

Министерство транспорта и коммуникаций
Республики Беларусь

Белорусский государственный университет транспорта

**XI Международная научно-практическая конференция
«ПРОБЛЕМЫ БЕЗОПАСНОСТИ
НА ТРАНСПОРТЕ»**

Секция 1 «Безопасность транспортных систем»

**МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ И ВИЗУАЛИЗАЦИЯ
ПРОЦЕССА ИНТЕРВАЛЬНОГО СКАТЫВАНИЯ
ОБЪЕКТОВ С РАЗНОУПРУГОЙ ПОВЕРХНОСТИ ИМИТАЦИИ
СОРТИРОВОЧНОЙ ГОРКИ**

Презентация доклада А. К. Головнича, С. П. Новикова

Гомель, 2021

МОДЕЛЬНОЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЕ СОРТИРОВОЧНОЙ ГОРКИ КАК ОБЪЕКТА РЕКОНСТРУКЦИИ ПРОЦЕССА РОСПУСКА ВАГОНОВ

Реальный (натурный) образ



Идеальный (модельный) образ



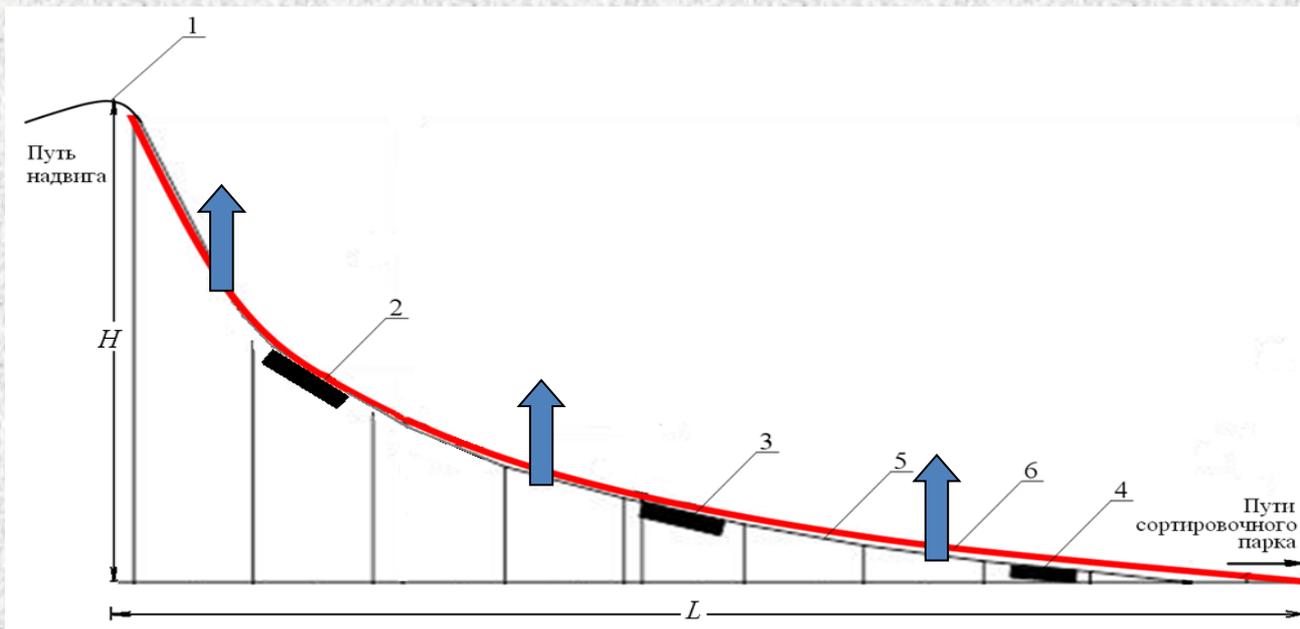
Схематичное визуальное представление



Трехмерная информационно-физическая
реконструкция

МОДЕЛЬНОЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЕ СОРТИРОВОЧНОЙ ГОРКИ КАК ОБЪЕКТА РЕКОНСТРУКЦИИ ПРОЦЕССА РОСПУСКА ВАГОНОВ

