



Износ профилей колес и рельсов

Руководство пользователя

2010

Рассматриваются математические модели, используемые для прогнозирования износа профилей колес и рельсов, а также вопросы применения специализированного модуля программного комплекса «Универсальный механизм»

Оглавление

16. ОПИСАНИЕ МОДУЛЯ КОМПЛЕКСА УМ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ИЗНОСА ПРОФИЛЯ КОЛЕС И РЕЛЬСОВ	3
16.1. Общие положения	3
16.2. Модели интенсивности изнашивания	7
16.3. Пример создания и анализа проекта эволюции профиля колеса	9
16.3.1. Описание проекта эволюции профиля колеса	9
16.3.2. Создание нового проекта	9
16.3.3. Добавление новой модели к проекту сканирования	11
16.1.1. Описание иерархии параметров	12
16.1.2. Настройка железнодорожных параметров	14
16.1.3. Настройка условий завершения	17
16.1.4. Копирование семейств	19
16.1.5. Настройка параметров эволюции профиля	21
16.1.6. Прерывание и продолжение расчетов	24
16.1.7. Обработка результатов	24
16.4. Расчет нагруженности колесных пар	28
Список литературы	30

16. Описание модуля комплекса УМ прогнозирования износа профиля колес и рельсов

16.1. Общие положения

Прогнозирование износа профилей железнодорожных колес и рельсов в программном комплексе «Универсальный механизм» организовано на базе модуля сканирования **УМ Experiments**. Предполагается, что пользователь уже хорошо знаком с понятиями и структурой модуля сканирования и имеет опыт работы с ним. Подробное описание модуля **УМ Experiments** см. в **Главе**.

Для построения проекта износа профилей колес и рельсов модуль сканирования дополнен понятием *эволюции*. Под эволюцией понимается серия многовариантных расчетов (МВР) одинаковой структуры – *итераций* износа, отличающихся друг от друга *изменяемыми внешними условиями*. В случае прогнозирования износа профиля колеса изменяемыми внешними условиями являются формы профилей колес, изменяющиеся в конце каждого МВР (итерации) в соответствии с трибологической моделью износа, а в случае расчета износа рельса изменяемые внешние условия – профили рельсов. В течение одной итерации профили не меняются – изменение происходит после окончания итерации. Иначе говоря, если проект эволюции профиля колеса состоит из 10 итераций, это значит, что будет произведено 10 изменений профилей колес исследуемого экипажа.

Очевидно, что при расчете износа профиля колеса проводится моделирование динамики некоторого конкретного рельсового экипажа (износ колес которого и изучается), на различных участках пути с различными скоростями, массой экипажа и т.д. Поэтому подразумевается, что при расчете износа профилей колес МВР будет содержать одну и ту же модель рельсового экипажа в разных семействах альтернатив. В противном случае это может привести к непредсказуемым результатам, например, если модели содержат разное количество колесных пар.

Например, если необходимо исследовать износ колес грузового вагона на железнодорожном пути, который состоит из прямых участков, кривых $R = 300$ м и кривых $R = 600$ м, то в этом случае необходимо добавить 3 одинаковых семейства в МВР. Советуем добавить одно семейство, а потом копировать его и изменять параметры пути. Каждое семейство будет представлять собой расчет на отдельном участке пути (прямая, кривая $R = 300$ м и кривая $R = 600$ м). Суммарный износ будет получен с учетом весов отдельных участков в пути исследуемой конфигурации.

Кроме того, иерархия параметров семейства может содержать в качестве параметров только идентификатор скорости v_0 – хорошо бы исправить в УМ.

Рассмотрим математическую модель съема профиля **колеса** после одного МВР. Пусть $F = \{F_i\}$, $i = 1, \dots, N_F$ – множество семейств в задании МВ. Каждое семейство

это расчет динамики экипажа при заданных внешних условиях на заданном множестве скоростей, $F_i = \{V_{ij}\}$, $j = 1, \dots, N_{vi}$. Здесь V_{ij} – отдельный динамический расчет при заданной скорости движения. В рамках одного МВР внешними условиями являются

- неровности
- тип пути (прямая, кривая, стрелочный перевод)
- профили левого и правого рельсов (или профили колес)
- параметры кривой или стрелочного перевода

Рассмотрим пример. Пусть МВР содержит три семейства $F = \{F_1, F_2, F_3\}$, при этом F_1 – движение в прямой, F_2, F_3 – движение в кривой $R = 300, 600$ м. Таким образом, $N_F = 3$. Множества скоростей для каждого из семейств следующие:

$$F_1 = \{15, 20, 25\}, F_2 = \{13\}, F_3 = \{15, 18, 21\},$$

скорости заданы в м/с.

