

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ ТРАНСПОРТНОГО КОМПЛЕКСА

УДК 629.45/.46.001.4+656.212.5(23.01)

В. И. СЕНЬКО, доктор технических наук, А. К. ГОЛОВНИЧ, доктор технических наук, С. В. МАКЕЕВ, кандидат технических наук, Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

**ОСОБЕННОСТИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ И ЭКСПЛУАТАЦИИ
СТЕНДА УДАРНЫХ ИСПЫТАНИЙ**

Представлен сравнительный анализ конструкций ударной и сортировочной горок, рассмотрены особенности их проектирования и эксплуатации. Особое внимание уделяется специфике работы стенда-горки и ее безопасной эксплуатации, обеспечиваемой соответствующими техническими и технологическими мерами.

Железнодорожный подвижной состав, выпускаемый на вагоностроительных заводах, проходит сертификацию, являющуюся сложным техническим и технологическим процессом, обеспечивающим контроль соответствия параметров вагонов нормам и требованиям соответствующих документов. Важнейшим элементом сертификации являются испытания новой техники. С этой целью из всей партии вагонов определяется один или несколько образцов, которые должны пройти цикл нагружений конструктивных узлов и деталей, моделирующих ожидаемые поезда и маневровые ситуации в процессе дальнейшей эксплуатации на железных дорогах. В число таких испытаний включаются ударные – наиболее сложные и ответственные испытания надежности конструкции вагонов, которые подвергаются высоким импульсным нагрузкам в результате взаимодействия с другими подвижными единицами. Технологией проведения ударных испытаний предполагается столкновение стоящего испытываемого вагона с движущимся на него вагоном, называемым бойком, который набирает соответствующую энергию удара в процессе движения с горки.

Испытания на удар можно проводить также с использованием маневрового локомотива, который одиночными толчками направляет вагон-боек к месту расположения испытываемого вагона. Однако такая технология оказывается достаточно затратной по времени выполнения и стоимости. Отечественная и зарубежная практика проведения ударных испытаний рекомендует использование стенда-горки.

Стенд-горка служит для автоматизации процесса испытаний подвижного состава на удар, моделируя реальные ситуации столкновения вагонов в результате роспуска составов на сортировочных и участковых станциях, а также различные нештатные ситуации.

Ударная горка (рисунок 1) представляет собой сооружение на основе профилированного пути с крутым уклоном и незначительной длиной спускного участка. Особенностью устройства рассматриваемой ударной горки является отсутствие у нее надвигной и перевальной частей, т. е. по конструкции – это участок тупикового пути на уклоне с горбом горки в тупике. На горбе горки проектируется горизонтальный участок пути с возможностью установки лебедки, обеспечивающей подъем вагона-бойка вверх по наклонному пути горки.

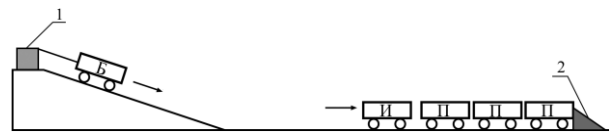


Рисунок 1 – Общая схема работы ударной горки:
1 – механизм подъема бойка; 2 – железобетонный упор

С помощью лебедки 1 вагон-боек (Б) поднимается и фиксируется на определенной высоте. Расцепная муфта освобождает вагон-боек от натяжения каната, и ускоренное движение вагона позволяет быстро набрать требуемую скорость соударения для контролируемого взаимодействия с испытываемым вагоном (И). Энергия удара, передаваемая от вагона-бойка, погашается вагонами подпора (П) и мощным железобетонным упором 2. После регистрации напряжений датчиками, укрепленными по контрольным точкам испытываемого вагона, вагон-боек с помощью лебедки поднимается на горку для проведения следующего удара.

Технологический график работы ударной горки приведен на рисунке 2.