Горка как объект, воспринимающий внешнюю нагрузку
(рецептивный объект моделирования)



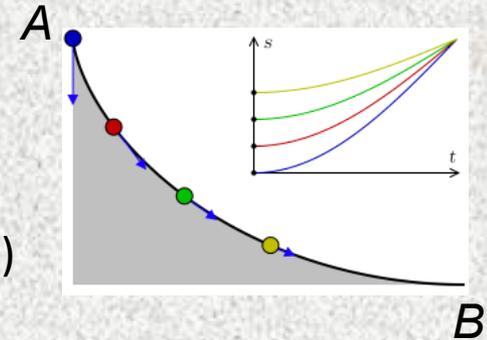
Продольный профиль спускной части сортировочной горки:

1 – горб горки; 2-4 – тормозные позиции замедлителей;

5 – реальный профиль скатывания вагонов; 6 – теоретическая кривая скатывания

МАТЕМАТИЧЕСКИЕ УРАВНЕНИЯ КРИВЫХ СКАТЫВАНИЯ ТЕЛ С ИМИТИРУЮЩЕЙ СОРТИРОВОЧНУЮ ГОРКУ ПОВЕРХНОСТИ

Кривая наискорейшего спуска: среди плоских кривых, соединяющих точки A и B , найти такую кривую, двигаясь по которой точка с массой под действием силы тяжести, достигнет B за кратчайшее время (задача Иоганна Бернулли)



$$\left(\frac{dy}{dx}\right)^2 = \frac{2r-y}{y}$$

Кривая 4-го порядка (брахистохрона, таутохрона, циклоида)

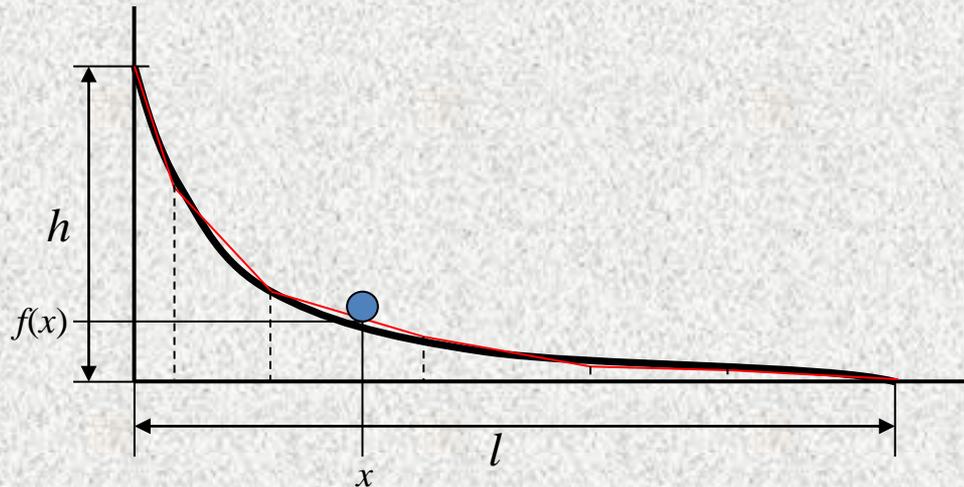
Уравнение в декартовых координатах

$$x = r \arccos \frac{r-y}{r} - \sqrt{2ry - y^2}$$

Параметрические уравнения кривой

$$\begin{aligned} x &= rt - r \sin t \\ y &= r - r \cos t \end{aligned}$$

АППРОКСИМАЦИЯ ЦИКЛОИДЫ КРИВЫМИ НИЗКИХ ПОРЯДКОВ



Исходные данные для аппроксимации:

