

ФГБОУ ВПО  
НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ  
МОСКОВСКИЙ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

МОИ



институт электротехники и электрификации

кафедра ЭКАО и ЭТ

Направление подготовки: 13.04.02 Электроэнергетика и электротехника

Направленность (профиль): Электродвижение и электроснабжение наземных транспортных средств

Уровень образования: магистратура

**Комаров В.Г.**

**Методические указания к курсовому проекту по  
дисциплине ЭО и СУ ЭПС**

Часть 1



Москва — 2026

Титульный лист курсового проекта

ФГБОУ ВПО  
НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ  
МОСКОВСКИЙ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ



институт электротехники и электрификации

кафедра ЭКАО и ЭТ

Направление подготовки: 13.04.02 Электроэнергетика и электротехника

Направленность (профиль): Электродвижение и электроснабжение наземных транспортных средств

Уровень образования: магистратура

**ЗАДАНИЕ НА КУРСОВОЙ ПРОЕКТ**

по дисциплине Б1.В.ОД.5 "ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЕ И СИСТЕМЫ  
УПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОПОДВИЖНЫМ СОСТАВОМ";

**Тема: Расчет и имитационное моделирование тягового  
электропривода транспортного средства**

Время выполнения работы с \_\_\_\_\_ по \_\_\_\_\_ 20 \_\_\_\_ г.

Студент \_\_\_\_\_

Фамилия, и., о.

группа

подпись

Научный руководитель \_\_доцент\_\_ к.т.н. Комаров В.Г. \_\_\_\_\_

должность, звание, фамилия, и., о.

подпись

Консультант \_\_\_\_\_

должность, звание, фамилия, и., о.

подпись

Москва

« \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2026 г.

# 1. Расчёт основного сопротивления движению

Основное сопротивление движению соответствует движению на горизонтальном прямолинейном участке пути для земных транспортных средств или на тихой свободной воде при прямолинейном движении для электросудов.

Для предварительных расчётов можно считать, что удельное сопротивление движению  $w$  зависит от скорости движения  $V$  в соответствии с формулой

$$w = w_0 + k_1 \cdot V + k_2 \cdot V^2 \text{ Н/кг,}$$

где значения коэффициентов зависят от вида транспортного средства и приведены в табл. 1.

Следует учесть, что для электросудов приведённая формула справедлива до скоростей, определяемых критерием подобия волнообразования Фруда

$$V \leq 0.15 \cdot \sqrt{g \cdot L} \text{ м/с,}$$

где  $g$  — ускорение свободного падения,  $\text{м/с}^2$ ,

$L$  - длина корпуса судна, м.

Таблица 1.

Вид транспортного средства	$W_0$ , Н/кг	$K_1$ , Н·с/кг·м	$K_2$ , Н·с <sup>2</sup> /кг·м <sup>2</sup>	Примечание
Электромобили, экомобили	0,12	$8,8 \cdot 10^{-4}$	$4,2 \cdot 10^{-4}$	На автомобильных дорогах первой и второй категории качества
Электробусы, экобусы, троллейбусы	0,118	0	$5,08 \cdot 10^{-4}$	
Трамваи	$4,4 \cdot 10^{-2}$	0	$3,56 \cdot 10^{-4}$	
Электропоезда	$1,08 \cdot 10^{-2}$	$4,23 \cdot 10^{-4}$	$3,39 \cdot 10^{-4}$	
Поезда метро	$1,08 \cdot 10^{-2}$	0	$7,7 \cdot 10^{-4}$	При максимальном заполнении
	$1,08 \cdot 10^{-2}$	0	$1,2 \cdot 10^{-3}$	Порожний состав
МАГЛЕВ (HSST)	$1,5 \cdot 10^{-4}$	$5,2 \cdot 10^{-5}$	$3,5 \cdot 10^{-4}$	
Электросуда	0	0	$7,25 \cdot 10^{-3}$	При $V \leq 0.15 \cdot \sqrt{g \cdot L}$ м/с

Зададим значения аргумента, в качестве которого в данном случае выступает скорость движения  $v$ , в диапазоне от 0 до 20 м/с с шагом 1 м/с и запишем выражения для удельного сопротивления движению, например, для троллейбуса  $w_{tbs}$ . После этого выведем график

расчитанных величин с помощью функции *plot* (рис. 1). Функция *plot* в Scilab существует для построения графиков вида  $y=f(x)$ . При простейшем обращении к функции  $plot(x,y)$  будет создано окно с именем *Scilab Graphic (0)*, в котором будет построен график функции  $y(x)$  на заданном интервале значений  $x$  (Рис. 2). В нашем случае роль аргумента  $x$  функции выполняет скорость  $v$ , а ординаты  $y$  — сопротивление движению  $w\_tbs$ .

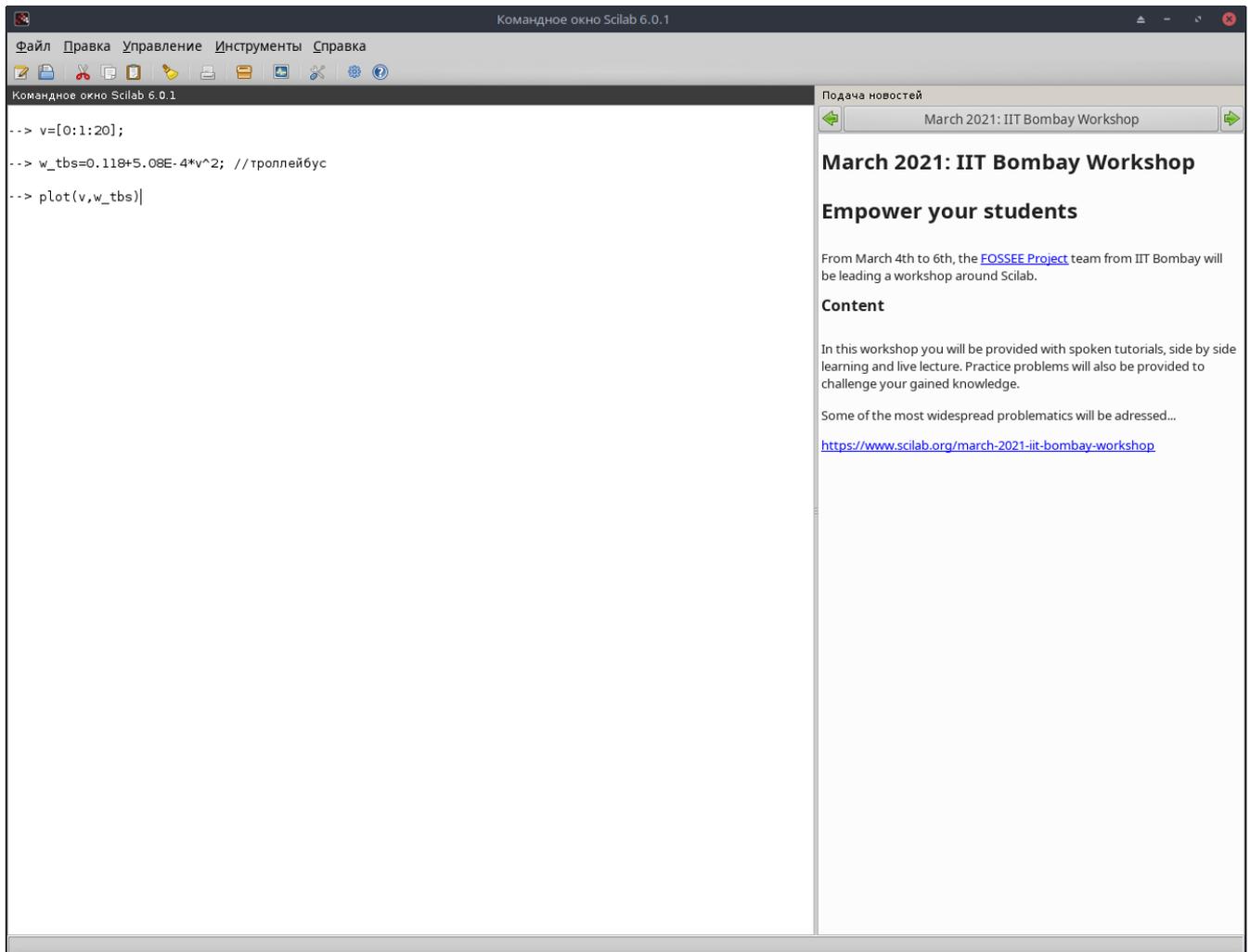


Рис. 1.

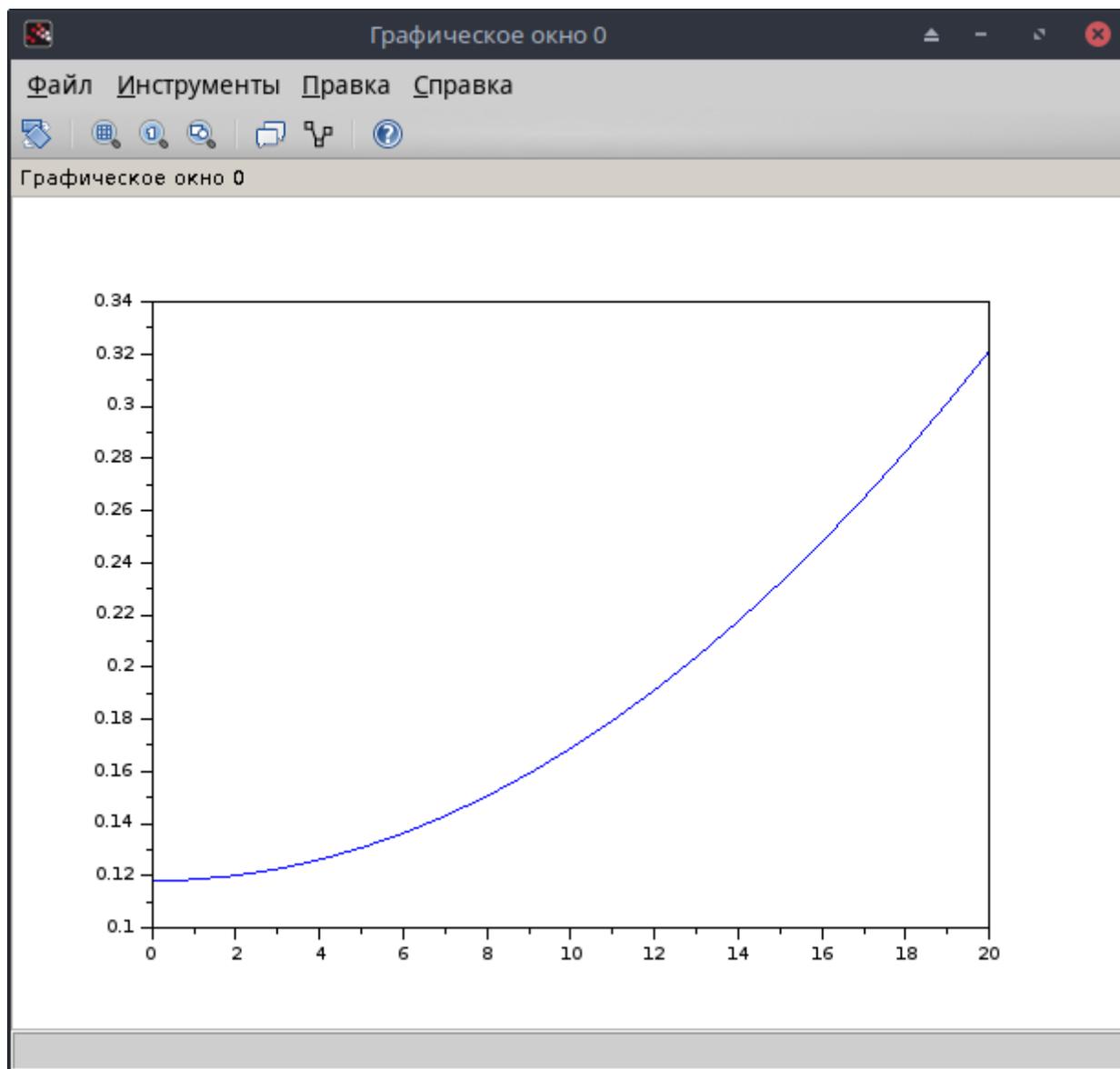


Рис. 2.

Дальнейшие действия для возможности последующего использования алгоритма расчёта будем проводить в редакторе SciNotes, создавая программу, соответствующую шаблону обобщённого вычисления удельного сопротивления движению транспортных средств (рис. 3).

Вначале запишем название программы и введём все наши выражения для вычислений. После этого введём в текст команды языка SciLang по оформлению графиков. Рассмотрим основные возможности SciLang по оформлению графиков.

#### **Изображение сетки на графике**

Для изображения сетки следует воспользоваться функцией *xgrid(color)*, *color* определяет *id* цвета линии сетки.

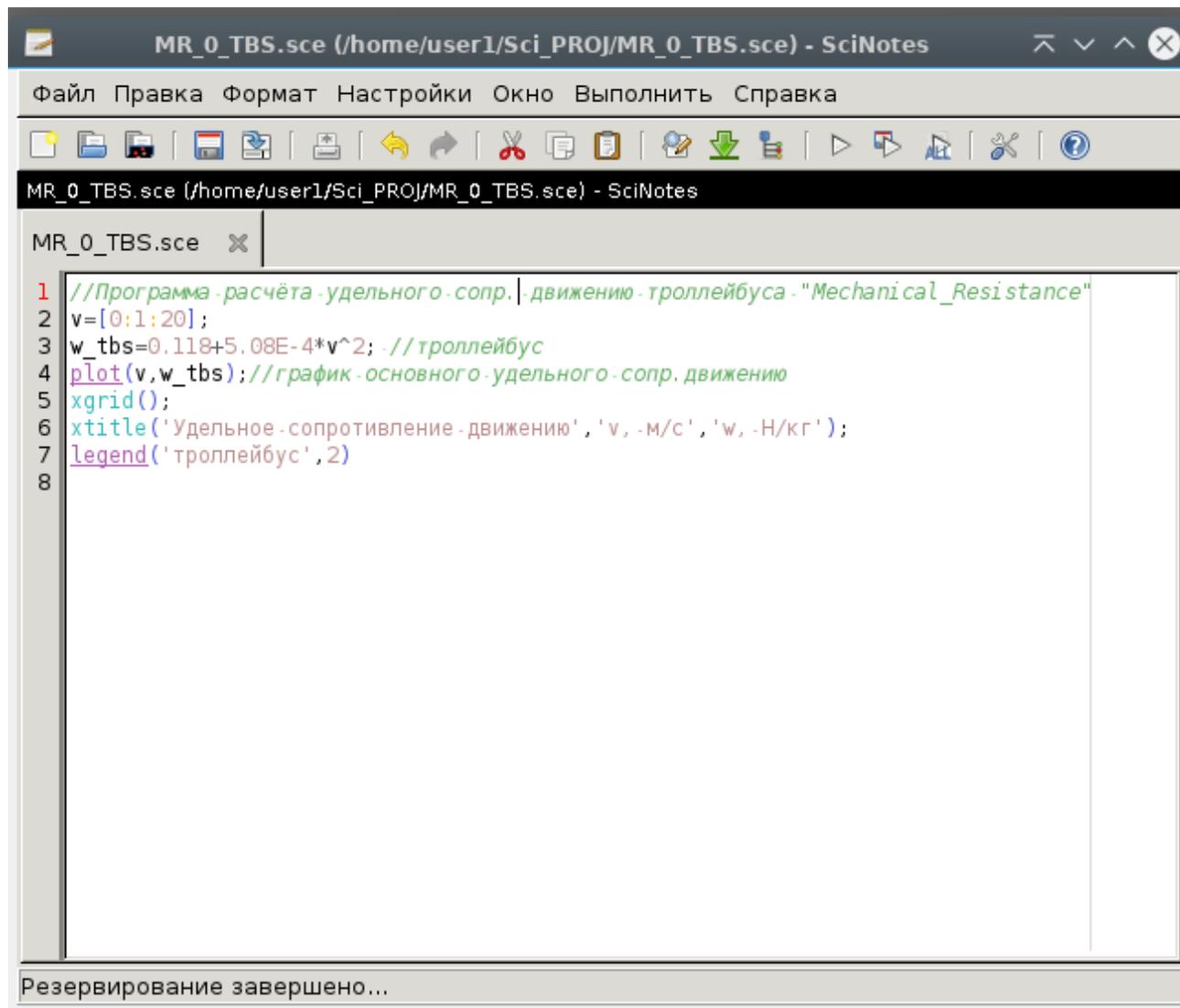
#### **Заголовки на графике**

Для вывода заголовков на графике служит функция *xtitle(title, xstr, ystr)*, Здесь *title* – название графика, *xstr* – название оси *X*, *ystr* – название оси *Y*.