Наименование технологической операции	Продолжительность операции, с						
	10	20	30	40	50	60	70
Сброс каната и движение бойка к точке удара	16(22)	6					16(22)
Фиксирование удара бойка об испытываемый вагон		5	5				
Подъем бойка на горку с помощью лебедки			36	36			
Закрепление бойка на стартовой позиции					10	10	
Всего длительность в цикле, с					67		73

Рисунок 2 – Технологический график работы ударной горки

Количество выделяемых технологических операций не превышает четырех, после которых цикл работы ударной горки повторяется. Вариации в длительности цикла от 67 до 73 секунд возникают из-за необходимости установки вагона-бойка на различных участках горки, фиксирующих получение необходимой кинетической энергии для формирования определенной скорости удара. На спускной части горки устанавливаются контрольные участки, начало движения бойка с которых позволяет в точке удара получать соответствующие скорости 4, 8, 12, 16 и 20 км/ч. Таким образом, ударная горка тарирована по ударным позициям.

Следует отметить, что даже для получения определенной контрольной скорости удара позиция на горке не ограничивается одним точным положением флажка, так как на динамику скорости движения вагона-бойка оказывают влияние множество факторов (состояние пути, ветровая нагрузка, погодные условия и др.). Поэтому речь идет об установлении ряда участков ударных позиций, в пределах которых при определенных условиях можно достичь требуемой скорости соударения бойка и испытываемого вагона. Положение тарировочных позиций и длина соответствующих участков ударных позиций оказываются различными из-за сложной динамики движения бойка.

Характеристика различных конструкций стенда для проведения ударных испытаний подвижного состава. Стенд ударных испытаний рассматривается как комплекс сооружений путевого развития и технического оснащения, который обеспечивает эффективное безопасное проведение испытаний подвижного состава на удар, моделируя различные ситуации поездной и маневровой работы на этапе эксплуатации. На рисунке 3 представлены некоторые варианты взаимного расположения устройств ударного стенда.

Вариант рисунка 3, *а* предполагает *нормальную* схему проведения удара. При этой схеме вагон-боек с фиксированной скоростью ударяет в испытываемый вагон, который, в свою очередь, соударяется с тремя вагонами подпора и окончательным погашением энергии удара в железобетонном упоре. Все единицы подвижного состава располагаются на прямом горизонтальном участке пути, а вагоны подпора – в заторможенном состоянии и с тормозными башмаками. Рисунок 3, *б* иллюстрирует схему проведения удара усилением подпорной части (4 вагона вместо трех) и облегченной конструкцией упора. Вариант с усилением железобетонного упора с компенсацией ударного воздействия, эквивалентного 2000 т (соответственно в 2 и 4 раза большего, чем по рисункам 3, *а*, *б*), представлен на рисунке 3, *в*. При установке четырех вагонов подпора на противоположном наклоне и сохранением остальных условий проектирования согласно рисунку 3, *б* получаем вариант схемы рисунка 3, *г*. Сооружение двух коротких противоположных наклонных с установкой на них двух пар вагонов подпора приводит к схеме рисунка 3, *д*.

Кроме схемы проведения ударных испытаний с постановкой испытываемого вагона рядом с вагонами подпора нормативными документами предусматривается расположение испытываемого вагона на некотором удалении от вагонов подпора (стенки) (рисунок 3, *е*). Такой вариант не рассматривается как особый случай, а лишь как вторая технологическая схема, которая обязательно должна реализовываться при организации удара при любой из рассматриваемых ранее конструкций.

Схемы рисунка 3, *з*, *и* следует признать как альтернативные всем предыдущим, так как согласно их конструкции отсутствует горка, которая заменяется специальным ударным устройством, имитирующим удар в боек, который передает энергию удара испытываемому вагону.