Для каждого семейства МВР вводятся безразмерные весовые коэффициенты, определяющие долю внешних условий на участке дороги, для которого прогнозируется износ

$$\alpha_i, i = 1, \dots, N_F.$$

Весовой коэффициент α_i имеет смысл доли внешних условий, соответствующих альтернативе F_i , на исследуемом участке дороги и определяется по формуле

$$\alpha_i = \frac{s_i}{s}, \sum_{i=1}^{N_F} \alpha_i = 1,$$

где s – длина участка дороги, s_i – суммарная длина участков, соответствующих альтернативе F_i , например, суммарная длина кривых $R = 600$ м, включая длины переходных участков.

Предусмотрена возможность упрощенного расчета, при котором предполагается, что длины левых и правых кривых одного радиуса одинаковы, и профили левого и правого колес изнашиваются равномерно. В этом случае для учета движения в кривых следует ограничиться только альтернативами, соответствующими правым кривым. В противном случае следует предусмотреть альтернативы, отдельно соответствующие движению в левых и правых кривых.

Для каждого семейства должны быть заданы также весовые коэффициенты каждой скорости

$$\beta_{ij}, \sum_{j=1}^{N_{vi}} \beta_{ij} = 1$$

определяющие гистограмму скоростей для данного семейства.

Понятие “проезд вперед и назад” учитывает возможное движение рельсового экипажа в прямом и обратном направлении исследуемого участка дороги без разворота. В этом случае износ профилей колес, симметричных относительно центра экипажа, одинаков.

Пусть $e_{ijk,l}, e_{ijk,r}$ – эпюры износа вдоль профиля левого и правого колеса колесной пары с номером k , изменяемые в миллиметрах, рассчитанные в результате моделирования динамики экипажа по трибологической модели для альтернативы F_i при движении со скоростью V_{ij} . Для сглаживания эпюр износа используется В-сплайн, проведенный по расчетным точкам. Шаг расчета несглаженной эпюры задается пользователем, значение по умолчанию 1 мм.

Для расчета результирующих эпюр $e_{k,l}, e_{k,r}$, соответствующих износу, приведенному к одному условному метру участка дороги (интенсивность износа), выполняются следующие действия:

- в случае симметричного износа левого и правого профиля отдельной колесной пары, производится осреднение

$$e_{ijk,r} := (e_{ijk,r} + e_{ijk,l}) / 2,$$

$$e_{ijk,l} := e_{ijk,r},$$

- в случае движения “вперед и назад” производится осреднение эпюр для симметричных относительно центра экипажа колес

$$e_{ijk,w} := (e_{ijk,w} + e_{ij(N-k+1),w}) / 2, \quad w = l, r,$$

где N – число колесных пар в экипаже.

- определяется усредненная эпюра износа на один метр для данного МВР по формуле

$$e_{k,w} = \sum_{i=1}^{N_F} \alpha_i \sum_{j=1}^{N_{vi}} \beta_{ij} \frac{e_{ijk,w}}{s_i}, \quad w = l, r$$

Затем производится съем профиля в следующей последовательности:

- определяется абсолютное максимальное значение эпюр интенсивности износа для всех колес

$$e_m = \max_k \{ \max\{e_{k,l}\}, \max\{e_{k,r}\} \}$$

- рассчитывается пробег S , соответствующий заданному пользователем максимальному значению съема материала профиля δ на одной итерации эволюции

$$S = \frac{\delta}{e_m},$$

значение по умолчанию $\delta = 0.1$ мм.

- производится съем функции профиля для каждого колеса или рельса на величину

$$e_{k,w} S, w = l, r$$

с заданным пользователем шагом по профилю, значение шага по умолчанию – 2 мм

- строится новая функция профиля с использованием бета-сплайнов, что обеспечивает сглаживание профиля.

После этого осуществляется переход к новой итерации эволюционного процесса.

Обращаем внимание, что описанный алгоритм обеспечивает двукратное сглаживание: на этапе определения эпюр износа и на этапе съема функции профиля. Сглаживание эпюр износа может быть отключено, см. п. 16.1.5.