$V_{\text{над}} = 1,7 \text{ м/с}$, $V_{\text{max}} = 8 \text{ м/с}$,
 $m = 22\text{--}80 \text{ т}$, $h = 1,5\text{--}4,0 \text{ м}$,
 $l = 280\text{--}400 \text{ м}$, $I_{\text{отц}} = 6 \text{ с}$,
 рекомендуемые участки (i, l)
 для горок различной мощности

- параболическая

$$f(x) = \frac{h}{2} + \frac{pl}{2h} - \sqrt{px + \left(\frac{h}{2} - \frac{pl}{2h}\right)^2} \quad \begin{matrix} p = 0,025 \text{ (ГММ)}, \\ p = 0,07 \text{ (ГСМ, ГБМ)} \end{matrix}$$

- гиперболическая

$$f(x) = \frac{ph(l-x)}{l(x+p)} \quad \begin{matrix} p = 10 \text{ (ГММ)}, \\ p = 30\text{--}50 \text{ (ГСМ, ГБМ)} \end{matrix}$$

- кубическая парабола

$$f(x) = a(x-l)^3 + b(x-l)^2 + \left(bl - al^2 - \frac{h}{l}\right)(x-l) \quad \begin{matrix} a = -439 \cdot 10^{-10}, \\ b = 201,7 \cdot 10^{-7} \end{matrix}$$

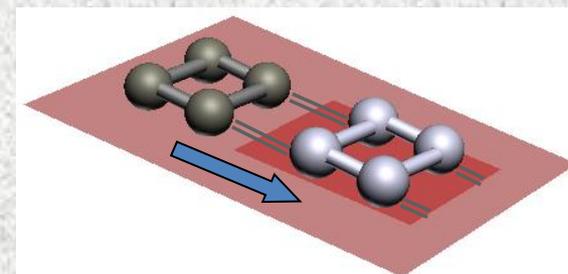
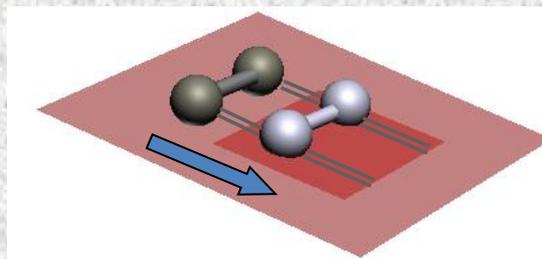
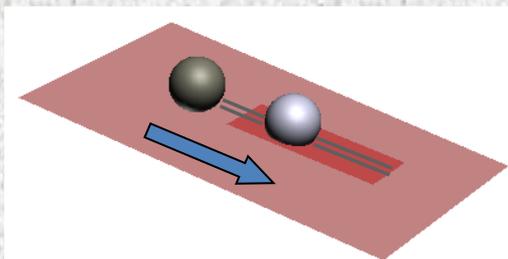
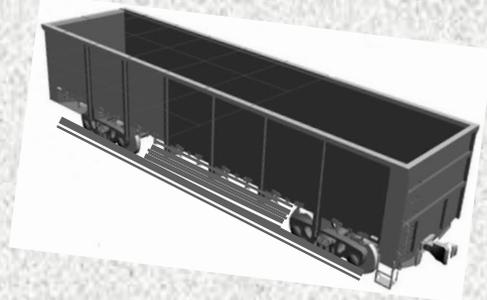
- экспоненциальная

$$f(x) = \frac{h(a^x - a^l)}{1 - a^l} \quad a = 0,985$$

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ В МОДЕЛИ СОРТИРОВОЧНОЙ ГОРКИ ИНЕРЦИОННЫХ АНАЛОГОВ КОЛЕСНЫХ ПАР И НИЗКОУПРУГИХ ЭЛЕМЕНТОВ ПОВЕРХНОСТИ СКАТЫВАНИЯ ТЕЛ

Физические аналогии тормозящих воздействий

1. Защемления реборды колеса вагона в шине замедлителя;
2. Движения в вязкой среде имитирующих тел (шара, шарнирных соединений шаров и других репродуцирующих элементов)