#### **Нанесение легенд на график**

Для нанесения легенд на график служит функция *legend(leg1,leg2,...,legn[,pos][,boxed])* ,

где  $leg1$  – имя первой легенды,  $leg2$  – имя второй легенды, ... ,  $legn$  – имя  $n$ -й легенды;  $pos$  – месторасположение легенды: 1 – в верхнем правом углу (по умолчанию), 2 – в верхнем левом углу, 3 – в нижнем левом углу, 4 – в нижнем правом углу, 5 – определяется пользователем после изображения графика;  $boxed$  – логическая переменная (по умолчанию %t), которая определяет рисовать или нет рамку вокруг легенды.



```
MR_0_TBS.sce (/home/user1/Sci_PROJ/MR_0_TBS.sce) - SciNotes
Файл Правка Формат Настройки Окно Выполнить Справка
MR_0_TBS.sce (/home/user1/Sci_PROJ/MR_0_TBS.sce) - SciNotes
MR_0_TBS.sce x
1 //Программа расчёта удельного сопр. движению троллейбуса - "Mechanical_Resistance"
2 v=[0:1:20];
3 w_tbs=0.118+5.08E-4*v^2; // троллейбус
4 plot(v,w_tbs); // график основного удельного сопр. движению
5 xgrid();
6 xtitle('Удельное сопротивление движению', 'v, -м/с', 'w, -Н/кг');
7 legend('троллейбус', 2)
8
Резервирование завершено...
```

Рис. 3.

Теперь сохраним созданную программу в файле с именем MR\_0\_TBS.sce. После запуска этой программы в командном окне Scilab, получаем наш график.

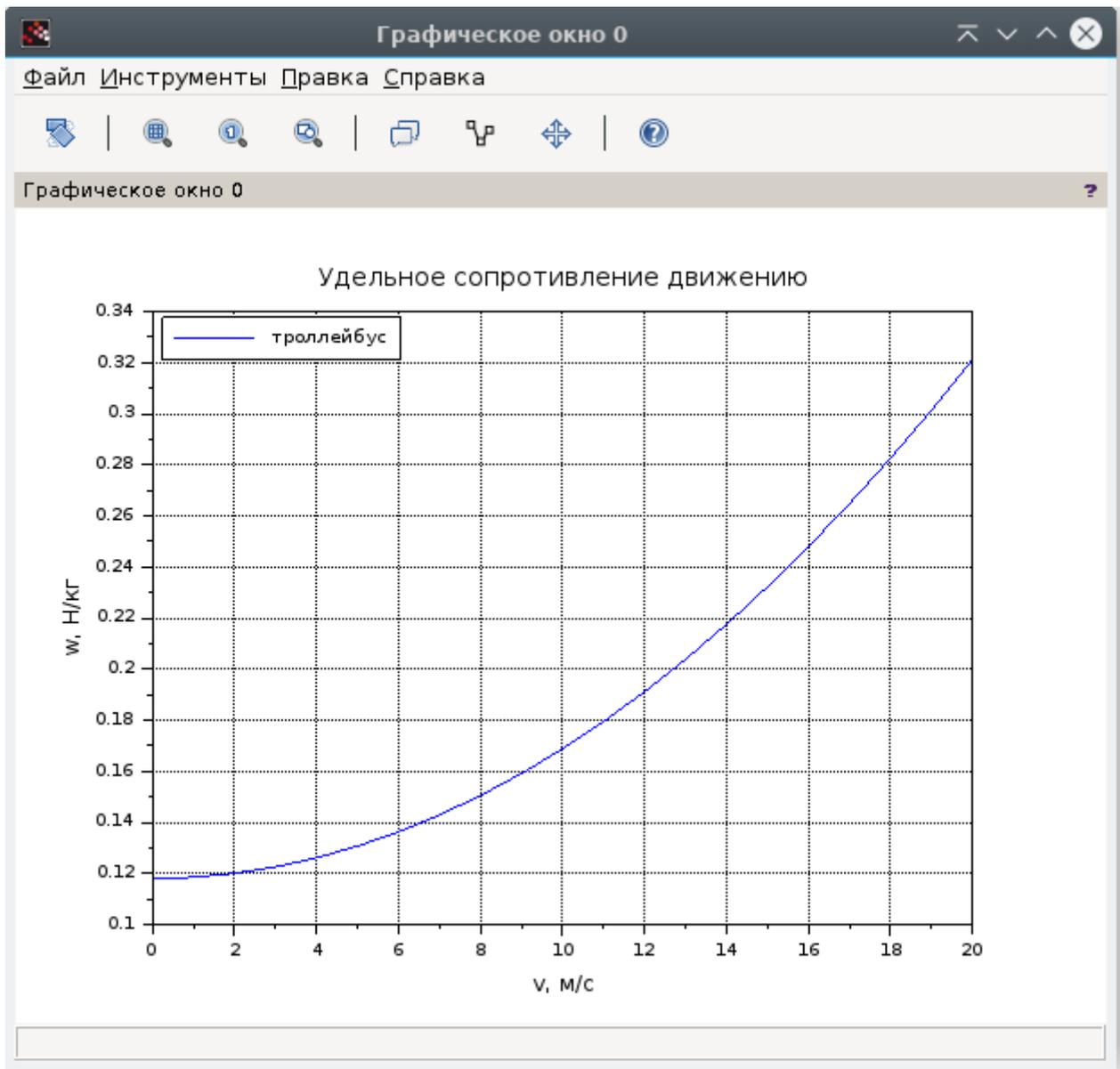


Рис. 4.

Аналогично производится предварительный расчёт сопротивления движению фотоэлектрической яхты (рис. 5 и 6).

Файл Правка Формат Настройки Окно Выполнить Справка

MR\_FEY.sce (/home/user1/УНИВЕРСИТЕТ/КУРС\_ПРОЕКТЫ/КП\_ЭОwCY\_ЭПС\_25/КП\_МОДЕЛИ\_2024/MR\_FEY.sce) - SciNotes

```

1 //Программа расчёта удельного сопротивления движению фотоэлектрической яхты
2 // "Hydraulic_Resistance_fey"
3 v=[0:.1:4];
4 w_fey=7.25E-3.*v.^2 //фотоэлектрическая яхта
5 plot(v,w_fey)
6 xgrid();
7 xtitle('Удельное сопротивление движению', 'v, -м/с', 'w, -Н/кг');
8 legend('фотоэлектрическая яхта',2)
9

```

Рис. 5.

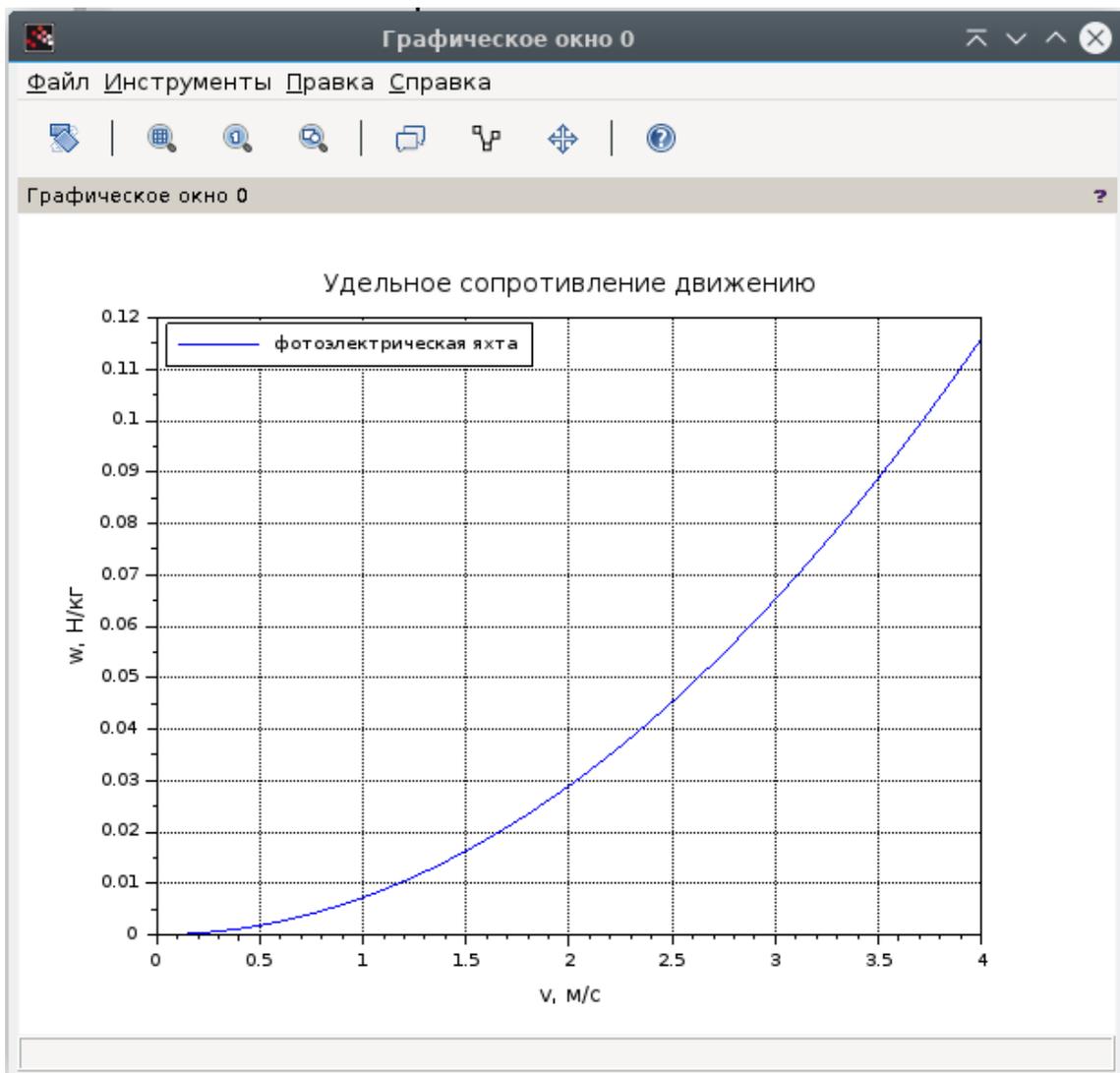


Рис. 6.

Любой график можно экспортировать в графический файл для этого в окне графика выбрать команду *Файл - Экспортировать...* и в появившемся окне выбрать папку, имя и тип экспортируемого файла.

Сохранив текст программы для любого транспортного средства мы в любой момент можем вызвать её из основного окна Scilab с помощью команды «Файл/Выполнить/Имя\_файла» и получить результаты расчёта в виде оформленного графика.

## 2. Расчёт предельных тягово-тормозных характеристик

Зависимость значений силы  $F$  тяги и торможения от скорости движения  $V=dx/dt$  называется тягово-тормозными характеристиками транспортного средства.

Выходной параметр силы  $F$  тяги и торможения энергосилового агрегата ограничен предельными значениями конструктивных возможностей системы и внешними условиями движения. Ограничения обычно вызваны пределами прочности узлов и агрегатов транспортного средства, пределами их допустимого нагрева вследствие потерь энергии, предельной мощностью энергоисточников и контактной сети, пределами сцепления колеса с дорогой или рельсом и т. п. Предельно возможные силы тяги и торможения по конструктивным ограничениям и внешним условиям движения, выраженные в зависимости от скорости движения  $V$ , называются предельными тягово-тормозными характеристиками. Заданные в техническом задании параметры подвижного

состава не могут превышать значений, определяемых предельными тягово-тормозными характеристиками. Это и необходимо определить на первом этапе технического проектирования, как с помощью расчётов, так и имитационных испытаний (моделирования) подвижного состава в условиях движения и режимов, оговоренных техническим заданием.

Максимально требуемое тяговое усилие для земных транспортных средств определяется максимальным преодолеваемым подъёмом

$$f_m = g \cdot \sin(\operatorname{artanh}(i_m)) \text{ Н/кг},$$

а для водных транспортных средств максимальным преодолеваемым течением

$$f_m = w(v_m) \text{ Н/кг},$$

где  $w$  — полное удельное сопротивление движению воды при максимальной скорости течения  $v_m$  в м/с.

Максимально допустимое ускорение или замедление при наличии стоящих пассажиров в транспортном средстве не должно превышать по абсолютной величине  $1,5 \text{ м/с}^2$ , а если все пассажиры сидящие, то  $2,5 \text{ м/с}^2$ .

Разгон до номинальной скорости движения транспортного средства целесообразно осуществлять с постоянным ускорением. Однако при этом следует учитывать ограничения по мощности тягового энергоисточника или контактной сети

$$f \leq \frac{P_m}{m \cdot v},$$

где  $P_m$  — максимальная мощность тягового энергоисточника или тяговой сети, Вт,

$m$  — масса транспортного средства, кг,

$v$  — скорость движения, м/с.

Требуемую удельную максимальную мощность  $p_m = P_m/m$  обычно определяют из следующих условий:

1. движение с заданной скоростью  $V_0$  на максимальном подъёме  $i_m$  для земных транспортных средств  $p_m = (w(V_0) + \sin(\operatorname{atan}(i_m))) \cdot V_0$ ;
2. движение с заданной скоростью  $V_0$  при максимальной скорости течения  $V_m$  для водных транспортных средств  $p_m = w(V_0 + V_T) \cdot (V_0 + V_T)$ ;
3. движение с заданной скоростью  $V_p$  на руководящем подъёме  $i_p$  для земных транспортных средств  $p_m = (w(V_p) + \sin(\operatorname{atan}(i_p))) \cdot V_p$ ;
4. движение с заданной расчётной скоростью  $V_{p3}$  при расчётной скорости течения  $V_{pT}$  для водных транспортных средств  $p_m = w(V_{p3} + V_{pT}) \cdot (V_{p3} + V_{pT})$ ;
5. установившееся движение с максимальной скоростью на горизонтальном прямолинейном участке пути или свободной тихой воде  $p_m = w(V_m) \cdot V_m$ ;
6. движение с заданным ускорением в заданном диапазоне скоростей  $p_m = (a + w(V_{am})) \cdot V_{am}$ , где  $V_{am}$  — максимальная скорость в заданном диапазоне.

Также необходимо учитывать ограничения по сцеплению колёс с рельсами или дорогой

$$f \leq g \cdot \Psi,$$

где  $\Psi$  - коэффициент сцепления, зависящий от вида транспортного средства и погодных условий в соответствии с табл. 2.

Нормативный расчётный коэффициент сцепления может быть вычислен в соответствии с коэффициентами табл. 2 по формуле

$$\Psi = \Psi_0 + \frac{8}{100 + k \cdot v}$$

Таблица 2.

Вид транспортного средства	$\Psi_0$	K, с/м	Диапазон реально возможных значений $\Psi_0$
Электромобили, экомобили	0,35	90	0,12...0,85
Электробусы, экобусы, троллейбусы	0,35	110	0,15...0,85
Трамваи	0,15	80	0,12...0,20
Электропоезда	0,21	75	0,20...0,22
Поезда метро	0,22	70	0,21...0,23
МАГЛЕВ (HSST)	Реализуемые силы не зависят от механического сцепления		
Электросуда	Реализуемые силы не зависят от механического сцепления		

Создадим функцию предельных тягово-тормозных характеристик (ПТТХ) «Traction\_Break\_Force» TBF.sce.

Пример программы расчёта ПТТХ для трамвайного вагона на языке SciLang.

```
//Программа расчёта предельных тягово-тормозных характеристик
"Traction_Break_Force"
g=9.81;
Pm_trm=452E3; //Макс.тяговая мощность, Вт
Pmb_trm=-560E3; //Макс.тяговая мощность, Вт
m_trm=51E3; //Полная масса, кг
v=[0:25] //Диапазон расч.скоростей, м/с
im=0.12; //Макс (руководящий)подъём
psi_0=0.15 //Базовое знач. коэф. сцепления
k=80 //коэф. формулы сцепления
w0=4.4E-2 //уд.сопр.движю при V=0
am=1.5 //макс.доп.ускорение. м/с^2
fm_trm=g*sin(atan(im)) //максимальное тяговое усилие
fa_trm=am+w0 //ограничение по макс.ускорению
fc_trm=g.*(psi_0+8./(100+k.*v)) //Ограничение по сцеплению
```

```

fp_trm=Pm_trm./(m_trm.*v) //Ограничение по тяговой мощности
amb=-1.5 //макс.доп.замедление. м/с^2
fab_trm=amb+w0 //ограничение по макс.замедлению
fcb_trm=-g.*(psi_0+8./(100+k.*v)) //Ограничение по сцеплению
fpb_trm=Pmb_trm./(m_trm.*v)//Ограничения по тормозной мощности
f_trm=min(fa_trm,fp_trm,fc_trm)
fb_trm=max(fab_trm,fpb_trm,fcb_trm)
plot(v,f_trm,'b-',v,fb_trm,'r-')
xgrid();
xtitle('Предельные тягово-тормозные характеристики','v, м/с','f, Н/кг');

```

Запустив эту программу на выполнение получаем график расчётных предельных тягово-тормозных характеристик, представленный на рис. 7.