16.2. Модели интенсивности изнашивания

В УМ используются следующие модели изнашивания профилей колес:

1. Модель Арчарда.

Эта модель основана на гипотезе о линейной зависимости между объемным износом I и работой сил трения A :

$$I = k_v A,$$

где I – объемный износ, м³,

k_v – коэффициент объемного износа, м³/Дж,

A – работа сил трения, Дж.

2. Модель Шпехта.

Эта модель также использует линейную зависимость между массовым износом и работой сил трения, но предполагается, что существуют две зоны: умеренного и интенсивного износа с разными коэффициентами износа:

$$\begin{cases} I = k_v A, & w < w_{кр}, \\ I = k_v \alpha A, & w \geq w_{кр}, \end{cases}$$

где I – объемный износ, м³,

k_v – коэффициент износа, м³/Дж,

A – работа сил трения, Дж,

w – мощность работы сил трения, Вт/м²

$w_{кр}$ – критическая мощность работы сил трения, Вт/м²,

α – коэффициент скачка.

3. Модель ВНИИЖТ-1 задается следующей формулой:

$$I = k \xi^2 p,$$

где p – давление в пятне контакта,

ξ – полный крип.

4. Модель с учетом пластики:

$$I = k \cdot \xi^2 \cdot p^* \cdot \min(\operatorname{tg}(p/p^*), 1.5),$$

где p^* – критическое давление.

При малых p эта модель переходит в формулу ВНИИЖТ-1.

Выбор коэффициентов износа.

В первых двух моделях (Арчарда и Шпехта) объемный износ материала пропорционально зависит от работы сил трения. Выбор коэффициента износа является

сложной задачей и желательно, чтобы для каждого эксперимента коэффициент выбирался отдельно исходя из свойств материалов, условий контактирования и т.д. Экспериментально установлено, что величина массового износа для задачи контакта колеса и рельса находится в пределах $10^{-4} \dots 10^{-2}$ мг/Дж [1].

В [2] указывается, что для жестких условий изнашивания, как например, имеющих место при натуральных испытаниях на южной ветке линии «Готтард», получены значения массового коэффициента износа $k_m = (1,8 \dots 2,4) \cdot 10^{-3}$ мг/Дж.

Неоднократно проводились эксперименты для идентификации величины коэффициента износа с помощью испытаний колесной пары на катковом стенде. В [3] хорошее соответствие расчетных и экспериментальных результатов получено при $k_m = 1,7 \cdot 10^{-3}$ мг/Дж.

При использовании модели Шпехта статье [4] автор предлагает принимать значение коэффициента массового износа k_m для зоны умеренного износа равным $7,8 \cdot 10^{-4}$ мг/Дж, то есть для объемного износа, считая плотность стали равной 7800 кг/м^3 , получаем $k_v = 1 \cdot 10^{-13} \text{ м}^3/\text{Дж}$. Для зоны интенсивного износа коэффициент массового износа k_m равен $7,8 \cdot 10^{-3}$ мг/Дж. Критическая мощность работы сил трения равна 4 Вт/мм^2 .

Внимание!

В модуле прогнозирования износа вводится не массовый, а объемный коэффициент износа [$\text{м}^3/\text{Дж}$]. Массовому коэффициенту износа $k_m = 7,8 \cdot 10^{-4}$ мг/Дж соответствует объемный коэффициент $k_v = 1 \cdot 10^{-13} \text{ м}^3/\text{Дж}$ при плотности стали равной

7800 кг/м^3 , т.е. $k_v = \frac{k_m}{\rho_m} \cdot 10^{-6}$, где ρ_m – плотность стали.

16.3. Пример создания и анализа проекта эволюции профиля колеса

16.3.1. Описание проекта эволюции профиля колеса

В данном разделе рассмотрим создание проекта эволюции профилей колеса автотомотрисы АС4.

16.3.2. Создание нового проекта

1. Запустите программу моделирования **UM Simulation**.
2. Итак, для создания нового проекта выберите пункт меню **Расширенный анализ / Сканирование: новый проект....**
3. В появившемся окне введите полный путь к каталогу сканирования, включая имя проекта (см. рис. 16.1).
4. Нажмите кнопку **Создать** и после этого появится окно описания проекта сканирования (см. рис. 16.2).

