*УДК 656.212*

***Владимир Бобровский***
***Дмитрий Козаченко***

# МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА СКАТЫВАНИЯ ОТЦЕПОВ С СОРТИРОВОЧНОЙ ГОРКИ

***Представлена усовершенствованная модель процесса скатывания отцепа с сортировочной горки. Усовершенствованный метод моделирования работы тормозных замедлителей и использование метода Рунге-Кутта для решения уравнения движения позволяет повысить точность моделирования и скорость выполнения имитационных экспериментов.***

В современных условиях функционирования железнодорожного транспорта Украины в связи с концентрацией переработки вагонопотоков на крупных сортировочных станциях возрастает актуальность проблемы автоматизации сортировочных горок. Создание современной автоматизированной системы управления расформированием составов позволит увеличить производительность горок, повысить качество сортировочного процесса, сократить расход энергоресурсов.

В настоящее время ведутся работы по созданию автоматизированных систем управления сортировочным процессом, одной из основных задач которых является регулирование скорости скатывания отцепов с горки. При этом серьезной проблемой является разработка методов управления замедлителями тормозных позиций, обеспечивающих наилучшие условия разделения отцепов на стрелках, а также безопасную скорость соударения вагонов на сортировочных путях.

Учитывая, что проведение массовых экспериментов на реальных сортировочных горках затруднено, то основным методом исследования горочных процессов является имитационное моделирование на ЭВМ. При этом главным элементом имитационных моделей процесса расформирования составов является модель скатывания отдельных отцепов с горки, которая позволяет определить скорость и время их скатывания на основе решения уравнений их движения.

Имитационная модель скатывания отцепа на основе приближенного решения дифференциального уравнения приведена в [1]. В данной работе использованы осевая модель отцепа и модель сортировочной горки, содержащая данные о ее приведенном профиле.

В дальнейшем модель скатывания отцепа была усовершенствована [2] путем изменения методики расчета сопротивления движению отцепов от кривых и стрелок а также воздушной среды и ветра в соответствии с уточненными нормами.

***© Бобровский В.И, Козаченко Д.Н., 2010***

Достаточно точное аналитическое решение дифференциального уравнения свободного скатывания отцепа с горки приведено в [3]. Однако использование предложенной методики для моделирования движения отцепа на спускной части горки затруднительно, так как в ней существуют определенные ограничения в изменении влияющих факторов.

Сравнительный анализ аналитических и численных методов решения дифференциального уравнения движения отцепов выполнен в [4]. Недостатком аналитических методов решения дифференциального уравнения движения отцепов является значительная сложность получаемых выражений, что существенно увеличивает время моделирования на ЭВМ, особенно при малых шагах интегрирования, необходимых для обеспечения требуемой точности расчетов. Использование численных методов затруднено при кусочно-линейной аппроксимации продольного профиля горки, поскольку при этом функция $i(s)$ не дифференцируема. В результате анализа был сделан вывод о целесообразности использования численных методов, реализация которых возможна при аппроксимация профиля горки с помощью кубических сплайнов [5]. На этой основе в [4] разработана методика решения дифференциального уравнения скатывания отцепов с использованием метода Рунге-Кутта четвертого порядка. При этом показано, что при моделировании скатывания отдельных отцепов целесообразно использовать уравнения движения отцепов, в которых независимой переменной является путь $s$.

Одним из основных элементов управляемого скатывания отцепов с горки является их торможение замедлителями. В рассмотренных имитационных моделях регулирование скорости скатывания отцепов осуществляется путем задания необходимой погашаемой энергетической высоты, а их торможение осуществляется равномерно во всей зоне действия замедлителей тормозной позиции. Такие модели достаточно эффективны для оценки высоты и профиля проектируемых сортировочных горок, а также для получения необходимых технико-эксплуатационных показателей. В то же время при исследованиях сортировочного процесса на автоматизированных горках необходимо учитывать реальные условия торможения отцепов, которое осуществляется номинальной мощностью замедлителей в ограниченной зоне, определяемой моментами их включения и выключения.