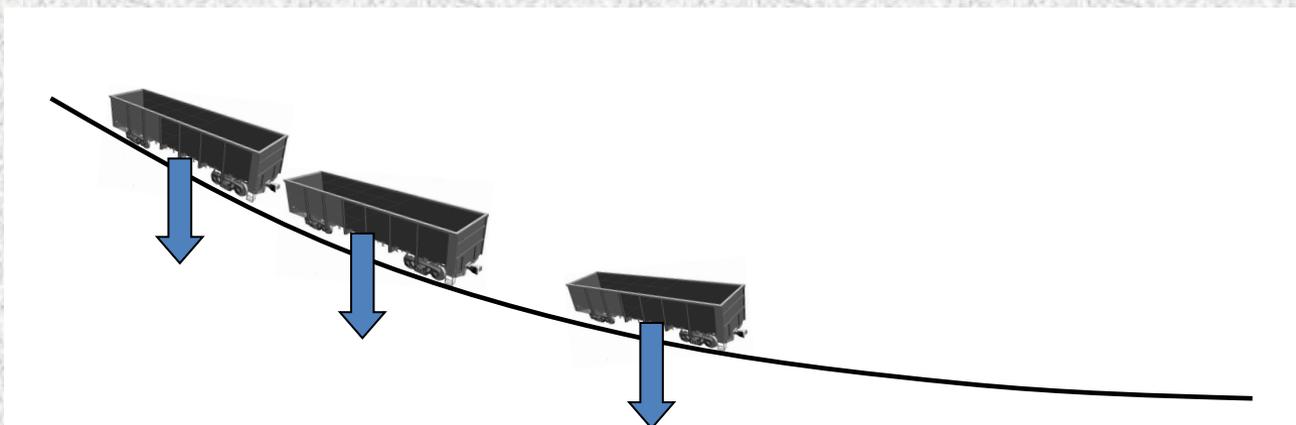
Шар как объект модельной системы трансформируется в определенный ряд формообразований с постепенным приближением к физически сложной многокомпонентной оболочке железнодорожного подвижного состава с упруго и неупруго деформируемыми конструктивными элементами кузова, тележки и ударно-тяговых устройств.

ОБЩАЯ ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ:

Определить расчетные параметры динамической системы интервального регулирования «Поверхность скатывания – тела скатывания» с обеспечением условия циклоиды по минимальному времени скатывания

МОДЕЛЬНОЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЕ ОБЪЕКТОВ ВОЗДЕЙСТВИЯ НА СОРТИРОВОЧНУЮ ГОРКУ

Вагоны как объекты, передающие нагрузку
(эфферентные объекты моделирования)



Окружение горки как влияющие на горку активные и пассивные источники
(фоновые объекты)

Электромагнитное излучение, вибрация,
атмосферные осадки, механические помехи,
температурные деформации, отказ устройств



ФОРМИРОВАНИЕ ДИНАМИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ СОРТИРОВОЧНОЙ ГОРКИ

Объектная модель → Ситуативная модель

Критерии адекватности работы модели сортировочной горки

- **визуальный аспект (изоморфная модель)**
 - степень визуального подобия модели и прототипа;
 - субъективность восприятия информационных реконструкций
- **физический аспект (изофункциональная модель)**
 - модельная физика процессов
 - влияние статических и динамических фоновых объектов;



