчетных 20 мм, т. е. на 9 мм меньше. С учетом этих поправок погрешность расчета высоты турникетной опоры составляет не более 5,3 %.



Рис. 9. Сочлененная платформа модели 13-470-01

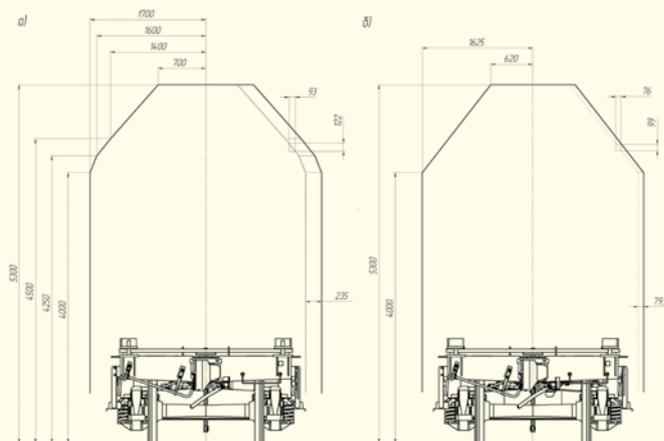


Рис. 8. Сочлененный сцеп платформ модели 13-470-01 с контейнером 1ААА:
а – вписанный в строительные очертания габарита 1-Т по ГОСТ 9238-83;
б – вписанный в основной габарит погрузки по ЦМ-943-2003

Выводы

Проведенные расчеты показали, что турникетные опоры на сочлененном вагоне-платформе модели 13-470-01 для безопасного прохождения горбов сортировочных горок должны иметь высоту до опорной плоскости упоров не менее 160 мм и не более 259 мм относительно пола рамы данной платформы.

При проектировании сочлененных вагонов рекомендуется использовать предложенную методику расчета высоты турникетных опор и методику расчета вписывания вагона в габариты 1-Т и погрузки для определения выносов контейнера в кривых участках пути. **Т**

Литература

- Бороненко Ю. П., Белгородцева Т. М., Васильев С. Г., Смирнов Н. В. Инновационное решение – 120-футовая платформа сочлененного типа для перевозки трех 40-футовых крупнотоннажных контейнеров // Транспорт Российской Федерации. 2009. № 5 (24). С. 56–59.
- Пат. 82174. Российская Федерация от 09.02.2009. Вагон-платформа сочлененного типа для перевозки крупнотоннажных контейнеров / Ю. П. Бороненко, С. Г. Васильев, Н. В. Смирнов.
- Совершенствование конструкций грузовых вагонов // Железные дороги мира. 2000. № 9.
- Нормы расчета и проектирования вагонов железных дорог МПС колеи 1520 мм (несамоходных). М.: ГосНИИВ-ВНИИЖТ, 1996.
- Правила и нормы проектирования сортировочных устройств на железных дорогах колеи 1520 мм. СПб.: ТехИнформ, 2003.
- ГОСТ 9238-83. Габариты приближения строений и подвижного состава железных дорог колеи 1520 (1524) мм. Введ. 1984-07-01. М.: Изд-во стандартов, 1988.
- ЦП-4425. Инструкция по применению габаритов приближения строений ГОСТ 9238-83. Введ. 1989-03-01. Екатеринбург: УралЮрИздат.
- ЦМ-943. Технические условия размещения и крепления грузов в вагонах и контейнерах. М.: ЮрТранс, 2003.