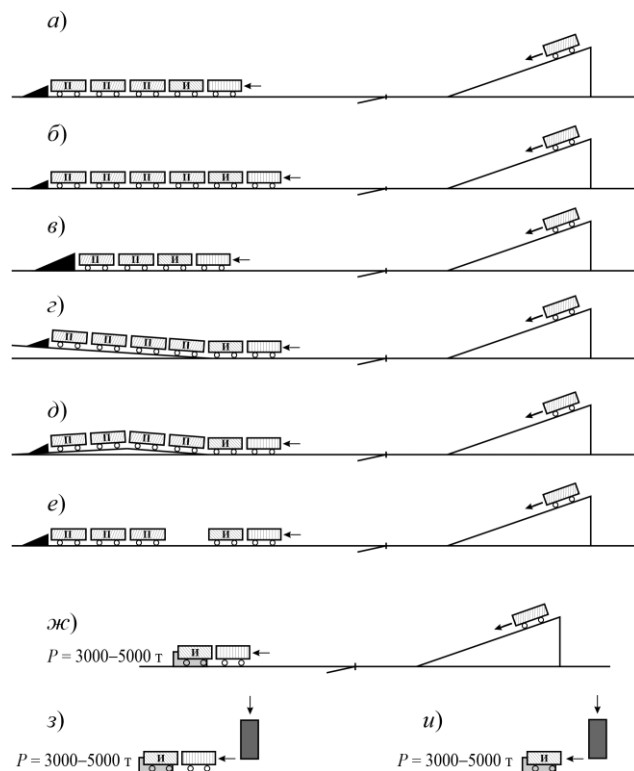


Рисунок 3 – Варианты конструкций стенда для ударных испытаний:

а – горка, боек, испытываемый вагон, 3 вагона подпора, железобетонный упор с компенсацией ударного воздействия, эквивалентного 1000 т; *б* – горка, боек, испытываемый вагон, 4 вагона подпора, железобетонный упор 500 т; *в* – горка, боек, испытываемый вагон, 2 вагона подпора, железобетонный упор 2000 т; *г* – горка, боек, испытываемый вагон, 4 вагона подпора на противоположном наклоне, железобетонный упор 500 т; *д* – горка, боек, испытываемый вагон, 4 вагона подпора на двух противоположных наклонных, железобетонный упор 1000 т; *е* – горка, боек, испытываемый вагон, 3 вагона подпора на удалении от испытываемого вагона, железобетонный упор 1000 т; *ж* – горка, боек, испытываемый вагон, мощный железобетонный упор 5000 т; *з* – ударное устройство, передающее воздействие на боек, испытываемый вагон, мощный железобетонный упор 5000 т; *и* – ударное устройство, передающее воздействие на испытываемый вагон, мощный железобетонный упор 5000 т

Испытываемый вагон помещается в особый П-образный мощный упор, который погашает кинетическую энергию, сообщенную испытываемому вагону. Отличие последней схемы состоит в том, что ударное устройство непосредственно передает энергию удара испытываемому вагону без посредника, в качестве которого во всех предыдущих вариантах выступал вагон-боек.

При сравнении приведенных вариантов со схемой рисунка 1 можно отметить наличие стрелочного перевода, укладываемого между горкой и положением испытываемого вагона. Так как горка запроектирована как тупиковый элемент путевого развития, то испытываемый вагон необходимо подавать через соединительный путь по некоторой схеме примыкания к горочному пути (рисунок 4).

Также при этом возникает необходимость в достаточно длительной дополнительной маневровой работе, связанной с выводом вагона-бойка, установкой испытываемого вагона и повторными маневровыми передвижениями с вагоном-бойком. Однако профиль катания бойка может быть обеспечен максимально мягким без каких-либо стыков, кривых и др. В дальнейшем в

данной работе будет рассматриваться только ударная горка, запроектированная по тупиковой схеме с тремя вагонами подпора (см. рисунок 3, а).

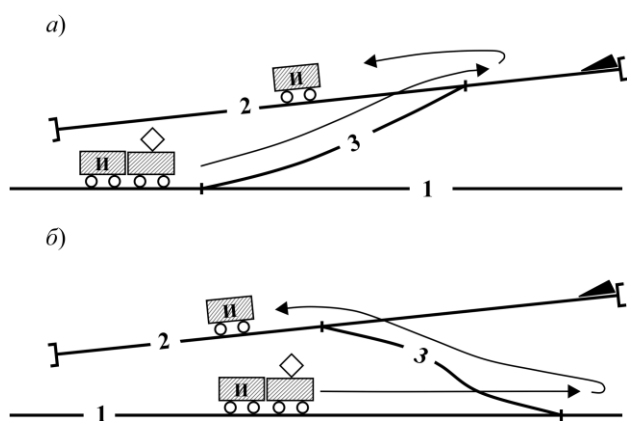


Рисунок 4 – Схемы примыкания горочного пути (2) к ходовому (1) с помощью соединительного (3) с укладкой стрелочного перевода для вагона-бойка:
а – противощерстного; б – пошерстного