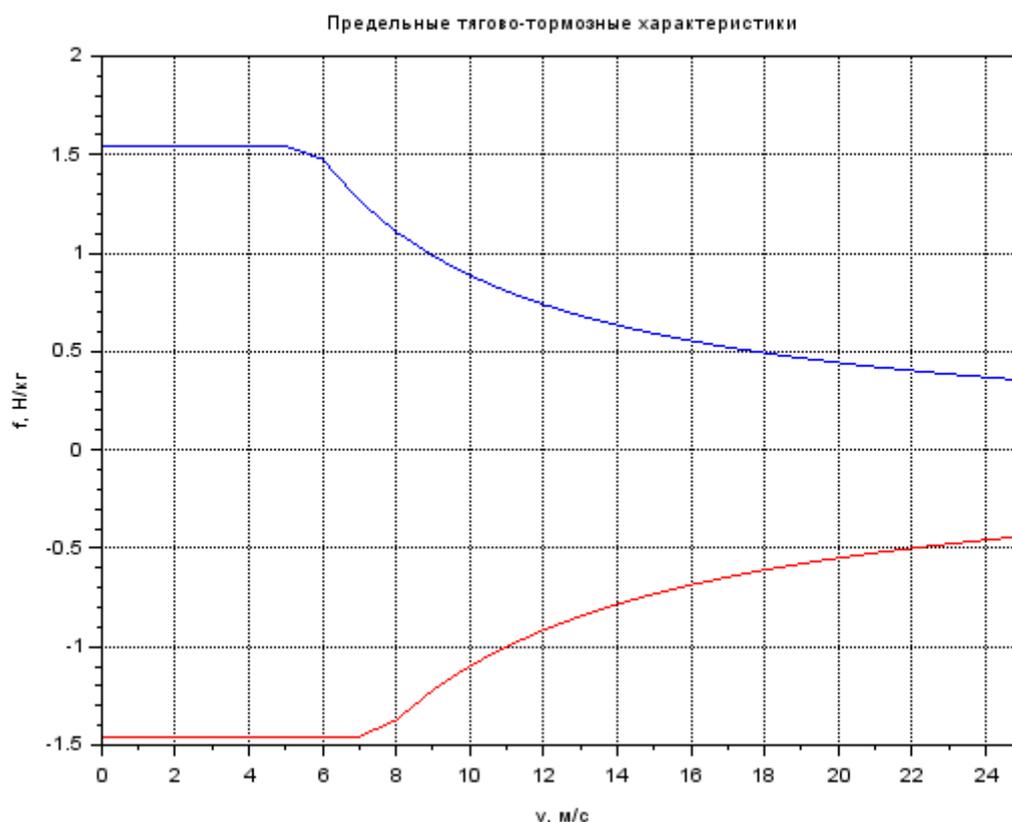


Рис. 7.

### 3. Имитационная модель движения подвижного состава

Моделирование представляет собой метод исследования, который является формой отображения действительности и заключается в воспроизведении свойств реальных объектов при помощи виртуальных объектов. Воспроизведение на компьютере развернутого во времени процесса функционирования системы с учетом её взаимодействия с внешней средой называется **имитационным моделированием**. Все расчеты в компьютерной модели выполняются в так называемом системном времени, которое соответствует реальному времени функционирования объекта исследования или системы. Имитационное моделирование наиболее мощный и универсальный метод исследования и оценки эффективности систем, поведение которых зависит, как от детерминированных, так и случайных факторов.

Физическое моделирование связано с большими материальными затратами, поскольку требуется изготовление макетов и их трудоемкое исследование. Поэтому на начальных этапах

разработки и проектирования подвижного состава и транспортных систем, а также их устройств и агрегатов используется компьютерное имитационное моделирование.

Современная разработка электроподвижного состава проводится на основе компьютерных моделей движения транспортных средств. В курсе моделирования систем электрической тяги мы с вами уже рассматривали основные физические процессы, происходящие при движении транспортного средства, в виде блок-схемы модели, приведённой на рис 8.

Вербально (на основе естественного языка) обобщённая модель транспортного средства может быть описана следующим образом.

Движение транспортного средства (MD — Moving Device) осуществляется под воздействием силы  $F$ , создаваемой энергосиловым модулем (EFU — Energy Force Unit) за счёт энергии  $E_s$ , получаемой от энергоисточника (ES — Energy Source) и  $E_a$  от буферного накопителя энергии (EA — Energy Accumulator), сопротивления движению (Moving Resistance)  $W$  и гравитационного притяжения (Gravity Pull)  $G$ . При этом ТС характеризуется массой  $m$ , определяющей инерционные и гравитационные свойства ТС и действием, характеризующимся силой  $F$  по выполнению заданной транспортной работы или достижения поставленной цели.

Обобщённое уравнение движения в удельных единицах, независимое от массы транспортного средства имеет вид:

$$\frac{d^2x}{dt^2} = f - g \cdot \sin(\alpha) - w, \quad V(x) = \frac{dx}{dt}$$

Имитационное моделирование движения подвижного состава обеспечивает компьютерное вычисление и графическую интерпретацию зависимостей  $x(t)$ ,  $v(t)$ ,  $v(x)$  при воздействии управляемой силы  $F$ , создаваемой энергосиловым агрегатом EFA.

Как видим задача расчётов и моделирования сводится к интегрированию обыкновенного дифференциального уравнений (ОДУ) второго порядка при воздействии управляемой силы  $F$ . Таким образом для решения обобщённого уравнения движения транспортного средства необходимо знать силу  $F$ , которая определяется способами управления транспортным средством исходя из поставленных целей движения, т. е. системы управления. Поэтому для имитационного моделирования блок-схема движения подвижного состава должна содержать блок системы управления CS (Control System), воздействующий сигналами управления на электросиловый агрегат в соответствии с заданными параметрами управления.

Исходя из этого описания можно составить следующую блок-схему, отражающую структуру описанных процессов.

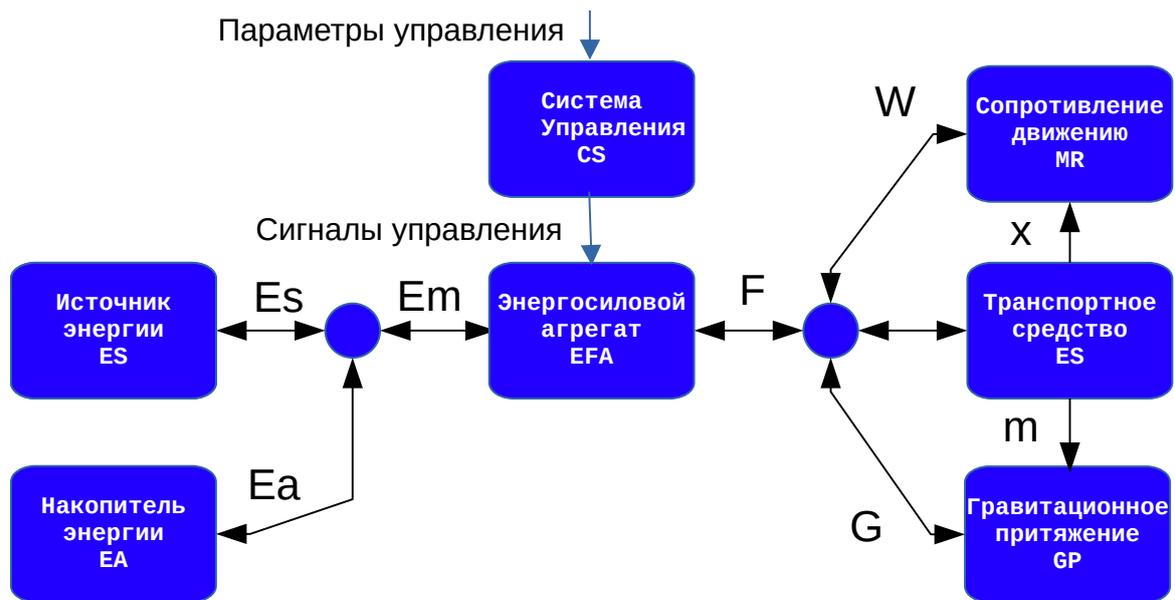


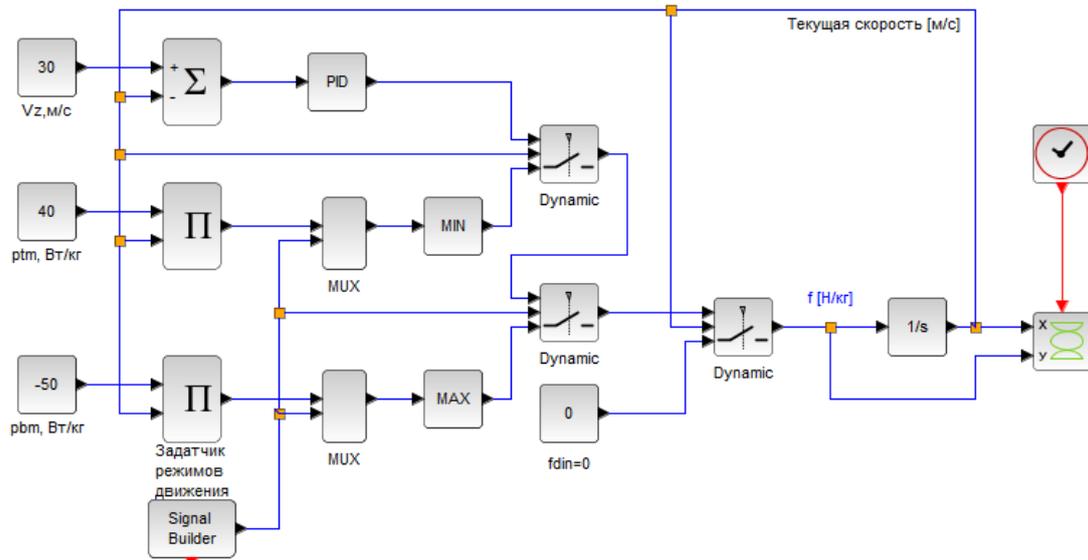
Рис. 8.

Параметры управления состоят из заданных параметров режимов движения и реальных значений параметров движения или физических процессов окружающей среды и транспортного средства, полученные с помощью датчиков. Заданные параметры определяет водитель, машинист, оператор транспортного средства или автоматическая система управления движением на основе реальных значений параметров движения, полученных от соответствующих датчиков.

Для имитационного моделирования создаём блок-схемы моделей соответствующих процессов с помощью визуального программирования XCOS. В качестве примера будем рассматривать двухвагонный состав магнитолевитационной беспилотной транспортной системы «ЭЛТРО».

### Модель системы управления

Система управления обеспечивает разгон до заданной скорости по предельной тяговой характеристике, стабилизацию скорости движения по магистральному пути, торможение по предельной тормозной характеристике до полной остановки и наложение стояночного тормоза после снижения скорости ниже 0,1 м/с. Последовательность и интенсивность режимов задаётся программным способом с помощью задатчика режимов движения (блок Signal Builder).



Блок-схема модели управления движением элтровера в условном цикле движения с учётом ограничений по мощности, скорости и наложения стояночного тормоза \*kurs\_proj\_move\_control.zos\*

Рис. 9.

Результат моделирования в виде тягово-тормозной диаграммы, отражающей тягово-тормозные характеристики модели с учётом ограничений по мощности, скорости и наложения стояночного тормоза, приведён на рис. 10.

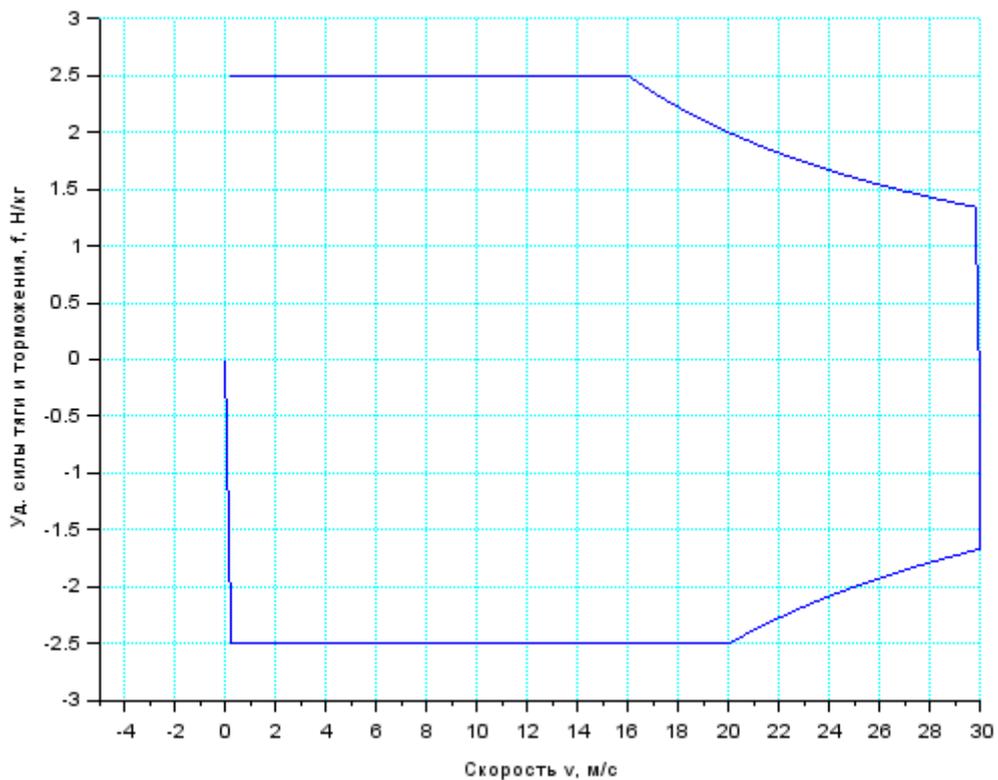
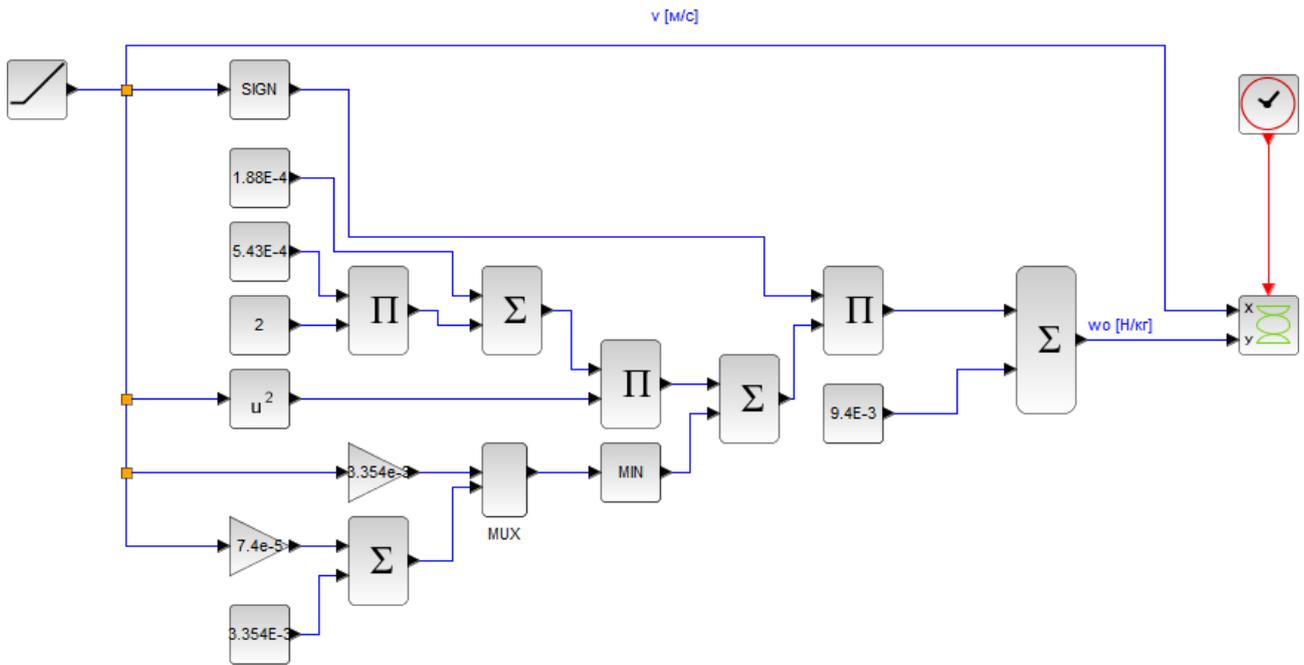


Рис. 10.

### Модель основного сопротивления движению



Блок-схема модели основного сопротивления движению двухвагонного состава элпромверов "kurs\_proj\_move\_resistance.zos"

Рис. 11.