Таким образом, на основе выполненного анализа научных работ в данной статье поставлены задачи создания современной имитационной модели скатывания отцепов, предназначенной для теоретических исследований сортировочного процесса на горках, и ее реализации в виде соответствующего программного продукта. При этом предусматривается моделирование скатывания отцепа как при равномерном торможении на всей позиции, так и при сосредоточенном торможении на определенной ее части полной мощностью замедлителей, соответствующей заданной ступени торможения. Кроме того, разработанный программный продукт должен обеспечивать возможность ввода и редактирования входных моделей сортировочной горки и отцепов, а также автоматизированного решения широкого круга задач исследования и оценки эффективности мероприятий, направленных на повышение качества интервального и прицельного регулирования скорости отцепов, сокращение затрат энергоресурсов при роспуске составов на горках. Работы по созданию имитационной модели, позволяющей исследовать скатывание одиночных отцепов в различных условиях, выполнены в ДИИТе.

В целом имитационная модель включает модель маршрута скатывания, вагонно-осевую модель отцепа, а также данные об условиях скатывания, в которых содер-

жится информация, необходимая для адекватного моделирования процесса скатывания отцепа с горки. Базовой является модель перемещения отцепа по маршруту, которая обеспечивает переход между текущими состояниями процесса скатывания.

Входная модель пути скатывания отцепа с горки представляется списком структур:

$$\mathbf{P}_u = \{l_u, w_u, \theta_u, i_u \mid R_{вu}\},\ u = 1, \ldots, M, \qquad (1)$$

где $l_u$ – длина элемента, м; $w_u$– параметр, характеризующий сопротивление движению от стрелок и кривых; $\theta_u$ – тип; $i_u$ – уклон, ‰; $R_{вu}$ – радиус вертикальной кривой, м; $M$ – число элементов пути.

Весь маршрут скатывания отцепа разделяется на последовательные элементы таким образом, чтобы их границами были характерные точки плана горочной горловины. К таким точкам отнесены начало и конец рельсовых цепей разделительных стрелок и замедлителей, начало и конец рабочих длин замедлителей, начало и конец элементов, обладающих дополнительным сопротивлением движению (стрелочные переводы, глухие пересечения, кривые), начало и конец сортировочного пути, вершина горки, а также точки перелома профиля. При этом указанные точки, в зависимости от их типа, могут располагаться в начале элемента, в конце или на обеих его границах.

Параметр $w_u$ позволяет идентифицировать тип элемента, обладающего дополнительным сопротивлением движению (стрелочные переводы, глухие пересечения, кривые), и определять его текущее значение в процессе моделирования скатывания отцепа; при этом если элемент не обладает дополнительным сопротивлением, то $w_u$ =0. Значение $w_u$ >0 идентифицируется в соответствии со следующими правилами:

$w_u = 1$ – глухое пересечение,

$1 < w_u < 10$ – марка крестовины стрелочного перевода,

$w_u > 100$ – радиус кривой,

$w_u = 77$ – признак конца маршрута.

Во входной модели для параметров $w_u$, соответствующих стрелочным переводам и кривым, могут устанавливаться как положительные, так и отрицательные значения, что используется для указания направления отклонения маршрута скатывания в плане при его изображении на экране дисплея. При этом во внутренней модели используются абсолютные значение величины $w_u$.

Тип элемента $\theta_u$ представляется в символьном виде ($\theta_u$ = TH – в начале $u$-го элемента находится фактическая вершина горки; $\theta_u$ = ES$n$ – начало $u$-го элемента является началом рельсовой цепи $n$-й разделительной стрелки; GS$n$ – конец $u$-го элемента является концом рельсовой цепи $n$-й разделительной стрелки; $\theta_u$ = ER$n$ – начало $u$-го элемента является началом рельсовой цепи $n$-го замедлителя (тормозной позиции); GR$n$ – конец $u$-го элемента является концом $n$-го замедлителя (тормозной позиции); $\theta_u$ = NR$n$ (WR$n$, RR$n$) – $u$-й элемент является $n$-м замедлителем (тормозной позицией) нажимного (весового, рычажно-нажимного) типа. Нумерация стрелок и замедлителей осуществляется раздельно последовательными номерами $n$ = 1, 2,…, начиная от вершины горки.