Основные позиции сравнения ударной и сортировочной горки. Сортировочная горка обеспечивает расформирование составов поездов с разделением отцепов по различным путям сортировочного парка в соответствии с планом формирования и назначением путей. Высокая скорость роспуска достигается увеличением высоты горки, проектированием крутых скоростных уклонов и повышением скорости надвига. Однако при этом необходимо решать проблему погашения высоких скоростей в подгорочной зоне, применяя различные системы замедлителей. Длинный мягкий профиль в горловине сортировочного парка также способствует снижению скоростей движения отцепов.

Ударная горка функционально отличается от сортировочной. Ее назначение состоит в том, чтобы обеспечить достижение максимальной скорости движения вагона-бойка за кратчайшее время с целью обеспечения высокой производительности работы ударного стенда. Так, по требованиям ресурсных испытаний необходимо провести до 1000 ударов в испытываемый вагон. Выполнить такой объем работы можно только при достаточно высокой интенсивности работы ударной горки. Поэтому ударная горка должна быть высокой и по возможности короткой без длинного пути сопряжения с горизонтальным участком, где располагается испытываемый вагон. На ударной горке не требуется устанавливать замедлители, профиль такой горки должен обеспечивать получение необходимой скорости вагона-бойка за минимальное время.

Ударная горка по сравнению с сортировочной работает в фиксированном технологическом режиме. С помощью механизма подъема на ударную горку осуществляется надвиг одного и того же вагона-бойка с определенной массой q (не менее 80 т). Основание ударной горки испытывает постоянные нагрузки, все обслуживающие устройства работают в постоянном ритме, способствующем установлению строгого, планомерного расписания, так необходимого для устойчивой работы автоматизированной системы.

Внешние факторы, действующие на сортировочную и ударную горки, оказывают одно и то же влияние. Отцепы, скатывающиеся с сортировочной горки, и вагон-боек, сбрасываемый расцепным устройством с ударной горки, тормозятся из-за наличия сил, возникающих вследствие трения скольжения, сопротивления от воздушной среды, стрелочных переводов, снега, инея.

Следует отметить особую динамику взаимодействия колеса и рельса, возникающую при высокой скорости движения вагона-бойка (5,5–6 м/с) и в момент удара. Длительные и интенсивные воздействия на рельс могут приводить к преждевременному износу верхнего строения пути, а постоянные ударные воздействия на вагон-боек – к ослаблению креплений груза (бетонных плит и др.) и самого вагона. Указанные негативные влияния требуют более жесткого контроля за обеспечением безопасности проводимых испытаний, тщательного мониторинга за состоянием пути и подвижного состава, участвующих в испытаниях, после каждого завершённого цикла ударных испытаний. Участок ударных испытаний должен быть обязательно огражден, нахождение людей, в том числе и причастных к проведению ударных испытаний, в зоне работы лебедки и в зоне удара строго запрещено! По всему участку ударных испытаний должны быть установлены предупреждающие, информирующие и запрещающие указатели, регламентирующие безопасный проход и нахождение людей в различных зонах. Для сортировочной горки таких жестких ограничений не существует по причине меньшей опасности проводимых работ по роспуску вагонов.

Сравнительная динамика скоростей скатывания отцепа с сортировочной горки и бойка с ударной горки. Максимальный скоростной уклон сортировочной горки ограничивается полученной скоростью движения бегуна при подходе к тормозной позиции. Для ударной горки такое ограничение отсутствует, что позволяет увеличить уклон скатывания вагона-бойка, обеспечивая быстрое достижение высокой скорости движения, соразмеримой со скоростью соударения бойка и испытываемого вагона. При этом общая длина горки, а следовательно, и пути скатывания бойка существенно сокращается.