Установки параметров модели приведены на рис. 12...15.

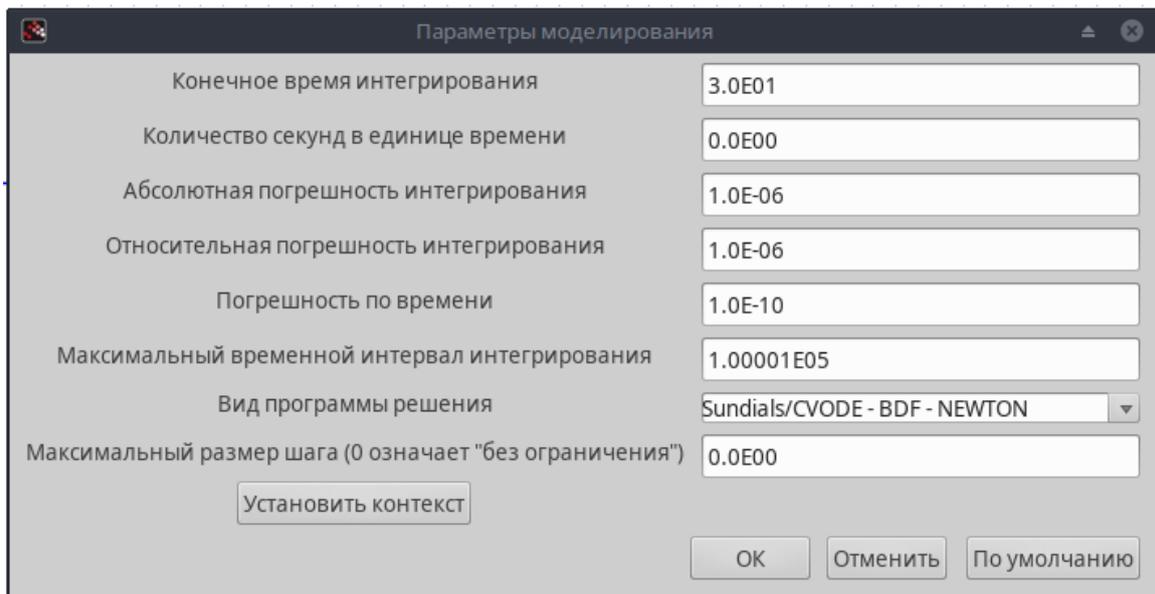


Рис. 12.

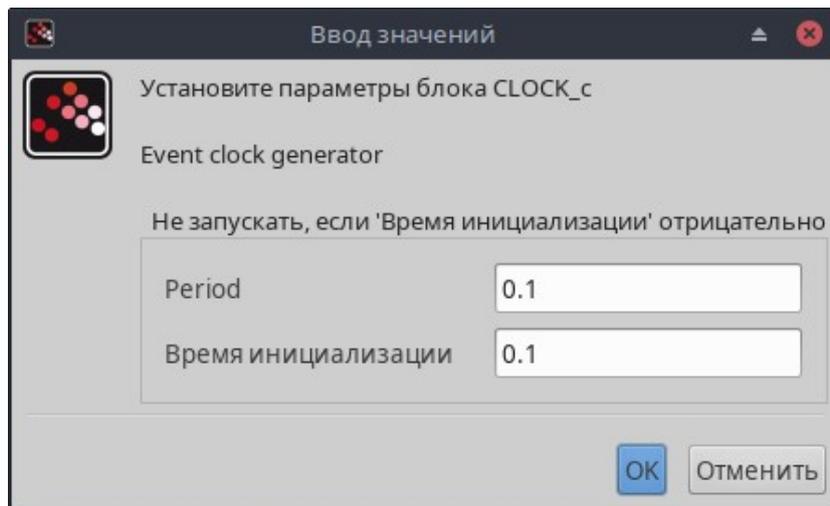


Рис. 13.

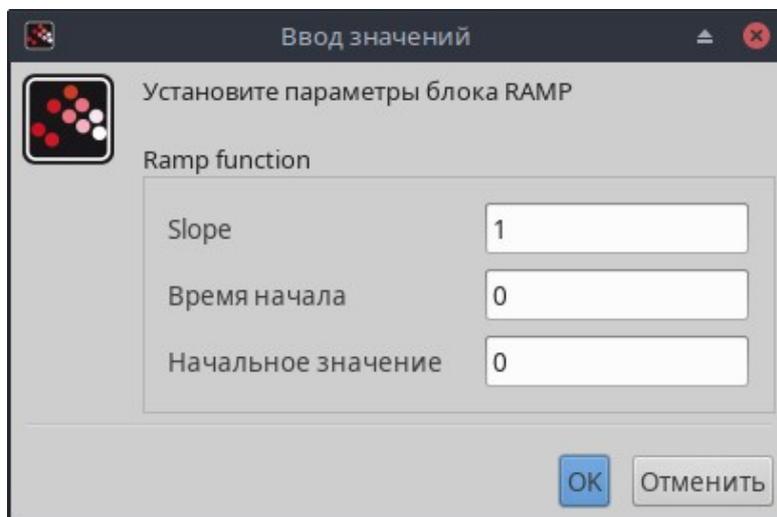


Рис. 14.

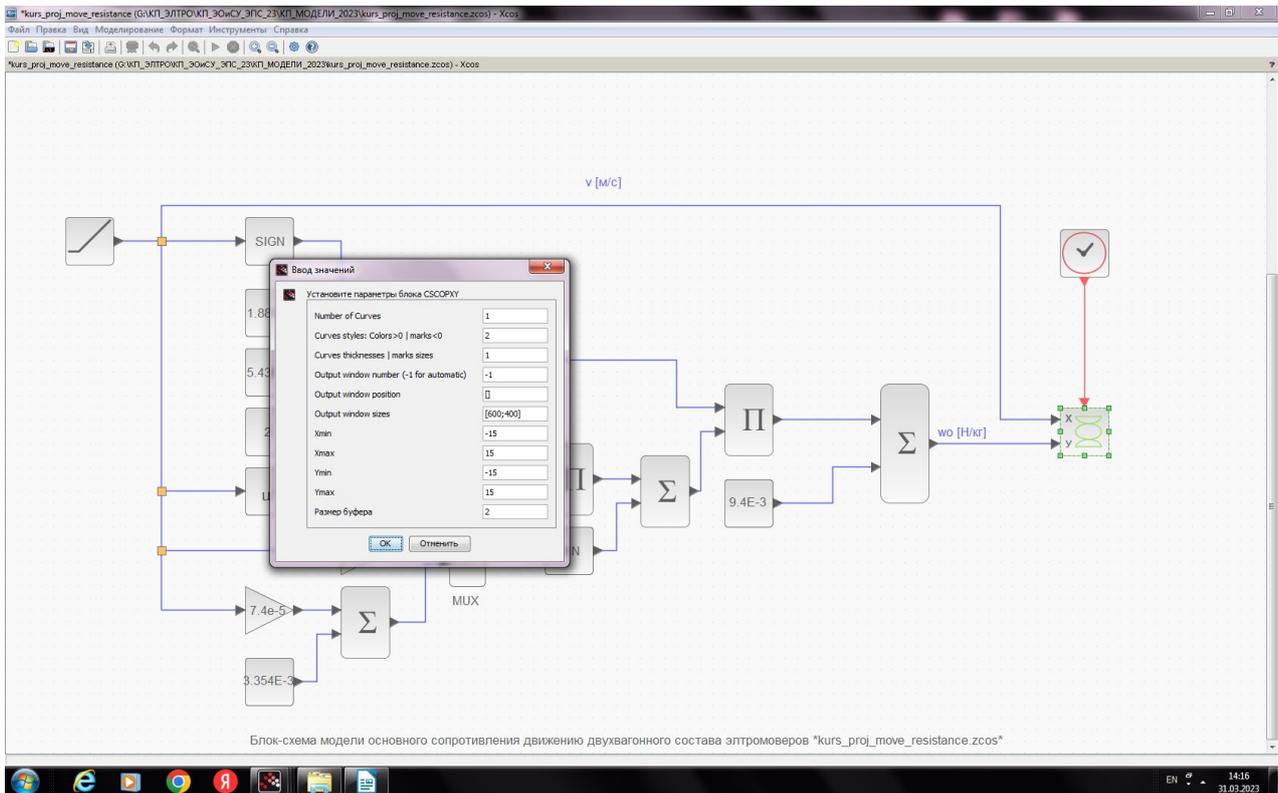


Рис. 15.

Результаты моделирования для двухвагонного состава показаны на рис. 16.

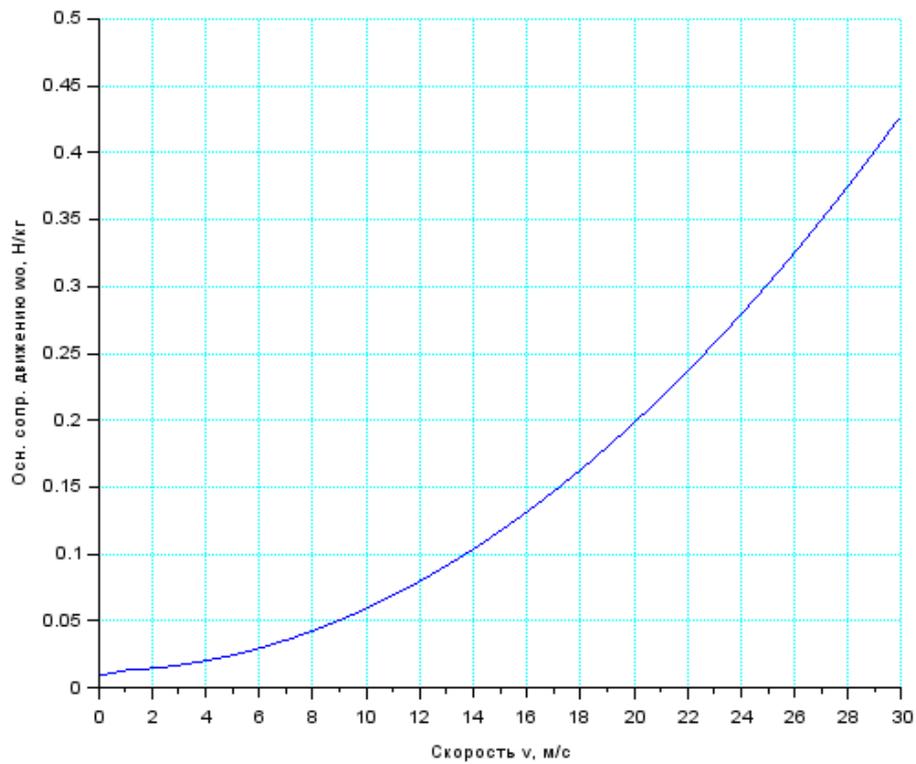
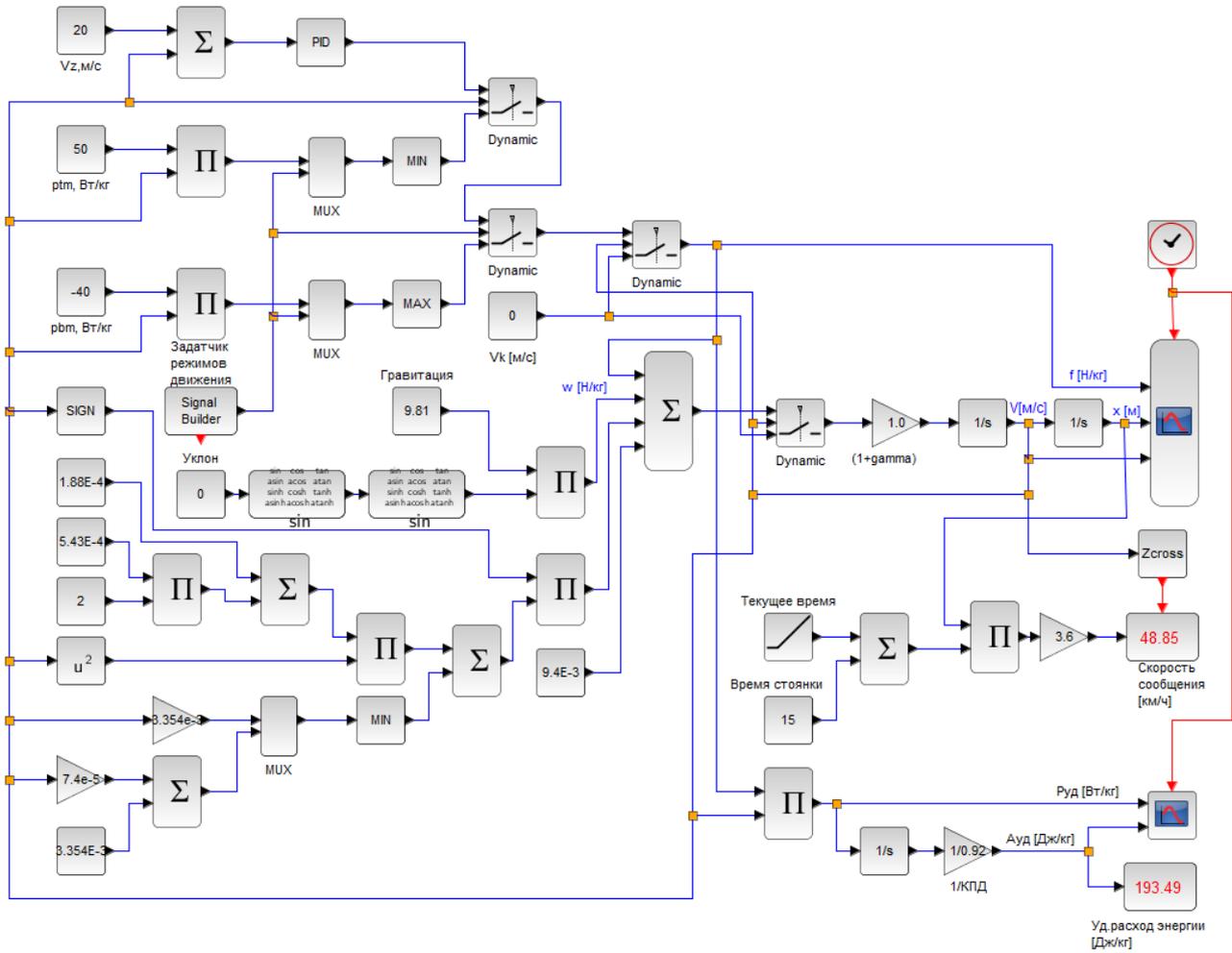


Рис. 16.

Полная блок-схема имитационной модели приведена на рис. 17.



Блок-схема модели движения элтромовера в условном цикле движения с учётом ограничений по мощности \*kurs\_proj\_move\_cicle\_zcos\*

Рис. 17.

## 4. Имитационные испытания подвижного состава

Имитационные испытания представляют собой имитационное компьютерное моделирование движения подвижного состава в условиях и режимах, оговоренных техническим заданием на проектирование заданного типа подвижного состава.

### 4.1. Движение на максимальном подъёме

#### Заданные параметры движения

Максимально преодолеваемый подъём $i_m$ , %	15
---	----

Для этого режима в блок-схеме модели (рис. 17) в блоке «Уклон» необходимо установить значение подъёма 0.15. После этого в задатчике режимов движения ( блок Signal Builder) установить значения согласно рис. 18. В результате моделирования получаем осциллограммы представленные на рис. 19.

Из полученных осциллограмм видно, что испытуемое транспортное средство преодолевает максимальный подъём.