Следует заметить, что каждый замедлитель на горке можно рассматривать и как часть единой тормозной позиции, и как отдельную тормозную позицию. В первом случае всем замедлителям тормозной позиции присваивают один номер $n$ и располагают их на единой рельсовой цепи с тем же номером; при этом режим торможения задают в целом для тормозной позиции и реализуется он совместно всеми замедлителями.

Во втором случае каждый замедлитель имеет уникальный номер $n$, совпадающий с номером рельсовой цепи, на которой он расположен; режим торможения при этом задают отдельно для каждого из них.

Режим торможения отцепа непосредственно с моделью горки не связан и вводится либо перед началом, либо в процессе моделирования скатывания.

Четвертым параметром структуры (1) является уклон элемента профиля $i_u$ или радиус вертикальной кривой $R_{вu}$. Если $u$-я структура содержит значение уклона $i_u$, то это означает, что $u$-й и все последующие элементы до очередной точки перелома расположены на уклоне $i_u$; при этом данная точка перелома совпадает с началом $u$-го элемента. Кроме того, четвертый параметр следующей ($u$ + 1)-й структуры должен содержать радиус вертикальной кривой $R_{вu}$ в данной точке перелома. Указанные данные о профиле горки используются для его аппроксимации кубическим сплайном и представления во внутренней модели горки.

Входная модель отцепа представляется списком структур, содержащих данные о вагонах отцепа

$$\mathbf{B}_i = \{\gamma_i, \nu_{вi}, \rho_i, Q_{вi}, w_{oi}\},\ i = 1, ..., m_{отц},$$

где $\gamma_i$ – тип $i$ – го вагона, $\nu_{вi}$ – число осей, $\rho_i$ – тип подшипников, $Q_{вi}$ – вес, $w_{oi}$ – основное удельное сопротивление, $m_{отц}$ – число вагонов в отцепе.

На основе данных входной модели программными средствами строится внутренняя вагонно-осевая модель, непосредственно используемая для имитационного моделирования скатывания отцепа с горки.

Условия скатывания отцепа задаются списком параметров:

$$\mathbf{Y}=\{V_o, S_{прц}, V_{вет}, \beta, t°, \Delta s, W\},$$

где $V_o$ – скорость роспуска состава, $S_{прц}$ - координата точки прицеливания, $V_{вет}$ – скорость ветра, $\beta$ – направление ветра, $t°$ – температура окружающей среды, $\Delta s$ – шаг моделирования, $W$ – номер пути скатывания.

Процесс перемещения отцепа моделируется с помощью дифференциального уравнения первого порядка $v' = f(s, v)$, в котором независимой переменной является путь [4]:

$$v' = \frac{g'(i - w_0 - w_{ск} - w_{св} - w_т)\cdot 10^{-3}}{v}, \quad v > 0 \tag{2}$$

Для решения данного уравнения используется метод Рунге-Кутта четвертого порядка [6] с постоянным шагом $\Delta s$, при котором для нахождения значений скорости используются расчетные формулы:

$$\begin{aligned} &v_{j+1} = v_j + (k_1 + 2k_2 + 2k_3 + k_4)/6 + O(\Delta s^5),\\ &k_1 = \Delta s \cdot f(s_j, v_j),\\ &k_2 = \Delta s \cdot f(s_j + \Delta s/2, v_j + k_1/2),\\ &k_3 = \Delta s \cdot f(s_j + \Delta s/2, v_j + k_2/2),\\ &k_4 = \Delta s \cdot f(s_j + \Delta s, v_j + k_3), \end{aligned} \tag{3}$$

где $s_j$, $v_j$ – соответственно, координата первой оси и скорость отцепа в конце $j$-го шага.

При этом в данных выражениях $f(s_j, v_j) = v'_j$ (2). Данный метод обеспечивает четвертый порядок точности $O(\Delta s^5)$.

Величина $\Delta s$ на отдельных шагах интегрирования может корректироваться, чтобы обеспечить непрерывность всех сил, действующих на отцеп в пределах шага.

Как показали исследования [4], данный метод является наиболее рациональным

для моделирования скатывания отцепов, поскольку он обеспечивает необходимую точность при достаточно большом шаге $\Delta s$ = 1-2 м.