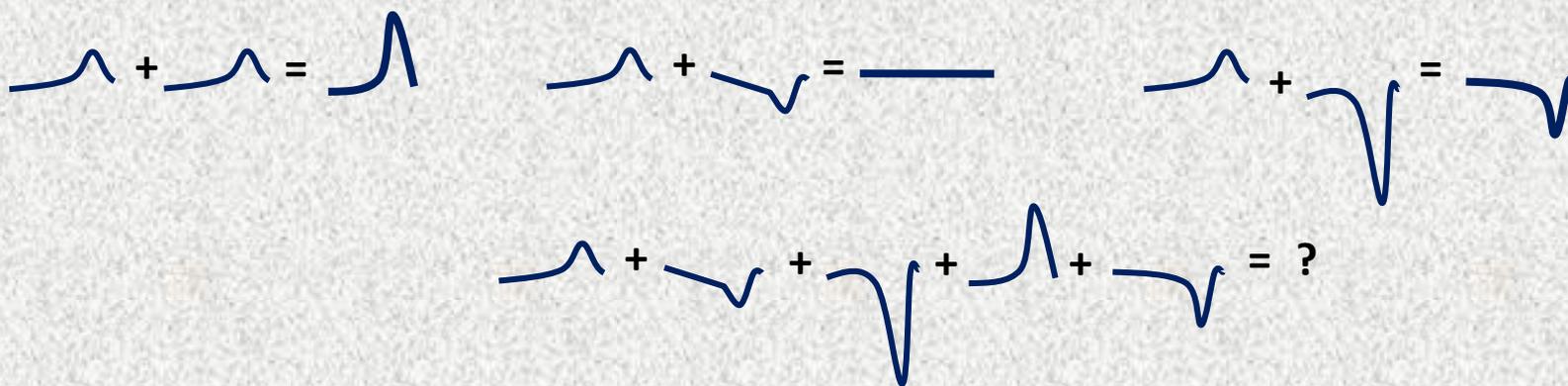
ОБЩИЕ УСЛОВИЯ АДЕКВАТНОСТИ МОДЕЛИРОВАНИЯ РАБОТЫ СОРТИРОВОЧНОЙ ГОРКИ

Учет влияния факторов:

- особенности конструкции вагонов;
- состояние путей и стрелочных переводов на горке;
- состояние подвижного состава;
- особенности скатывания отцепов различной массы и длины;
- изменение скорости надвига состава на горку;
- особенности воздействия тормозящего усилия замедлителей на различные отцепы;
- реальный план горочных путей и профиль скатывания вагонов;
- человеческий фактор (является ли конструктом модельной реставрации?)

ПЕРЕМЕННАЯ ЗНАЧИМОСТЬ ФАКТОРОВ

Факторная суперпозиция



↑ ускорение
↓ замедление

Скорость движения отцепов

МОДЕЛЬНОЕ ПРОТОТИПИРОВАНИЕ ОБЪЕКТОВ И ПРОЦЕССОВ СОРТИРОВОЧНОЙ ГОРКИ

10

Задача создания информационного двойника сортировочной горки



Информационная копия и реплика прототипа

Адекватное подобие моделирующих агентов и моделированных репродукций

Верифицированный репликат

Функционирование реплицированных объектов модели

Адаптивная техническая система включает компенсирующий механизм, переводящий **множество процессных вариаций** $\{P_f\}$ в счетное, на несколько порядков меньшее по мощности **множество конечных состояний** $\{P_s\}$

$$\frac{\{P_f\}}{\{P_s\}} = 100 \dots 1000$$

ЭФФЕКТИВНОСТЬ МОДЕЛИРОВАНИЯ РАБОТЫ СОРТИРОВОЧНОЙ ГОРКИ

Достигаемые цели моделирования горочных процессов

- 1. Информационная поддержка принятия управленческих и проектных решений по текущему содержанию путей и реконструкции горки на основе актуализированной информации о плане и профиле горочных путей**
- 2. Создание инструмента вариативной реконструкции процесса расформирования поездов с системной интеграцией данной модели по различным задачам управления вагонопотоками на станции**
- 3. Повышение безопасности роспуска вагонов, сохранности подвижного состава, максимального использования наличной перерабатывающей способности горочных устройств**

**Математические рассуждения не способны создать физику..
Они должны заимствовать свой материал из тех наблюдений, которые уже имеются...**
Ф. Розенберг (1934 г.)

**Наилучший способ создания новой теории – угадывать уравнения,
не обращая внимание на физические модели или физическое объяснение.**
Р. Фейнман (1976 г.)

Благодарю за внимание!