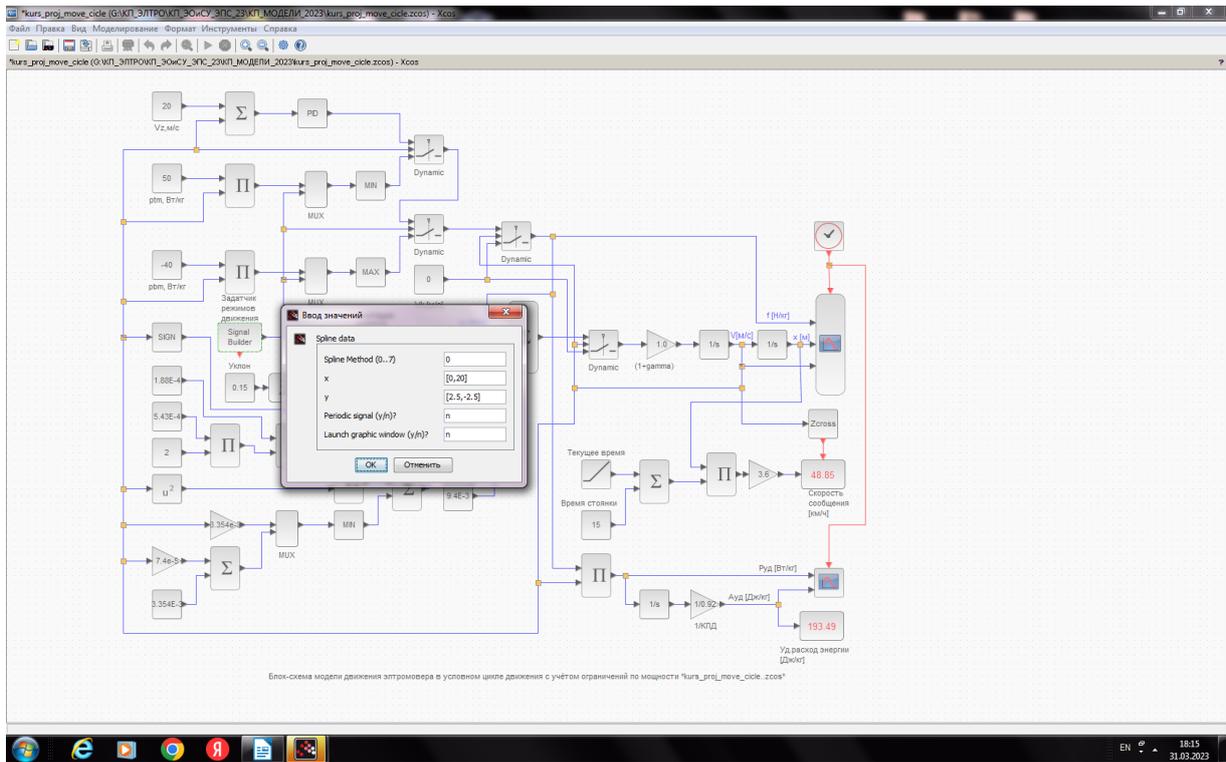


Рис. 18.

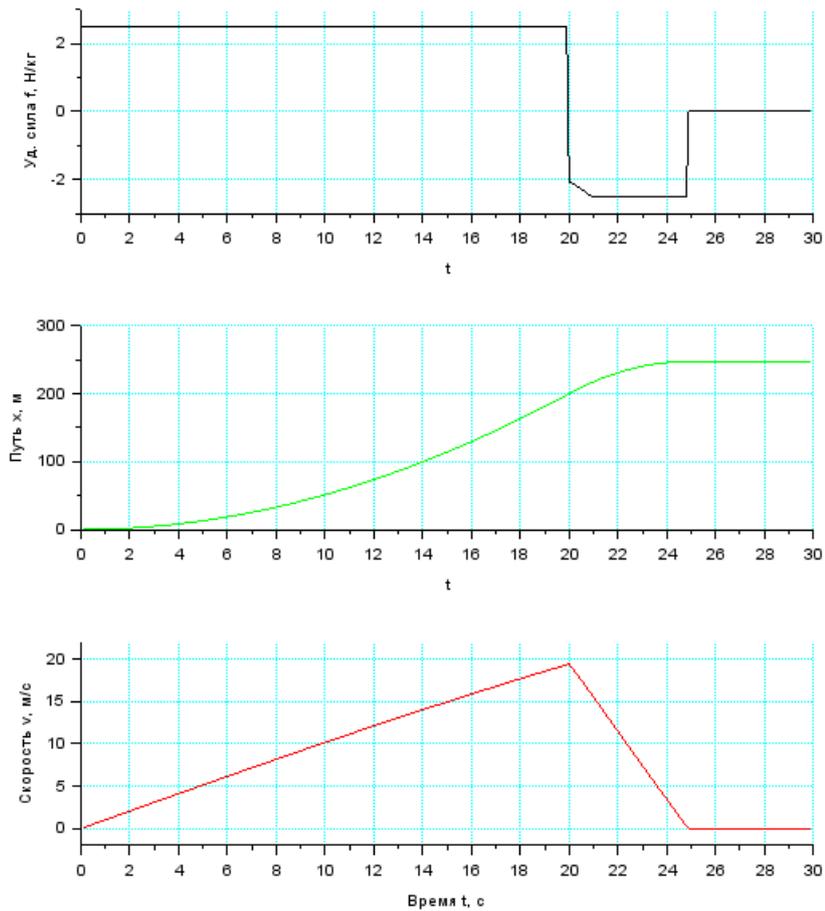


Рис. 19.

## 4.2. Движение на руководящем подъёме

### Заданные параметры движения

Руководящий подъём: Величина $i_r, \%$ длина $L_r, \text{ м}$ Установившаяся скорость $V_i, \text{ м/с}$	12 1024 20
---	------------------

Для этого режима в блок-схеме модели (рис. 17) в блоке «Уклон» необходимо установить значение подъёма 0.12. После этого в задатчике режимов движения ( блок Signal Builder) установить значения согласно рис. 18, а в блоке интегратора ускорения установить начальное значение скорости 20 м/с согласно рис. 20. В результате моделирования получаем осциллограммы представленные на рис. 21.

Из полученных осциллограмм видно, что испытуемое транспортное средство преодолевает руководящий подъём на скорости больше требуемых 20 м/с без её уменьшения.

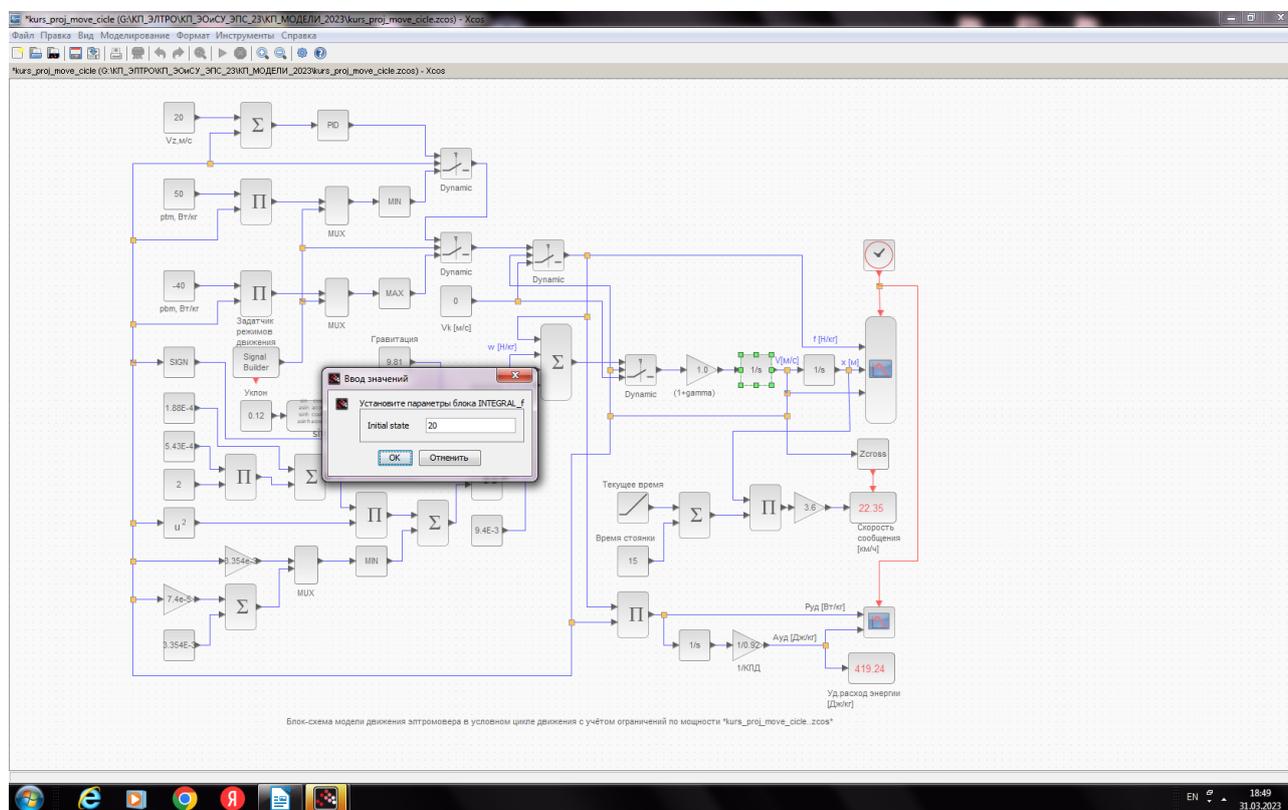


Рис. 20.

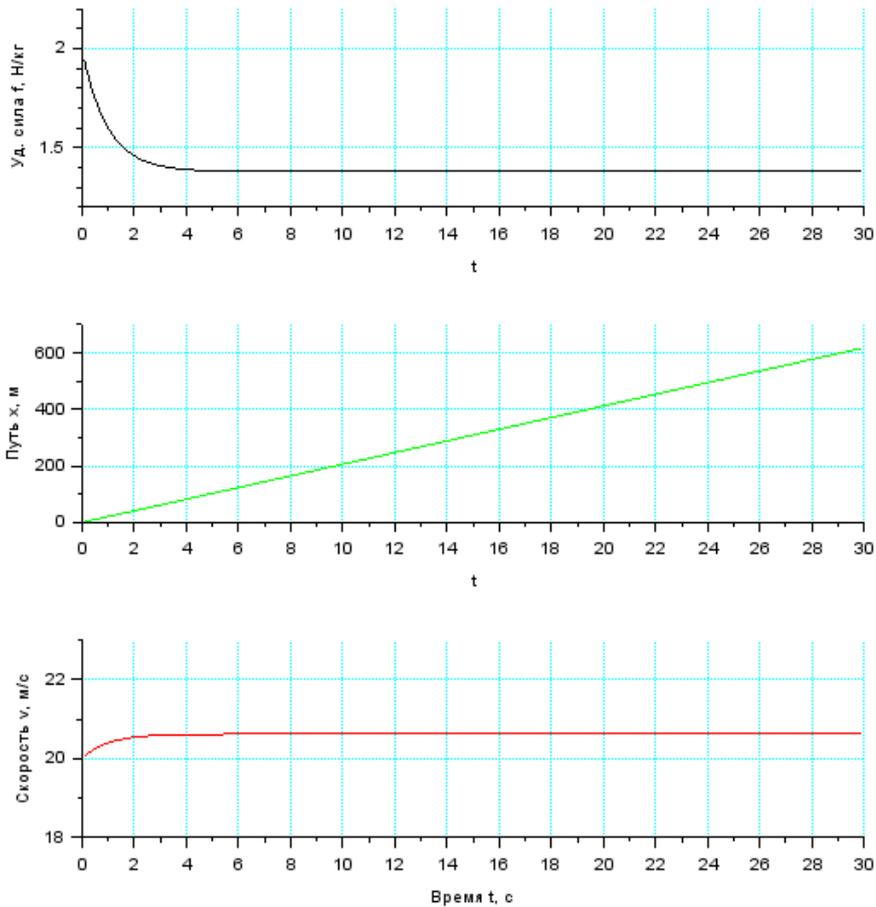


Рис. 21.

### 4.3. Разгон и торможение с максимальной скорости

#### Заданные параметры движения

Максимальная скорость установившегося движения на площадке при полной загрузке $V_m$ , м/с	32
--	----

Для этого режима в блок-схеме модели (рис. 17) в блоке «Уклон» необходимо установить значение подъёма 0. После этого в задатчике режимов движения ( блок Signal Builder) установить значения согласно рис. 18, в блоке стабилизации скорости установить значение скорости равное или большее требуемой максимальной скорости согласно рис. 22.

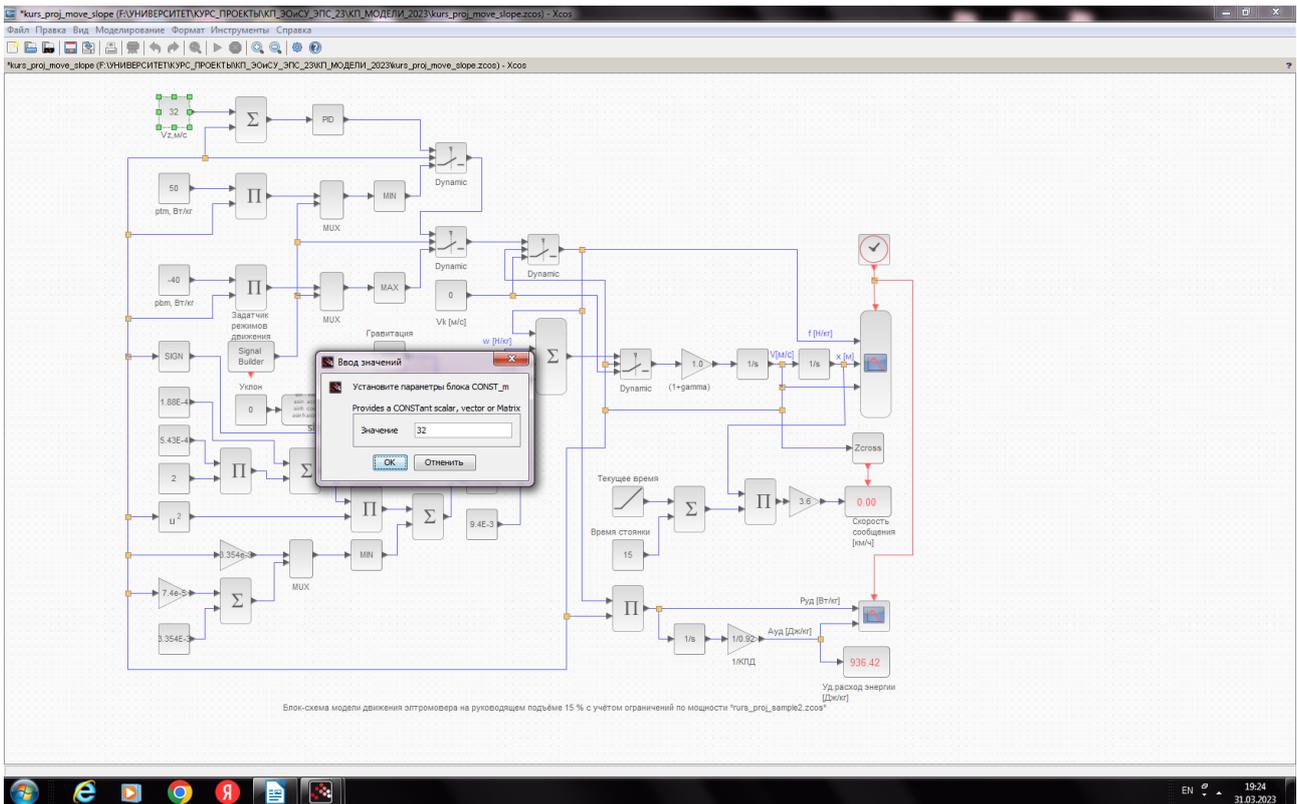


Рис. 22.

Также в переключателе скоростного режима (блок Dynamics) необходимо установить значение скорости переключения чуть меньшее, чем значение ограничения скорости, например, как на рис. 23.

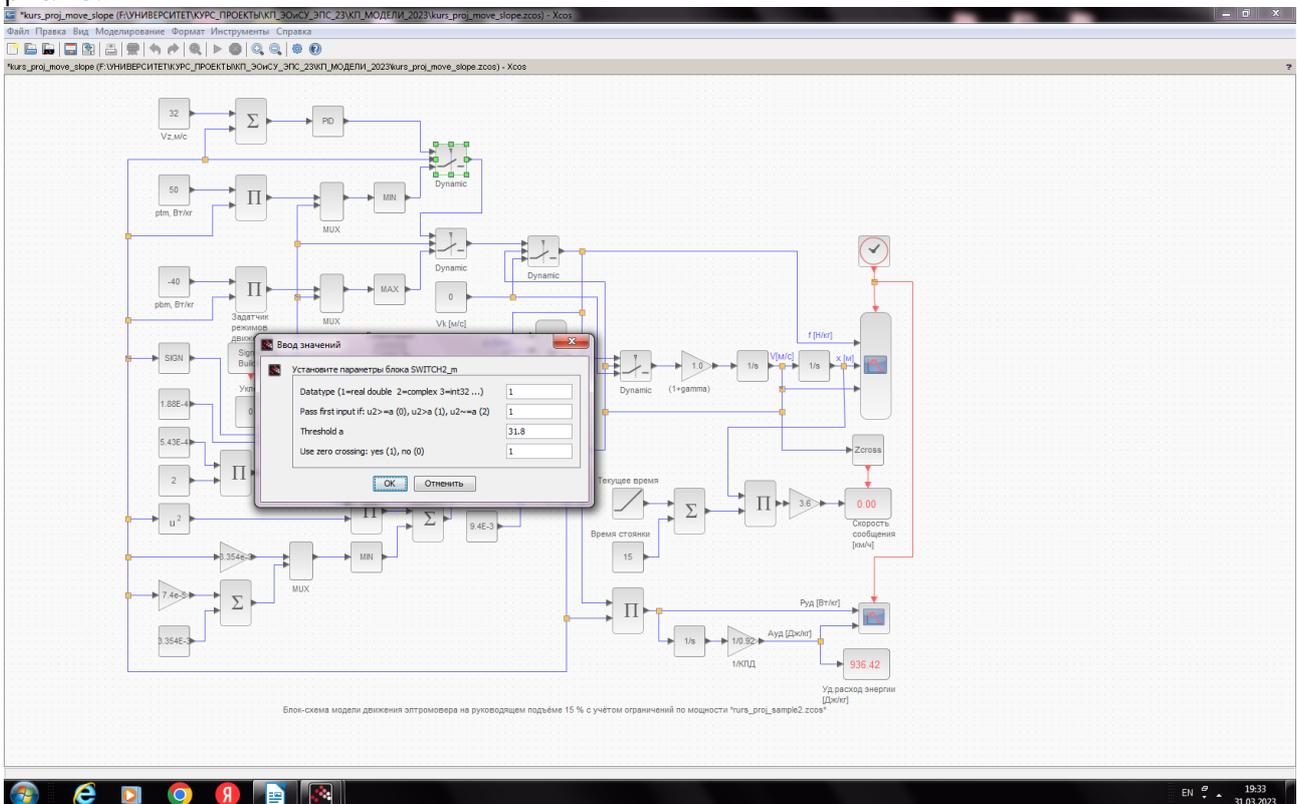


Рис. 23.