Для расчета сил, действующих на отцеп в процессе скатывания, используется вагонно-осевая модель отцепа [7]; как показали экспериментальные исследования [2], данная модель обеспечивает достаточно высокую точность расчетов. При этом уклон $i$, по которому движется каждая ось отцепа, рассматривается как непрерывная переменная величина, что особенно необходимо для правильного определения положения отцепа в момент отрыва от состава. Для реализации данного подхода используется представление продольного профиля горки модифицированным кубическим сплайном. При этом мгновенное значение уклона $i(s)$, по которому движется центр тяжести отцепа, когда его первая ось находится в точке $s$, определяется как

$$i(s) = \frac{1}{Q_{\text{отц}}} \sum_{i=1}^{m_{\text{отц}}} q_i \sum_{r=1}^{\nu_{\text{в}i}} i(s_{ir}),$$

где $Q_{\text{отц}}$ - вес отцепа;

$q_i$ - нагрузка на ось $i$-го вагона в отцепе $(q_i = Q_{\text{в}i} / \nu_{\text{в}i})$;

$s_{ir}$ - координата точки, в которой находится $r$-я ось $i$-го вагона;

$i(s_{ir})$ - значение уклона, на котором находится $r$-я ось $i$-го вагона.

Уклон $i(s_{ir})$ представляет собой первую производную отметки профиля горки $h_l(s_{ir})$, представленной кубическим сплайном [5]:

$$i(s_{ir}) = C_{2l} + 2C_{3l}(s_{ir}-s_l) + 3C_{4l}(s_{ir}-s_l)^2,$$

где $C_{2l}$, $C_{3l}$, $C_{4l}$ - коэффициенты сплайна;

$s_l$ - узел сплайна ($s_l < s_{ir} < s_{l+1}$).

В уравнении (2) сопротивление от стрелок и кривых $w_{\text{ск}}$ определяется как функция мгновенной скорости отцепа [8]:

$$w_{\text{ск}}(v) = K_{\text{ск}} v^2, \tag{4}$$

где $K_{\text{ск}}$-средневзвешенный коэффициент сопротивления стрелок и кривых.

Значение $K_{\text{ск}}$ определяется на каждом шаге $\Delta s$ как

$$K_{\text{ск}} = \sum_{i=1}^{m_{\text{отц}}} q_i \sum_{r=1}^{\nu_{\text{в}i}} k_{\text{ск}ir}$$

При этом значение $k_{\text{ск}ir}$ для отдельной оси отцепа зависит от ее текущего положения $s_{ir}$ на пути скатывания и определяется с помощью выражения [8]:

$$k_{\text{ск}ir} = \frac{0{,}56\tau_u + 0{,}23\varphi_u}{l_{\text{ск}u}}, \quad s_{ir} \in [s_{\text{ск}\,u}, s_{\text{ск}\,u}+l_{\text{ск}\,u}],$$

$$k_{\text{ск}ir} = 0, \qquad s_{ir} \notin [s_{\text{ск}\,u}, s_{\text{ск}\,u}+l_{\text{ск}\,u}].$$

Здесь $\tau_u$ - тип $u$-го элемента ($\tau_u$ = 0 – кривая; $\tau_u$ =1 – стрелка);

$\varphi_u$ - угол поворота кривой $u$-го элемента, град;

$s_{\text{ск}\,u}$, $l_{\text{ск}\,u}$ - соответственно, координата начала и длина $u$-го элемента, м.

Для расчета $K_{\text{ск}}$ в модели горки содержится информация о параметрах и размещении стрелок и кривых на путях скатывания.

Удельная сила сопротивления воздушной среды и ветра определяется в соответствии с [9] как функция мгновенной скорости отцепа:

$$w_{\text{св}}(v) = K_{\text{св}} v_{\text{от}}^2, \tag{5}$$

где относительная скорость отцепа и ветра $v_{от}$ равна

$$v_{от}^2 = (v^2 + v_{вет}^2 \pm 2vv_{вет}\cos\beta)\,\mathrm{sign}(v \pm v_{вет}\cos\beta)$$

Коэффициент сопротивления от воздушной среды и ветра для отцепа из $m_{отц}$ вагонов определяется как

$$K_{св} = \frac{17{,}8}{Q_{отц}(273 + t^{o})}(C_xF_1 + \sum_{i=2}^{m_{отц}} C_{xx_i}F_i) \qquad (6)$$

Коэффициенты $C_x$ и $C_{xx}$ зависят от угла между результирующим вектором относительной скорости $v_{от}$ и направлением скатывания отцепа [9]:

$$C = C_0 e^{\alpha(C_1 - \alpha C_2)} \qquad (7)$$

Здесь $C_0$, $C_1$, $C_2$ - постоянные коэффициенты, зависящие от типа вагона и от места его расположения в отцепе.