Максимальная скорость соударения бойка и испытываемого вагона согласно требованиям НБ ЖТ, предъявляемых к испытаниям вагонов, составляет 20 км/ч (5,56 м/с). Такая скорость достигается при высоте горки

$$H_r = \frac{v^2}{2g'},$$

где g' – ускорение тяжести с учетом инерции вращающихся осей вагона,

$$g' = \frac{g}{1 + \gamma}, \quad \gamma = \frac{0,42n}{q},$$

n – число осей вагона-бойка, $n = 4$.

$$g' = \frac{9,81}{1 + \frac{0,42 \cdot 4}{80}} = 9,61 \text{ м/с}^2.$$

Экспертно оценим геометрические параметры ударной горки. С учетом преодолеваемых сил сопротивления и необходимости сопряжения с горизонтальным участком пути продольный профиль ударной горки должен представлять собой 3–4 составных сегмента с различным уклоном. Начальный уклон достигает 50–55 ‰.

Согласно расчетам

$$H_r = \frac{5,56^2}{2 \cdot 9,61} = 1,6 \text{ м.}$$

С учетом влияния тормозящих сил будем оценивать профиль ударной горки высотой до 2 м (рисунок 5).

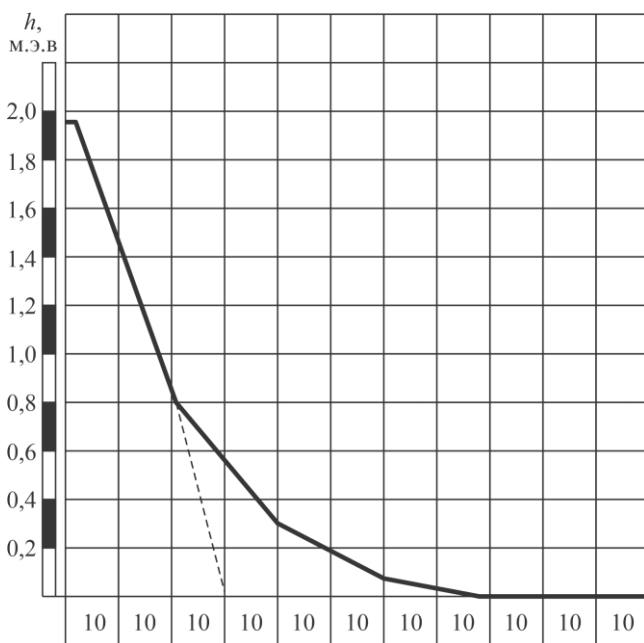


Рисунок 5 – Продольный профиль ударной горки

Максимальная скорость вагона-бойка, равная 20 км/ч, может быть достигнута уже на длине скатывания

$$L = \frac{v^2}{2g' \sin \alpha} = \frac{v^2}{2g' \frac{55}{1000}} = \frac{5,56^2 \cdot 1000}{2 \cdot 9,61 \cdot 55} = 29,2 \text{ м.}$$

Однако для смягчения перехода бойка, движущегося с большой скоростью к прямому участку пути, требуется уположение профиля с 55 ‰ до некоторого минимального, что приводит к определенной потере скорости и увеличению длины скатывания бойка до 75–80 м. Кроме того, боек продолжает двигаться по прямому участку пути до точки соударения с испытываемым вагоном 9 (см. рисунок 3), что удлиняет путь его движения до 100–110 м.