В результате моделирования получаем осциллограммы представленные на рис. 24 и 25.

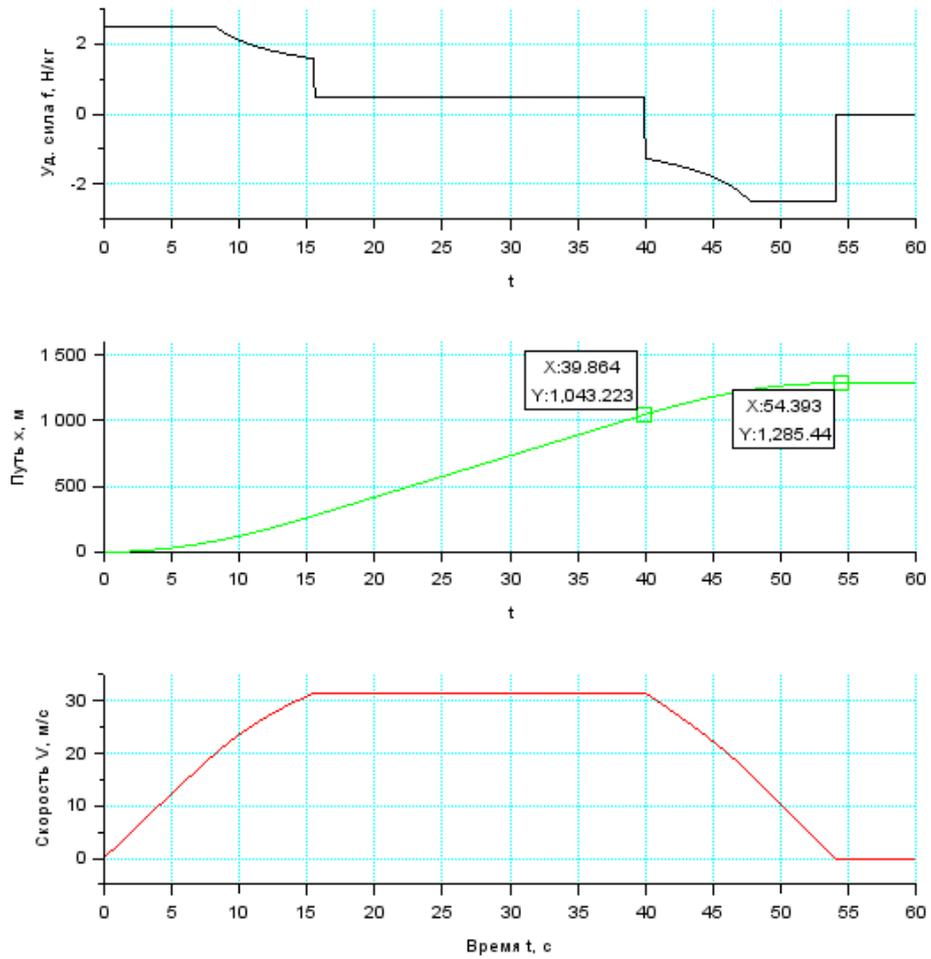


Рис. 24.

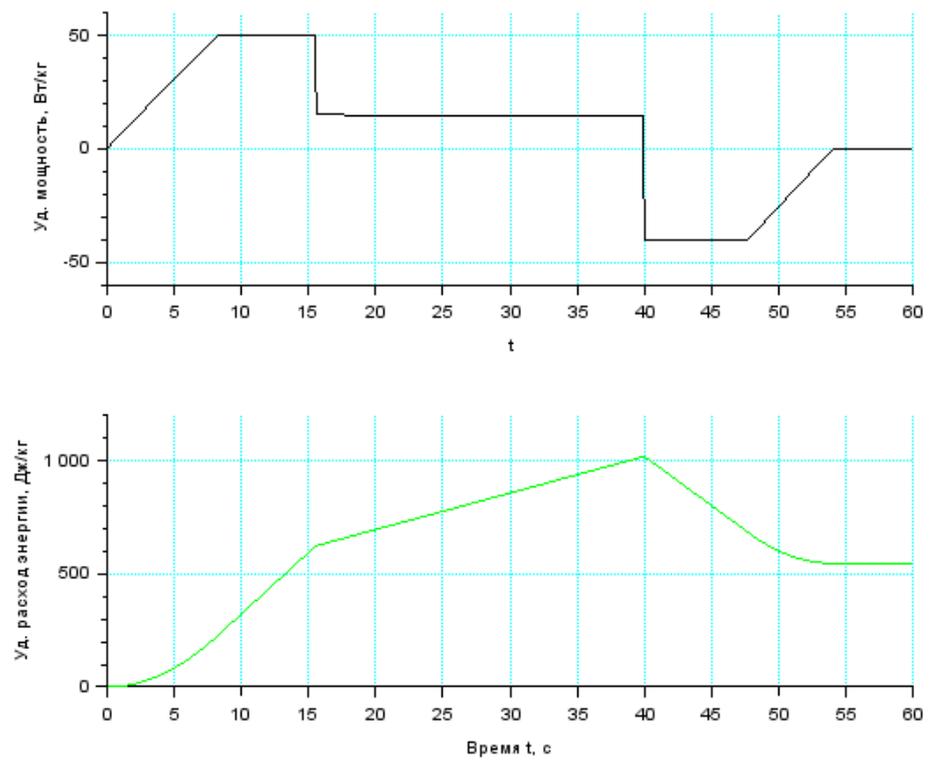


Рис. 25.

Из полученных осциллограмм видно, что испытуемое транспортное средство разгоняется до требуемой максимальной скорости 32 м/с, а тормозной путь с максимальной скорости составляет  $1285 - 1043 = 242$  м.

#### 4.4. Условный цикл движения

##### Заданные параметры условного цикла движения

Разгон до 20 м/с не более, чем за 10 с, движение со скоростью 20 м/с, торможение до остановки на пути 125 м, стоянка 20 с, длина перегона 1000 м.

Параметры цикла движения определяются из предельного пассажиропотока при движении по магистрали с остановками на каждом остановочном пункте (Рис. 26).



Рис. 26.

Блок-схема имитационной модели для условного цикла движения приведена на рис. 27.

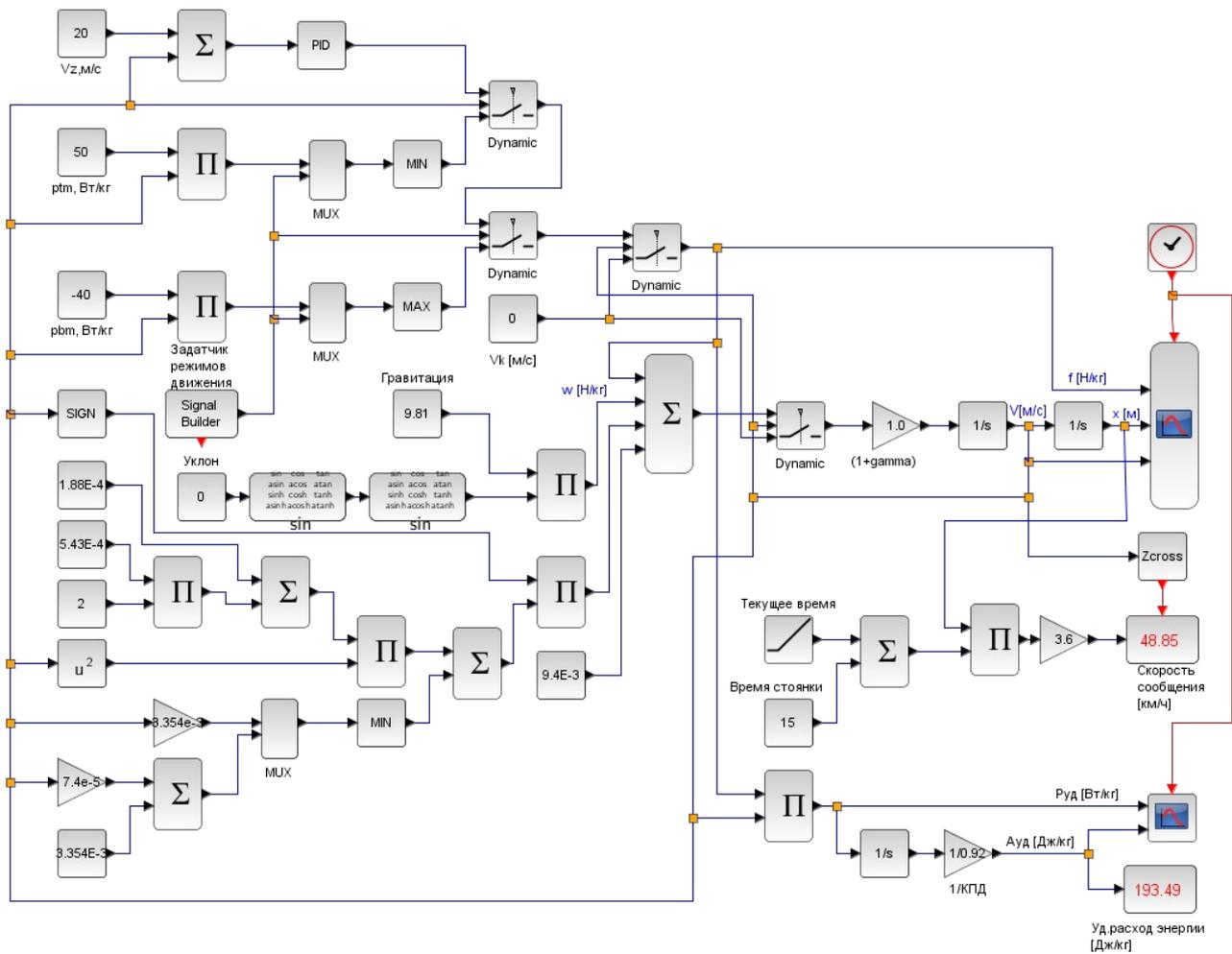


Рис. 27.

Установки параметров модели приведены на рис. 28... 38.

Параметры моделирования	
Конечное время интегрирования	6.0E01
Количество секунд в единице времени	0.0E00
Абсолютная погрешность интегрирования	1.0E-06
Относительная погрешность интегрирования	1.0E-06
Погрешность по времени	1.0E-10
Максимальный временной интервал интегрирования	1.00001E05
Вид программы решения	Sundials/CVODE - BDF - NEWTON
Максимальный размер шага (0 означает "без ограничения")	0.0E00
Установить контекст	
<input type="button" value="OK"/> <input type="button" value="Отменить"/> <input type="button" value="По умолчанию"/>	

Рис. 28. Окно параметров моделирования.

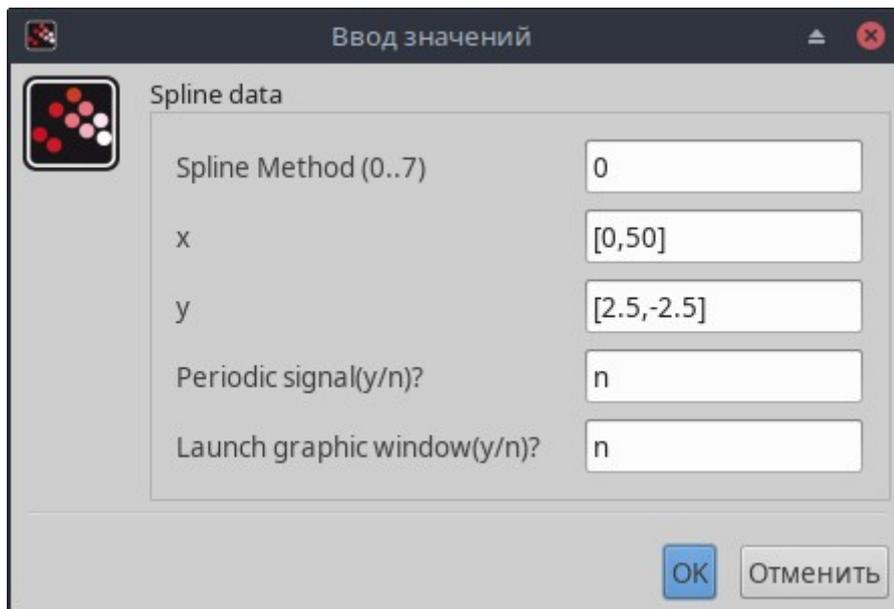


Рис. 29. Окно параметров блока Signal Builder.

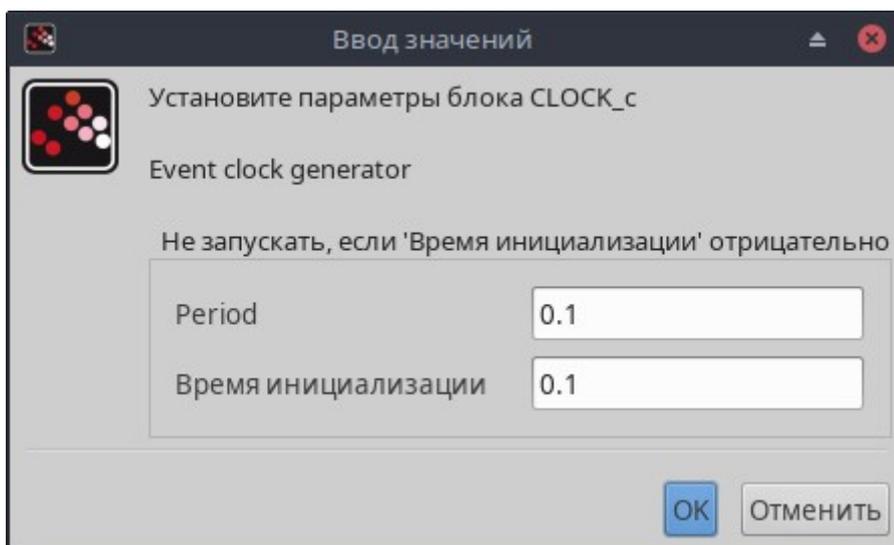


Рис. 30.

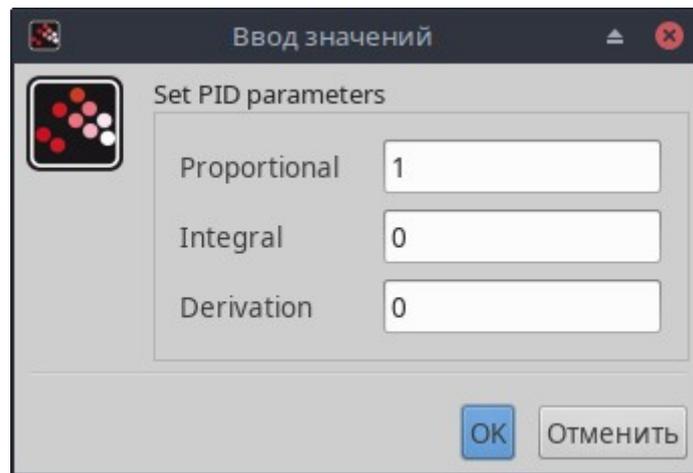


Рис. 31.