Угол α, в свою очередь, зависит от скорости движения вагона $v$:

$$\alpha = \arcsin\frac{|\,v_{вет}\sin\beta\,|}{v_{от}} \qquad (8)$$

Для определения удельных сил сопротивления от воздушной среды и ветра $w_{св}$ в модели отцепа содержатся данные о весе и типе каждого вагона, а в таблицах нормативно-справочной информации хранятся данные для определения значения коэффициентов воздушного сопротивления $C_x$, $C_{xx}$ на каждом шаге $\Delta s$.

Для моделирования торможения отцепов на тормозных позициях в модели определяется удельное тормозное сопротивление $w_т$, которое рассматривается как сумма удельных тормозных сил замедлителей разного типа, которые могут одновременно действовать на длинный отцеп:

$$w_т = w_{тн} + w_{тв} + w_{тр},$$

где $w_{тн}$, $w_{тв}$, $w_{тр}$- удельные тормозные сопротивления соответственно нажимных, весовых, и рычажно-нажимных замедлителей (РНЗ).

При этом величина $w_{тн}$ для замедлителей нажимного типа определяется как:

$$w_{тн} = \frac{1}{\nu}\sum_{i=1}^{\nu} w_{тнi},$$

где $w_{тнi}$- удельная тормозная сила замедлителя нажимного типа, действующая на $i$-ю ось отцепа;

ν- число осей в отцепе;

Удельная тормозная сила, действующая на очередном шаге перемещения $\Delta s$ на $i$-ю ось отцепа, которая в начале $j$-го шага имеет координату $s_j$, определяется как

$$w_{тi} = \frac{H_т}{l_з}10^3,\ s_j \in [s_з, s_з + l_з], \qquad (9)$$

$$w_{тi} = 0,\ s_j \notin [s_з, s_з + l_з],$$

где $H_т$, $s_з$, $l_з$ - соответственно, тормозная мощность, координата начала и рабочая длина замедлителя, м.

Для балочных двухрельсовых замедлителей нажимного типа тормозная мощность, реализуемая при торможении вагона весом $Q$, может быть определена как [10]:

$$H_т = \frac{Q_{max}H_{ном}}{Q}\cdot\frac{p_\mu - p_0}{p_{max} - p_0}, \qquad (10)$$

где $H_{ном}$,- номинальная мощность замедлителя при торможении полногрузных вагонов весом $Q_{max}$, м эн. в.;

$p_{\mu}$ - среднее давление рабочего тела в тормозных цилиндрах при ступени торможения $\mu$;

$p_{max}$ - максимальное давление в тормозных цилиндрах;

$p_0$ - часть общего давления, которая расходуется на перемещение массы тормозной системы.

Для замедлителей весового типа величина $w_{тв}$ определяется с учетом нагрузки $q_k$ на тормозимую ось отцепа:

$$w_{тв} = \frac{1}{Q_{отц}} \sum_{i=1}^{m_{отц}} q_i \sum_{r=1}^{\nu_{вi}} w_{твi} .$$

Величина $w_{твi}$ определяется для осей отцепа, движущихся на очередном шаге перемещения $\Delta s$ в пределах замедлителей весового типа, аналогично (9). При этом значение тормозной мощности весового замедлителя $H_т$ выбирается в зависимости от числа осей $\nu_в$ тормозимого вагона.