Потери энергии при движении бойка связаны только с преодолением основного сопротивления (трения скольжения) и дополнительного сопротивления от воздушной среды и ветра. При наличии стрелочных переводов на пути движения необходимо учесть поте-

ри на удар по стыкам (переднего стыка рамного рельса, заднего стыка крестовины и в самой крестовине). Основное сопротивление движению вагона-бойка $w_0 = 1,23 \text{ Н/кН}$ согласно [1, табл. 5, с. 17]. Дополнительное сопротивление от среды и ветра

$$w_{cb} = \frac{17,8 C_x S}{(273 + t) q} v_p^2,$$

где C_x – коэффициент обтекаемости одиночного вагона, принимаем $C_x = 1,5$; S – площадь поперечного сечения вагона; для полувагона, используемого в качестве вагона-бойка, $S = 8,5 \text{ м}^2$; t – температура наружного воздуха. Для неблагоприятных условий

$$t = t_{cp} + 0,3\tau(t_{min} - t_{cp}),$$

t_{cp} – средняя месячная зимняя температура воздуха, $t_{cp} = -6,9 \text{ }^\circ\text{C}$; τ – нормированное отклонение от среднего значения. Учитывая большую крутизну уклона ударной горки и небольшую высоту, $\tau = 2,0$ [1, с. 19]; t_{min} – абсолютный минимум температур для региона. По метеонаблюдениям для исследуемого региона $t_{min} = -37 \text{ }^\circ\text{C}$; v_p – относительная скорость бойка. При угле между направлением ветра и осью участка пути, по которому скатывается боек, менее 30° ,

$$v_p = v_{cp} + v_b,$$

v_{cp} – средняя скорость движения бойка на участке спуска, $v_{cp} = 3 \text{ м/с}$; v_b – скорость ветра. Для климатических условий средней полосы принимаем встречный ветер с $v_b = 6,2 \text{ м/с}$.

Согласно выполняемым расчетам

$$t = -6,9 + 0,3 \cdot 2,0 \cdot (-37 + 6,9) = -25 \text{ }^\circ\text{C}.$$

$$w_{cb} = \frac{17,8 \cdot 1,5 \cdot 8,5}{(273 - 25) \cdot 80} \cdot (3 + 6,2)^2 = 0,96 \text{ Н/кН.}$$

Удельная работа на преодоление сил сопротивления

$$h_w = \frac{(w_0 + w_{cb})L}{1000} = \frac{(1,23 + 0,96) \cdot 110}{1000} = 0,24 \text{ м.э.в.}$$

Учитывая потери энергии вагона-бойка на преодоление сил сопротивления в процессе движения с ударной горки, можно наглядно показать графически целостную картину динамики скорости движения бойка на ударной горке в сравнении с движением очень хорошего бегуна на сортировочной (рисунок 6).

Для предлагаемого профиля ударной горки достигаемая скорость бойка, начинающего движение с высоты 1,95 м, в точке удара, отстоящей от начального положения на 110 м, составляет 5,6 м/с (20,2 км/ч). Таким образом, данный профиль обеспечивает требуемую скорость соударения с плавным нарастанием кинетической энергии вагона в процессе скатывания вагона с горки.