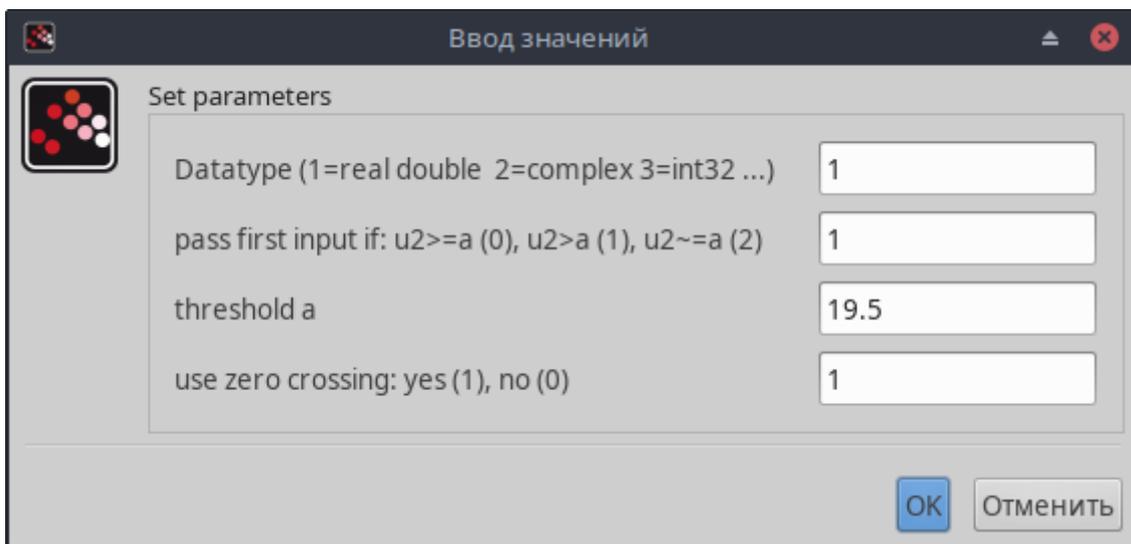


Рис. 32. Окно параметров блока Switch1.

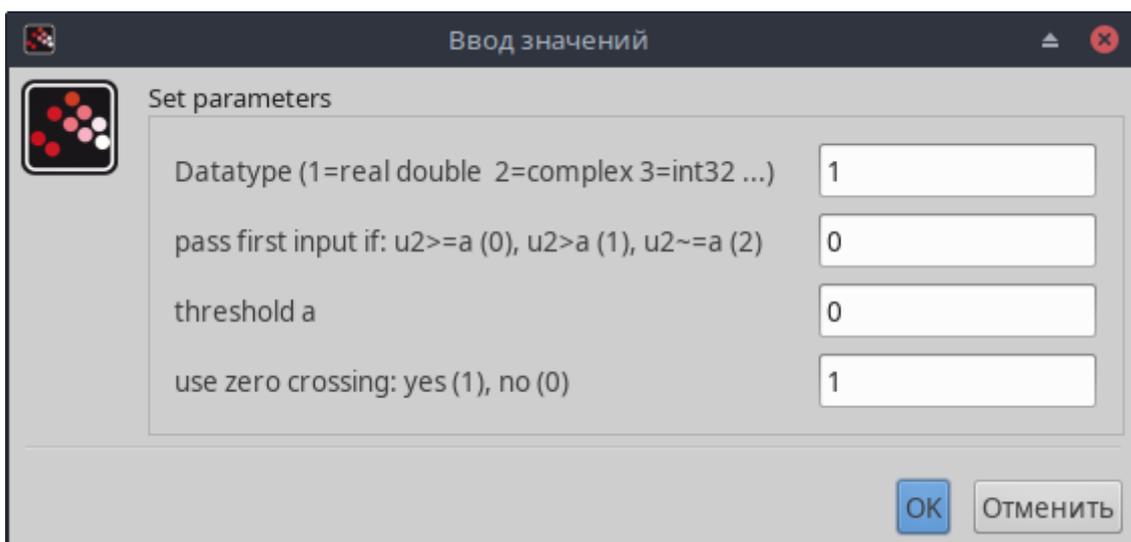


Рис. 33. Окно параметров блока Switch2.

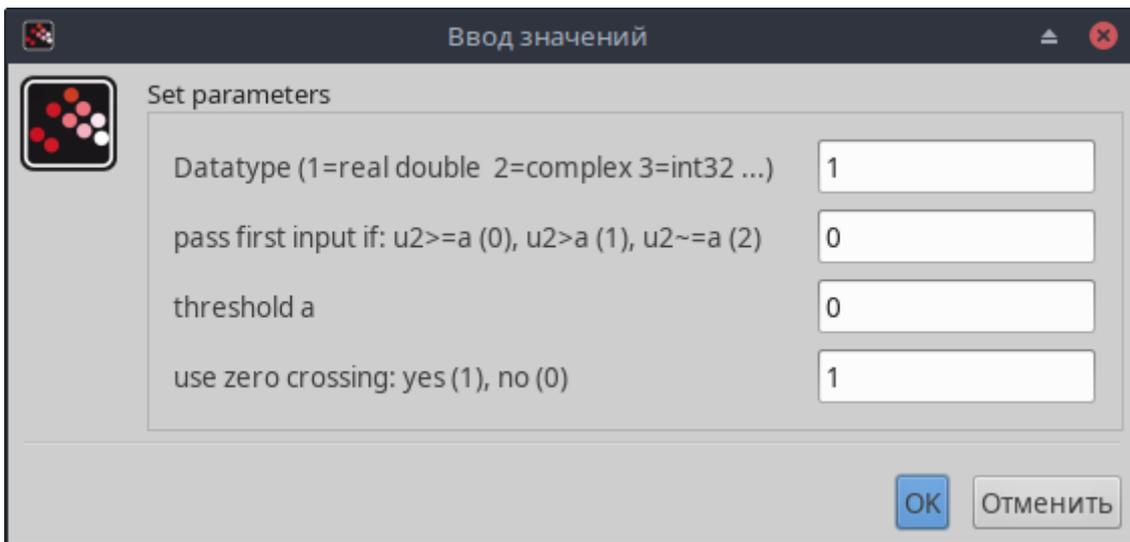


Рис. 34. Окно параметров блока Switch3.

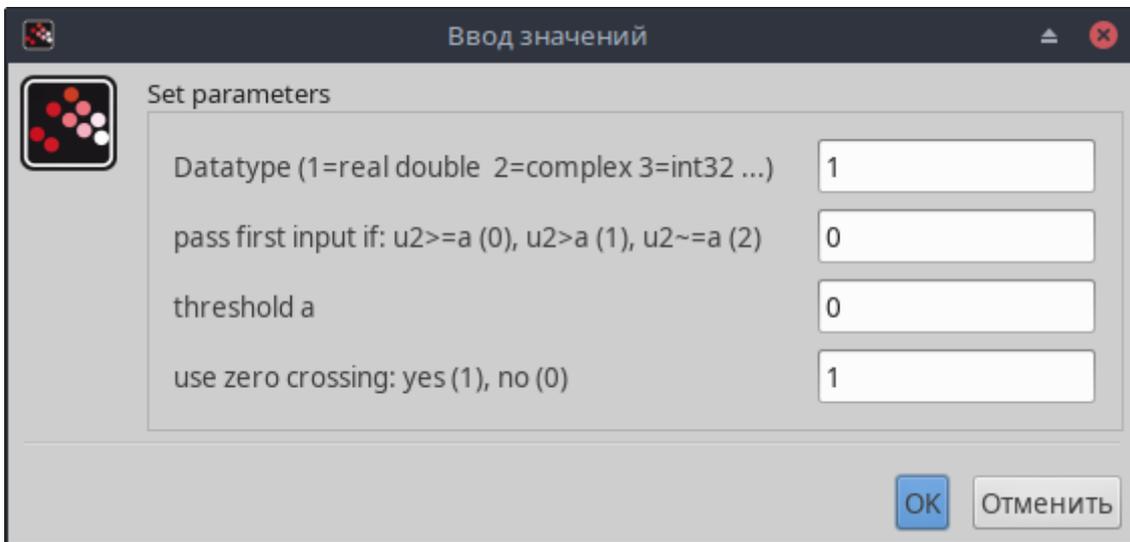


Рис. 35. Окно параметров блока Switch4.

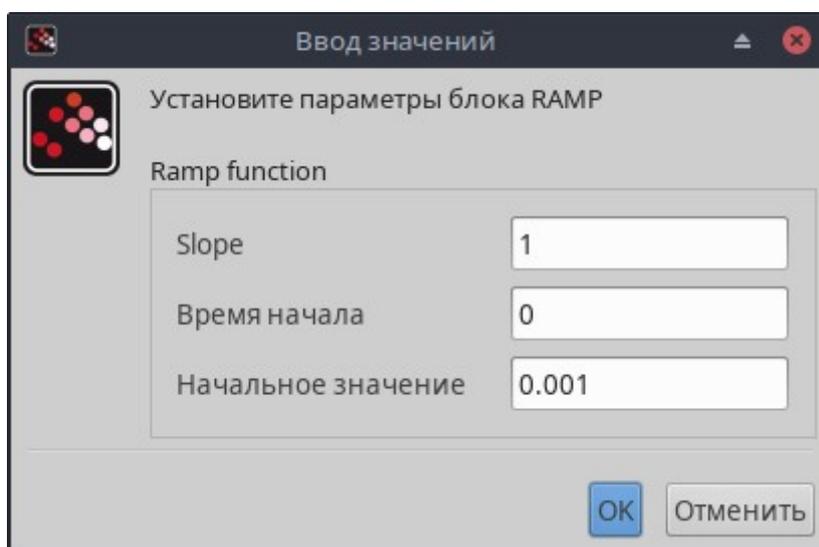


Рис. 36.

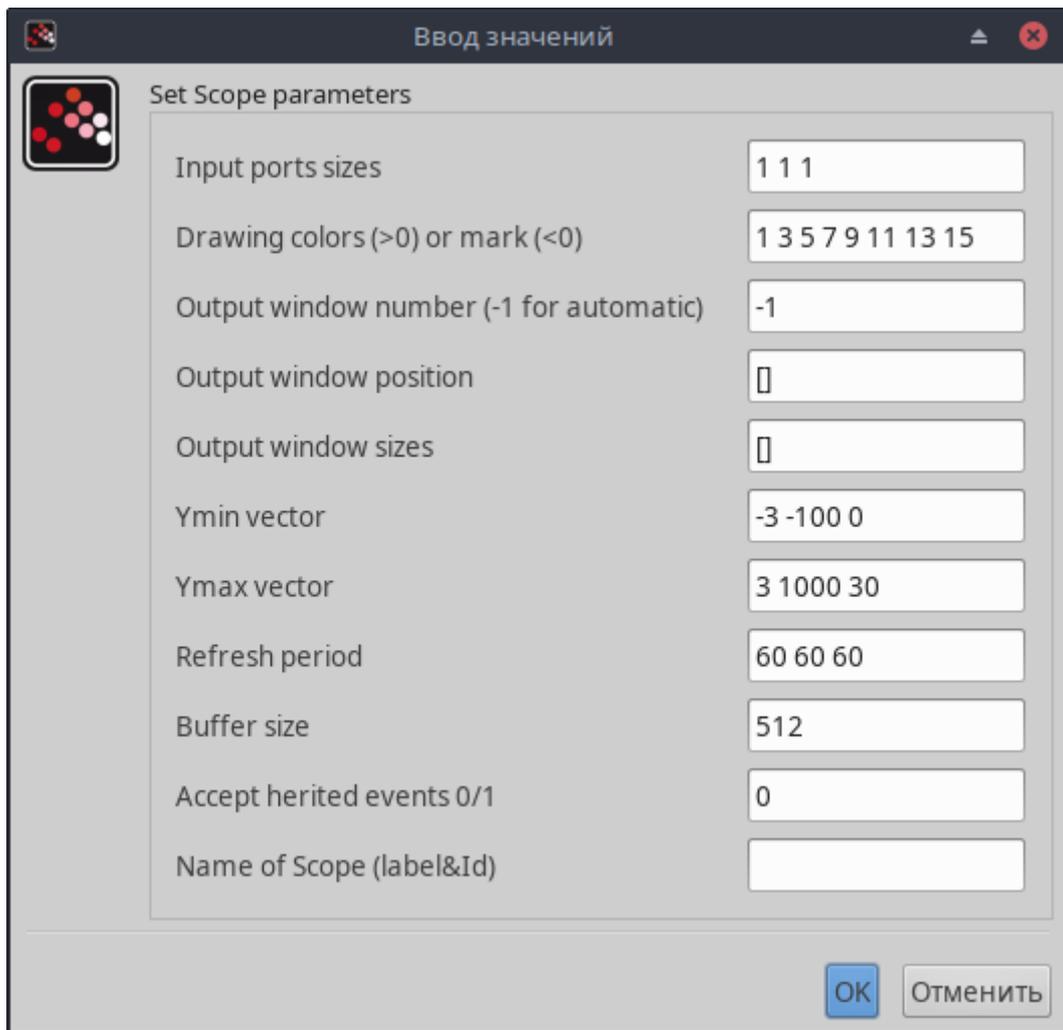


Рис. 37.

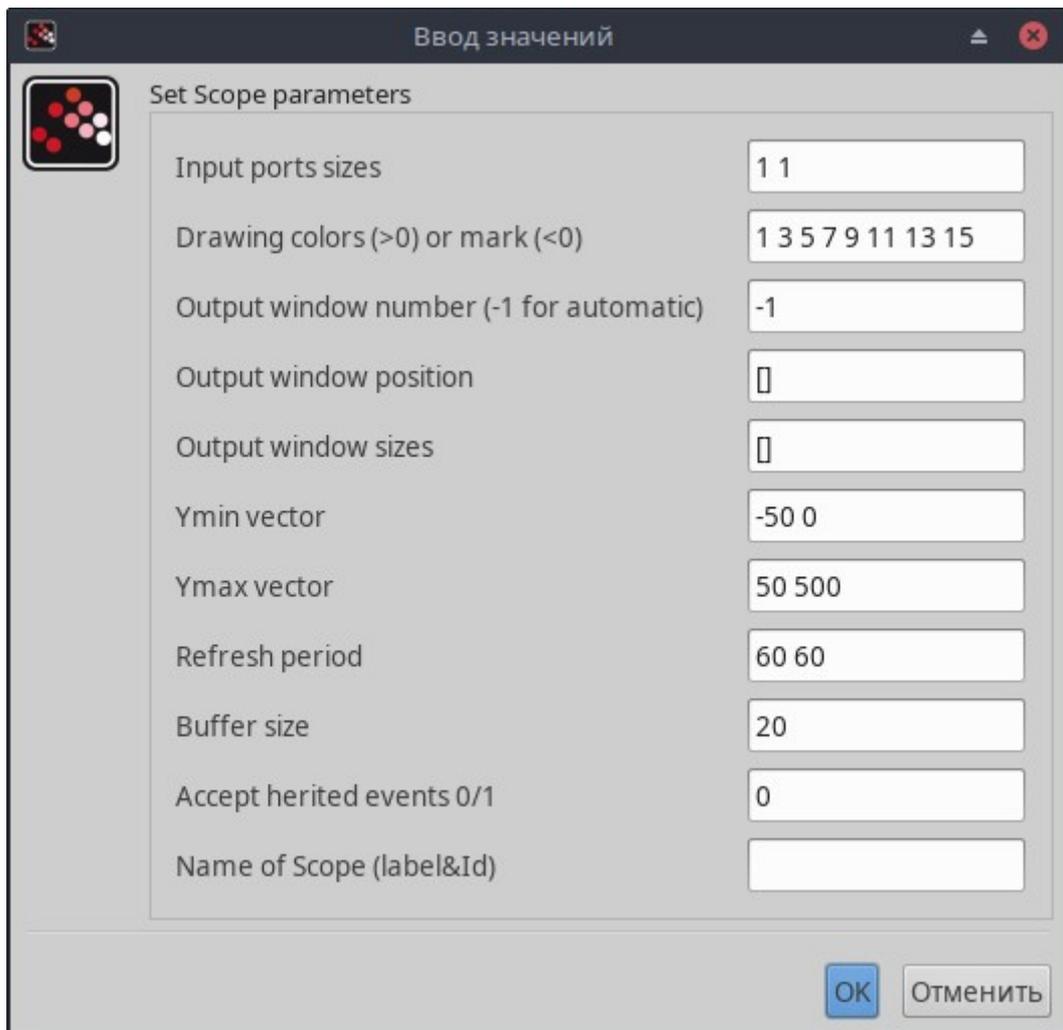


Рис. 38.

Результаты имитационного моделирования приведены на рис. 39 и 40.