Для замедлителей РНЗ, тормозная характеристика которых постоянна и не зависит от числа тормозимых осей, величина удельной тормозной силы определяется как:

$$w_{тр} = \sum_{k=1}^{z} w_{трk},$$

где $w_{трk}$ - удельная тормозная сила $k$-го замедлителя данного типа;

$z$ - число замедлителей РНЗ на пути скатывания отцепа;

Удельная тормозная сила $w_{трk}$, действующая на отцеп на очередном шаге перемещения $\Delta s$ в случае, если хотя бы одна его ось находится на замедлителе определяется как

$$w_{трk} = \frac{H_т}{l_{тп}} 10^3, \ \exists s_i \in [s_{трk}, s_{трk}+l_{трk}], \ i=1,\ldots\nu, \qquad (11)$$

$$w_{трk}=0, \ \forall s_i \notin [s_{трk}, s_{трk}+l_{трk}], \ i=1,\ldots\nu,$$

где $H_т$ - тормозная мощность $k$-го замедлителя, м. эн. в;

$l_{тп}$ – общая длина тормозного пути при полном проследовании всех осей отцепа через замедлитель, м.

Для замедлителей РНЗ, являющихся нажимными, тормозная мощность $H_т$ зависит от веса вагона и давления в тормозных цилиндрах и поэтому ее величину для конкретного отцепа можно определить с помощью (10).

Разработанная модель реализована в виде программы «Скатывание одиночного отцепа» (свидетельство о регистрации авторских прав на произведение №30170, от 08.09.2009), главное окно которой приведено на рис. 1.

Режим торможения отцепа устанавливается в соответствующем диалоговом окне, которое представлено на рис. 2.