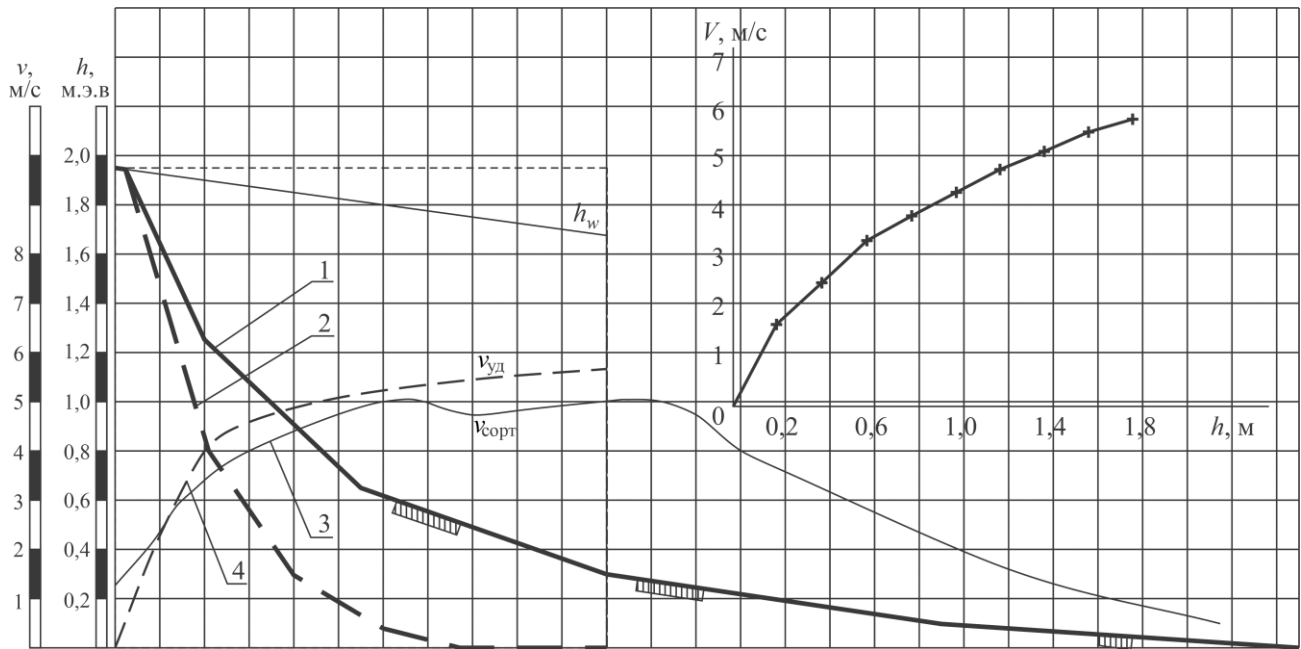


Рисунок 6 – Кривые скорости движения очень хорошего бегуна с торможением $v_{сорт}$ (3) на сортировочной горке (1) и вагона-бойка (4) на ударной горке $v_{уд}$ (2)

Ограждение опасного участка. Наибольшую опасность для причастных работников, которые должны находиться в зоне ударных испытаний, представляет близлежащая территория по обе стороны от горочного пути, начиная от горба горки и до точки удара. Поэтому ее следует оградить сеткой-рабицей, что одновременно обеспечивает прозрачность для визуального наблюдения процесса ударных испытаний и достаточную гарантию безопасности. Однако, как показывает практика работы испытательных центров, полное ограждение горочного пути нецелесообразно, так как требуется проведение профилактических и ремонтных работ с нахождением людей и техники не только на самом горочном пути, но и по низу его откосов. Кроме того, испытываемый вагон может располагаться в нескольких местах, от которых требуется обеспечить вывод проводов от многочисленных тензодатчиков, что также ограничивает участок ограждения.

Таким образом, возможная схема ограждения горочного пути связывается с установкой двух рядов столбов с сеткой по обе стороны, начиная с горба горки до некоторой предельной точки, называемой границей ограждения (рисунок 7).

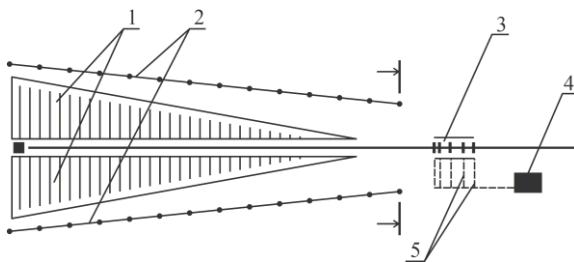


Рисунок 7 – Схема ограждения горочного пути:
1 – откосы горки; 2 – нитки ограждения;
3 – возможные точки удара; 4 – регистрирующий центр;
5 – проводная связь от датчиков

Граница ограждения находится на расстоянии 3–5 м от ближайшей точки удара бойка и испытываемого вагона, что позволяет в любой момент при необходимости пройти автомобильной технике в зону ограждения для производства необходимых работ даже при развернутом регистрирующем комплексе. Максимальное удаление ограждения от оси горочного пути находится у горба горки. Низ откоса горки при уклоне 1:1,5 и высоте горки 2 м находится на расстоянии 3 м от оси пути. Ограждение в этом месте находится на расстоянии 4,5 м от оси пути. На границе ограждения расстояние до оси пути сокращается до 3 м. Вторая нитка ограждения устанавливается аналогично по другую сторону от оси пути.