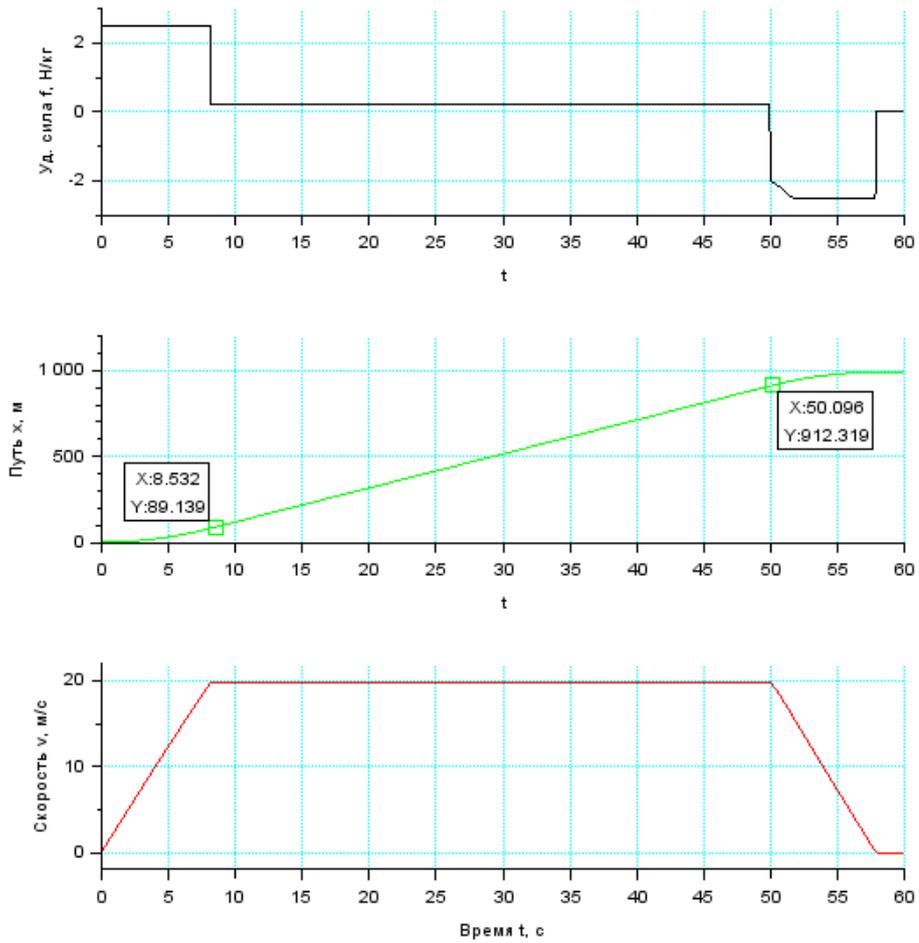


Рис. 39.

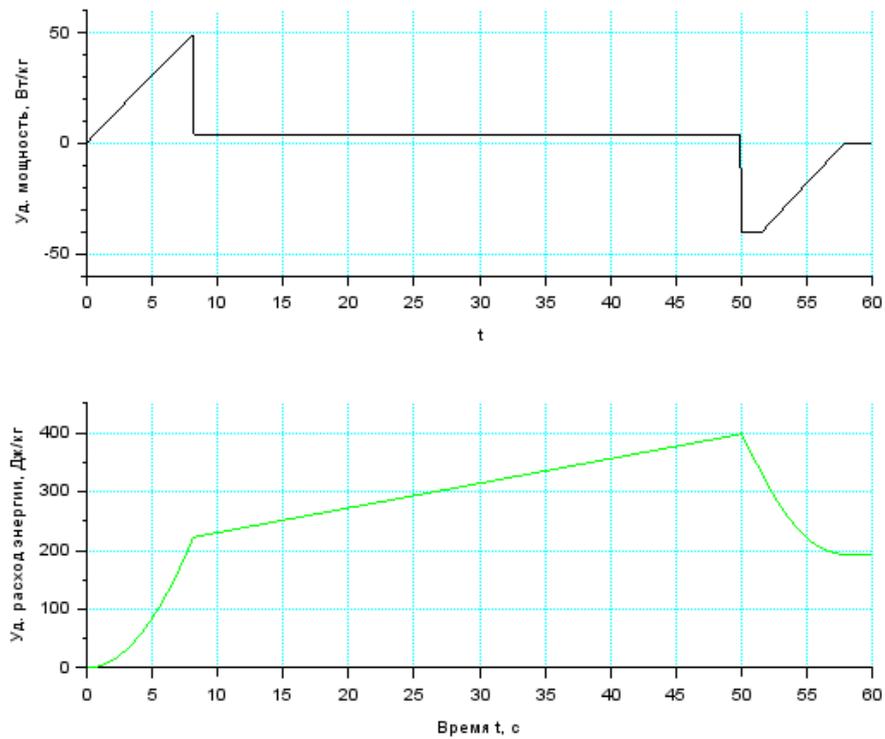


Рис. 40.

## 5. Результаты имитационных испытаний подвижного состава

Сравнение и оценка результатов имитационных испытаний с параметрами, заданными в техническом задании на разработку подвижного состава, сведены в таблицу 3.

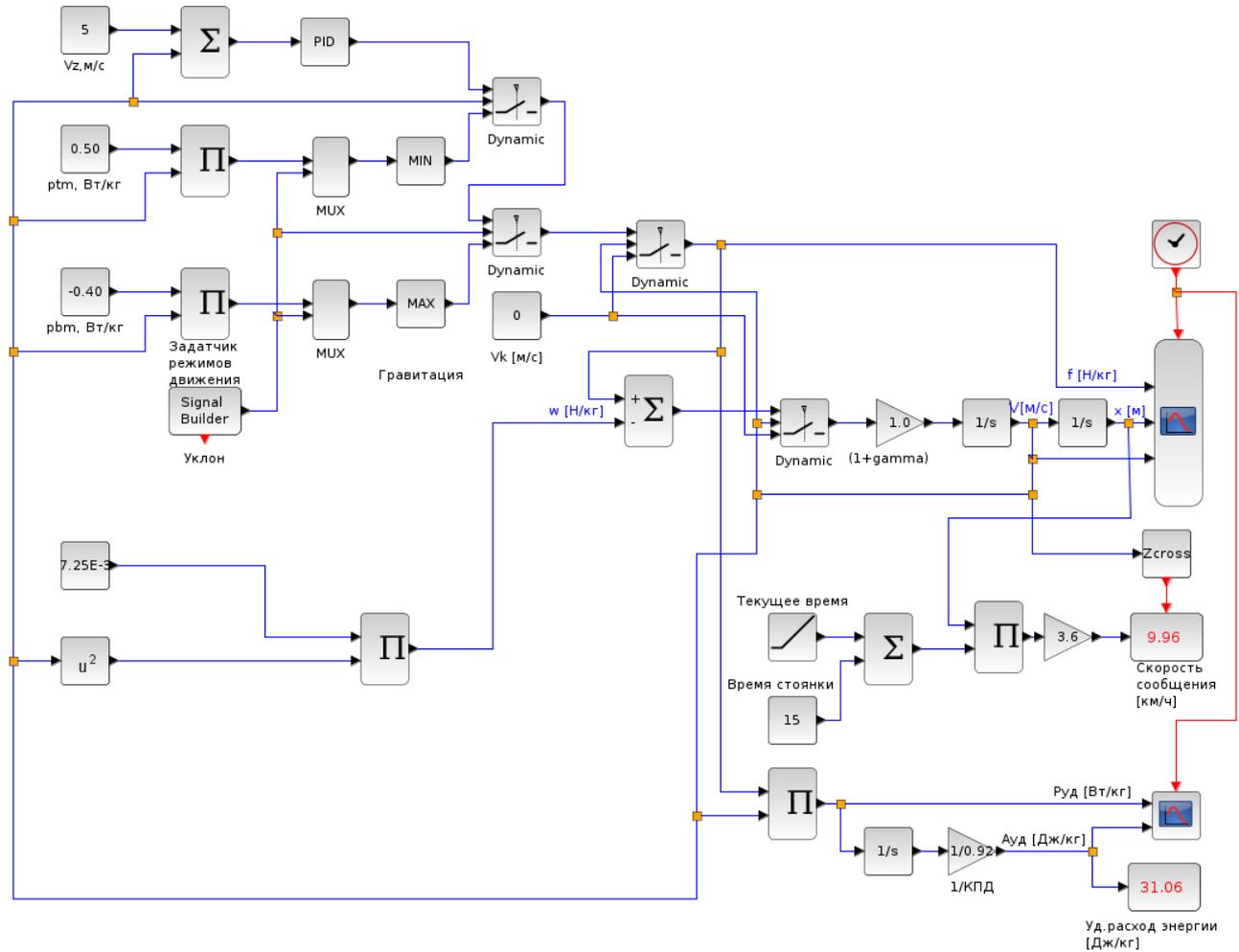
Таблица 3.

Контролируемые параметры	По результатам испытаний	По техническом у заданию	Оценка результатов
Максимальная скорость установившегося движения на площадке при полной загрузке $V_m$ , м/с	32	32	+
Максимально преодолеваемый подъём $i_m$ , %	15	15	+
Руководящий подъём: Величина $i_r$ , %	12	12	+
длина $L_r$ , м	1024	1024	+
Установившаяся скорость $V_i$ , м/с	22	20	+
Длительность $t_{ov}$ разгона, с до скорости, 20 м/с	8	10	+
Тормозной путь $S_b$ на горизонтальном прямом участке пути при номинальной загрузке при служебном электрическом торможении, м со скорости, 20 м/с	112	Не более 125	+
Цикл движения	Разгон до 20 м/с за 8.5 с, движение со скоростью 20 м/с, торможение до остановки на пути 112 м, стоянка 12 с, длина перегона 1024 м.	Разгон до 20 м/с за 10 с, движение со скоростью 20 м/с, торможение до остановки на пути 125 м, стоянка 12 с, длина перегона 1024 м.	+
Скорость сообщения в цикле движения, км/ч	48.85	45	+
Удельный расход энергии в цикле движения, Вт*ч/т*км	193.49/3.6 =53.75	60	+

## Выводы

Значения параметров, полученные в результате проведения имитационных испытаний транспортного средства удовлетворяют заданным параметрам технического задания.

## 6. Пример моделирования фотоэлектрической яхты



Блок-схема модели движения фотоэлектрической яхты в условном цикле движения с учётом ограничений по мощности \*MOVE\_cicle\_fey.zos\*

Рис. 41.

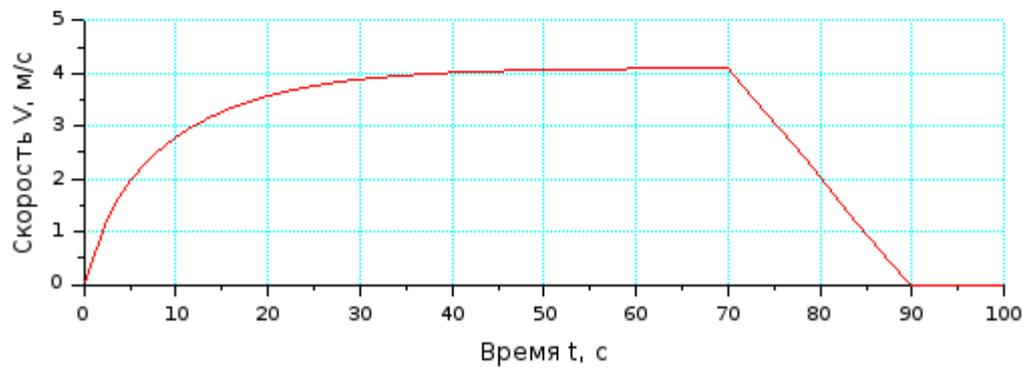
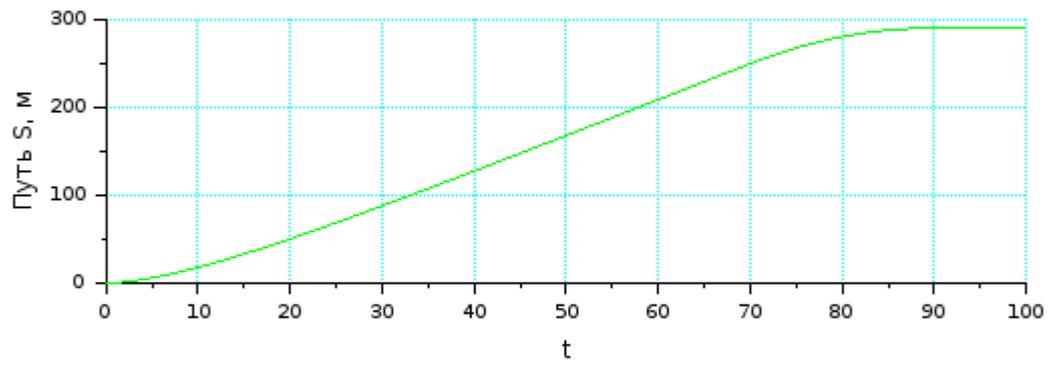
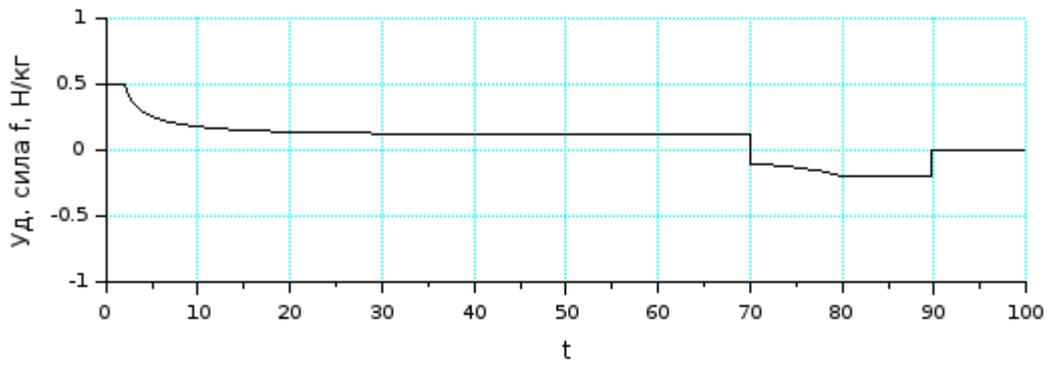


Рис. 42.

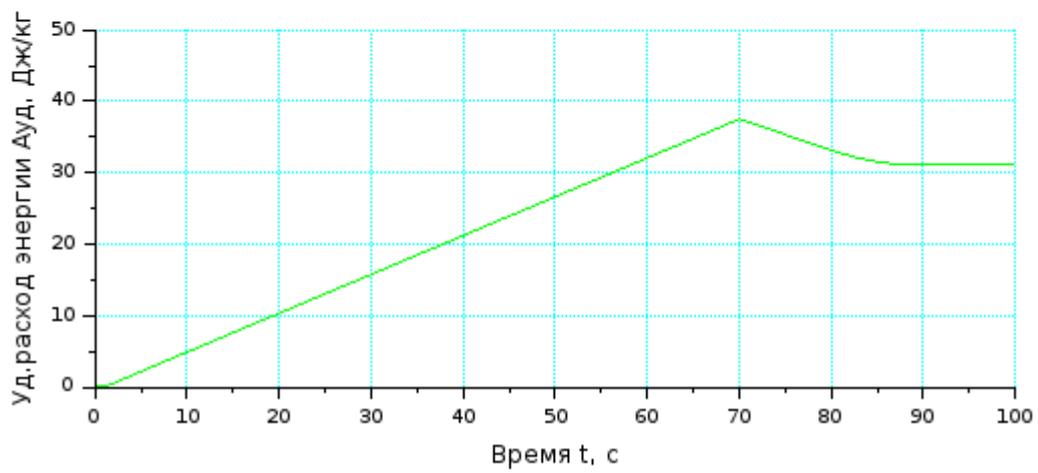
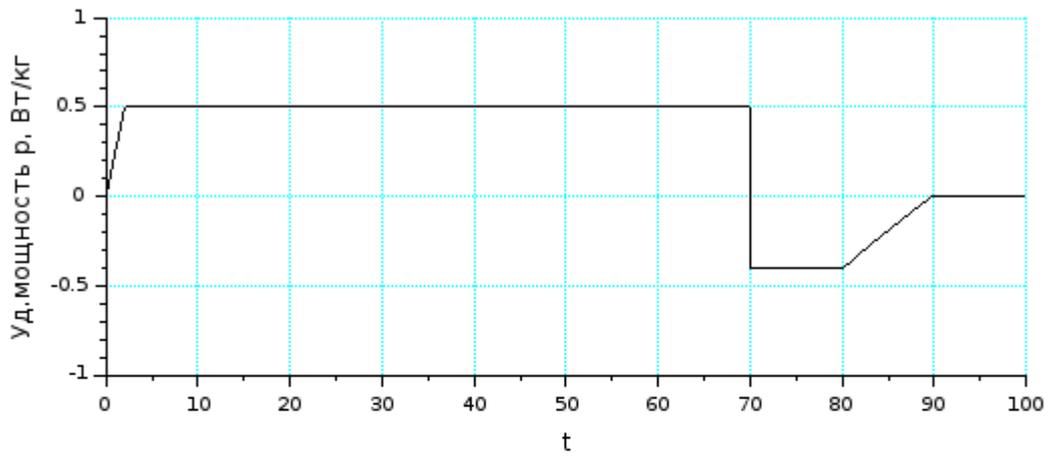


Рис. 43.