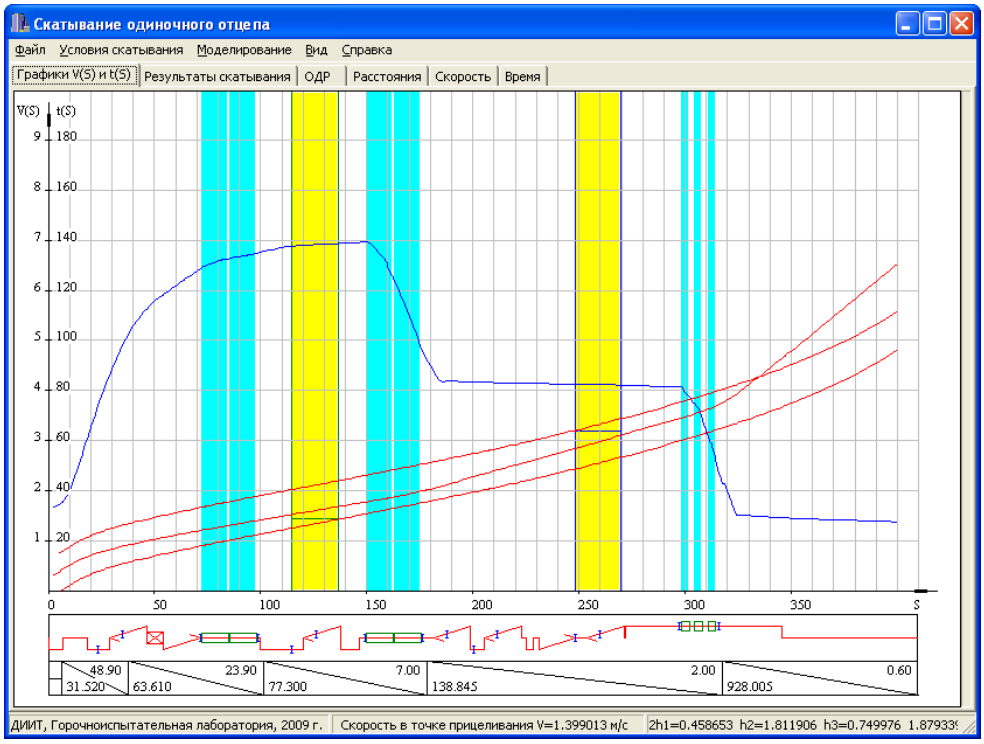



*Рис. 1.* **Главное окно программы**

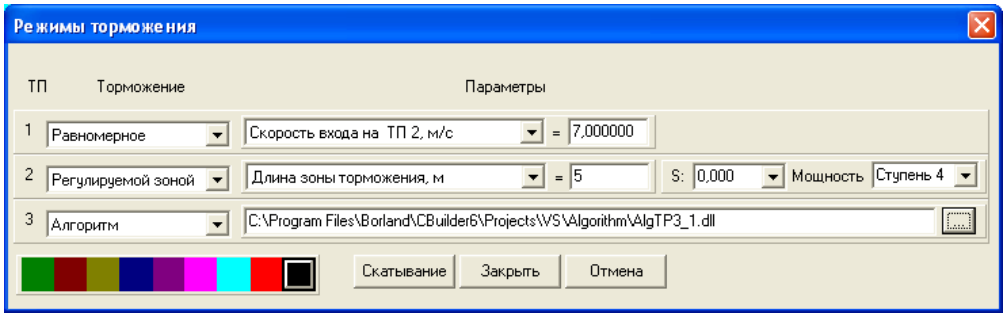
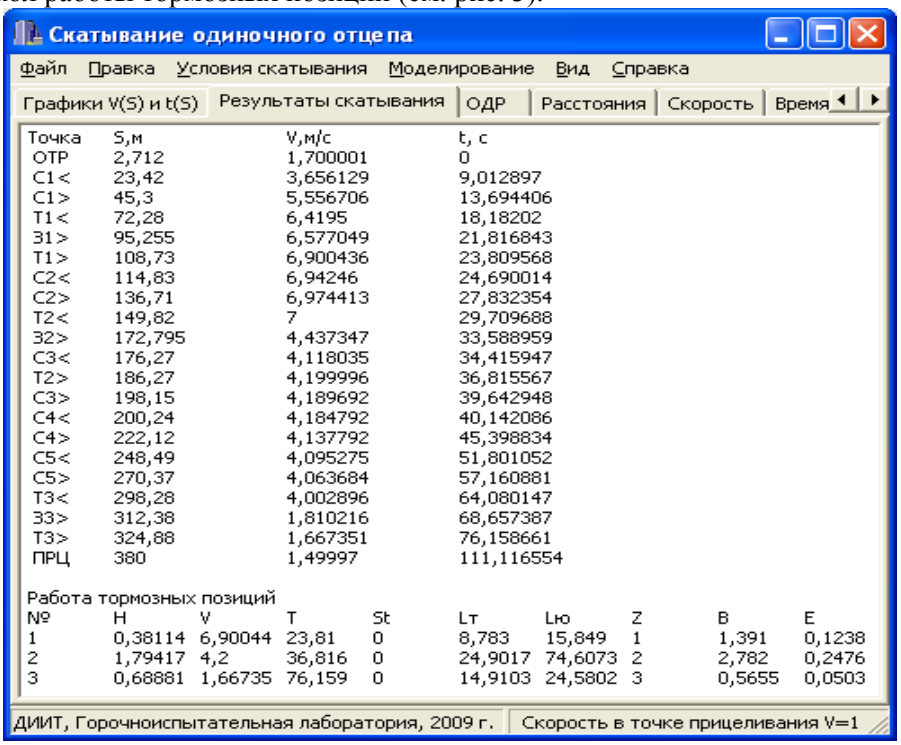



*Рис. 2.* **Диалоговое окно выбора режима торможения отцепа**

При этом программа предоставляет возможность выбора различных способов моделирования торможения: равномерное торможение во всей зоне действия тормозной позиции или торможение полной мощностью замедлителя на некоторой ступени в пределах регулируемой зоны торможения. Кроме того, возможны различные способы выбора режима торможения: по величине погашаемой энергетической высоты, по скорости выхода из тормозной позиции, по скорости в точке прицеливания, по величине интервала времени на разделительных элементах со смежными отцепами и др. Реализована также возможность использования при выборе режимов торможения пользовательских алгоритмов, скомпилированных в виде ди-

намических библиотек, что позволяет имитировать работу различных автоматизированных систем управления скоростью скатывания отцепов.