Наиболее опасным местом является неогражденный участок от границы ограждения до ближайшей точки удара. В этом месте с обеих сторон горочного пути должны стоять указатели, запрещающие проход людей в опасную зону, а при проведении ударных испытаний в темное время суток – обязательная подсветка этих указателей, либо светозвуковая сигнализация, включаемая автоматически при наступлении сумерек.

Сооружение защитного навеса над горбом ударной горки. При проведении ударных испытаний оператору, управляющему лебедкой, требуется периодически осуществлять размыкание муфты, фиксирующей натяжение каната, связывающего лебедку и вагон-боек. Можно автоматизировать работу данного комплекса и управлять с удаленного поста (например, с регистрирующего центра 4 – см. рисунок 7). Однако лучший обзор возникающей оперативной ситуации обеспечивается именно на горбе горки, а следовательно, оперативные управляющие воздействия может выполнить ответственный работник, который находится в непосредственной близости от зоны испытаний. Поэтому важно обеспечить гарантированную безопасность оператора, стоящего на горке, а также защитить его от возможных негативных погодных условий.

Потенциальную опасность представляет канат, который при определенных условиях может сорваться при накате бойка вверх по горке. Кроме того, замечена следующая особенность работы лебедки. Включение электродвигателя приводит в действие барабан, который выбирает канат и начинает тянуть боек, движущийся некоторое расстояние с ускорением. В это время канат провисает, опускается до шпал и даже может выкладываться под бойком, опасно касаясь одного или обоих рельсов. Дальнейшее движение бойка может привести к наезду колеса на канат. Результатом такого наезда может быть разрыв каната или сход вагона-бойка с пути. Данная ситуация весьма опасна, так как при следующем натяжении каната лебедкой может произойти резкий его рывок, и разорванный кусок каната буквально «выстрелит» назад в район горба горки. Ниже будет представлен вариант технического решения проблемы наезда колеса вагона-бойка на канат. Можно лишь отметить, что подобная угроза еще раз подчеркивает остроту проблемы открытой горки и настоятельно требует ее решения. С этой целью сооружается навес над горбом горки. Он ограждает оператора и технический комплекс от опасного и вредного влияния многих факторов и служит гарантией безопасности работы людей и надежности работы устройств.

Исключение наезда бойка на канат при его провисании в процессе наката вагона на горку. Исключить наезд вагона-бойка на трос и уменьшить динами-

ческие рывки при трогании с места можно с помощью следующих решений:

1 Оборудование лебедки подпружиненным роликом-натяжителем, который будет подбирать канат в момент провисания и укладывать равномерно трос на барабан.

2 Обеспечение лебедки частотным приводом, обеспечивающим плавное регулирование частоты вращения ротора двигателя. Данная система состоит из полупроводниковых силовых элементов и микропроцессорного блока управления. За счет плавного регулирования частота вращения электродвигателя и барабана редуктора будет постепенно увеличиваться, что сведет к минимуму динамические рывки при трогании вагона-бойка и уменьшит движение вагона по инерции, являющееся причиной провисания каната.

3 Снабжение лебедки тихоходным редуктором. Однако такое решение приведет к уменьшению скорости вращения барабана лебедки и увеличению продолжительности времени проведения ударных испытаний. Для ресурсных испытаний на горке использование тихоходного редуктора может оказаться нецелесообразным по причине их большой длительности.

Список литературы

- 1 **Луговцов, М. Н.** Проектирование сортировочных горок / М. Н. Луговцов, В. Я. Негрей. – Гомель: БелГУТ, 2005. – 170 с.

Получено 15.11.2011

V. I. Senko, A. K. Golovnich, S. V. Makeev. Features of designing and operation of the stand shock tests.

The comparative analysis of designs shock and sorting devices, the features of their designing and operation are considered. The special attention is given to specificity of work the stand and safe operation, provided with the appropriate technical and technological measures.