Результатами моделирования является протокол скатывания отцепа, а также протокол работы тормозных позиций (см. рис. 3).




| Точка | S,м | V,м/с | t, с |
|---|---|---|---|
| ОТР | 2,712 | 1,700001 | 0 |
| C1< | 23,42 | 3,656129 | 9,012897 |
| C1> | 45,3 | 5,556706 | 13,694406 |
| T1< | 72,28 | 6,4195 | 18,18202 |
| 31> | 95,255 | 6,577049 | 21,816843 |
| T1> | 108,73 | 6,900436 | 23,809568 |
| C2< | 114,83 | 6,94246 | 24,690014 |
| C2> | 136,71 | 6,974413 | 27,832354 |
| T2< | 149,82 | 7 | 29,709688 |
| 32> | 172,795 | 4,437347 | 33,588959 |
| C3< | 176,27 | 4,118035 | 34,415947 |
| T2> | 186,27 | 4,199996 | 36,815567 |
| C3> | 198,15 | 4,189692 | 39,642948 |
| C4< | 200,24 | 4,184792 | 40,142086 |
| C4> | 222,12 | 4,137792 | 45,398834 |
| C5< | 248,49 | 4,095275 | 51,801052 |
| C5> | 270,37 | 4,063684 | 57,160881 |
| T3< | 298,28 | 4,002896 | 64,080147 |
| 33> | 312,38 | 1,810216 | 68,657387 |
| T3> | 324,88 | 1,667351 | 76,158661 |
| ПРЦ | 380 | 1,49997 | 111,116554 |

Работа тормозных позиций

| № | H | V | T | St | Lт | Lю | Z | B | E |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 0,38114 | 6,90044 | 23,81 | 0 | 8,783 | 15,849 | 1 | 1,391 | 0,1238 |
| 2 | 1,79417 | 4,2 | 36,816 | 0 | 24,9017 | 74,6073 | 2 | 2,782 | 0,2476 |
| 3 | 0,68881 | 1,66735 | 76,159 | 0 | 14,9103 | 24,5802 | 3 | 0,5655 | 0,0503 |

*Рис. 3.* **Результаты моделирования скатывания отцепа с горки**

В целом, представленная модель сортировочной горки обеспечивает существенное сокращение продолжительности моделирования скатывания, а разработанный на ее основании программный продукт представляет собой достаточно мощный инструмент, позволяющий оценивать работоспособность сортировочных горок, получать технико-эксплуатационные характеристики их плана и профиля, а также исследовать возможные алгоритмы управления тормозными позициями.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Муха Ю.А., Бобровский В.И. Алгоритмы и библиотека программ для моделирования на ЭВМ «Наири - К» сортировочного процесса на горках // Механизация и автоматизация сортировочного процесса на станциях: Труды ДИИТа. - Вып. 194/11. - Днепропетровск, 1977. - с. 53 - 102.

2. Муха Ю. А., Муратов А. А. Имитационное моделирование процесса скатывания отцепов при выполнении горочных расчетов // Механизация и автоматизация сортировочного процесса на станциях: Межвуз. сб. научн. тр. - Днепропетровск: ДИИТ, 1990. - с. 11 - 20.

3. Жуковицкий И.В. Решение дифференциального уравнения свободного скаты-

вания отцепа с горки // Информационно - управляющие системы на железнодорожном транспорте. - 1997. - №4. - с. 14 - 17.

4. Бобровский В.И. Дифференциальные уравнения движения отцепа и методы их решения.//Информационно-управляющие системы на железнодорожном транспорте.-1996.-№6.-с.34-39.

5. Бобровский В.И. Представление продольного профиля сортировочных горок в АСУ расформированием составов // Информационно - управляющие системы на железнодорожном транспорте. - 1996. - №1,2. - с. 19 - 25.

6. Справочник по специальным функциям. - М.: Наука, 1979. - 832 с.

7. Бобровский В. И. Теоретические основы совершенствования конструкции и технологии работы железнодорожных станций: Дис... докт. техн. наук: 05.22.20. - Днепропетровск, 2002. - 392 с.

8. Правила и нормы проектирования сортировочных устройств на железных дорогах Союза ССР. ВСН 207 - 89. - М.: Транспорт, 1992. - 104 с.

9. Сопротивление движению грузовых вагонов при скатывании с горок. - Труды ВНИИЖТа. - Вып. 545. - М.:Транспорт,1975. - 151 с.

10. Розробка методики оптимізації режимів гальмування відчепів на сортувальних гірках. Отчет по НИР. № гос. рег. 0105U001801. ДИИТ. Днепропетровск, 2005.