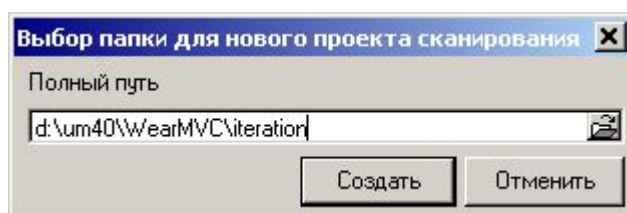


Рис. 16.1. Диалог выбора папки для нового проекта сканирования

Обратите внимание на то, что итерации будут сохраняться в директории многовариантного расчета с добавлением знака подчеркивания и номера итерации. В данном случае результаты первой итерации многовариантного расчета будут сохранены в директории *d:\um50\WearMVC\iteration_1*, для второй итерации в директории *d:\um50\WearMVC\iteration_2* и т.д. То есть, в нашем примере корневая директория проекта – *d:\um50\WearMVC*.

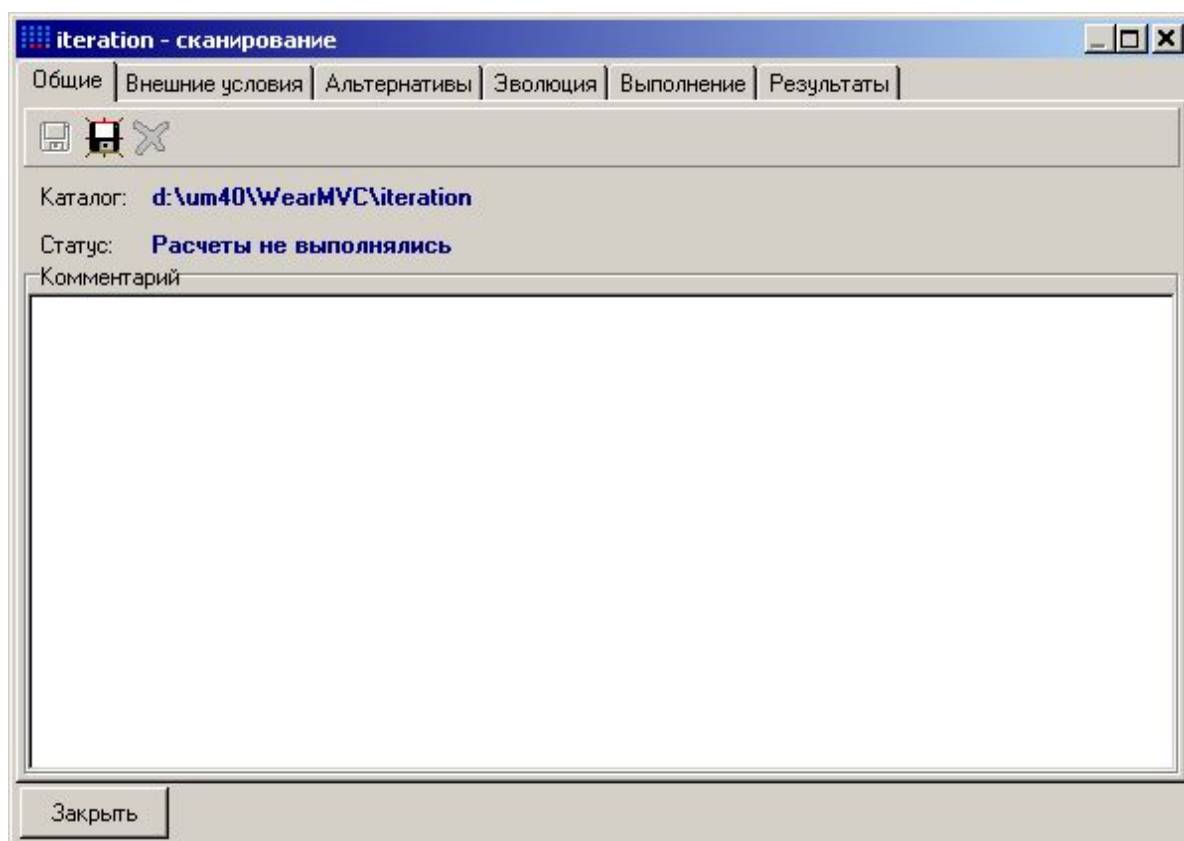


Рис. 16.2. Окно описания проекта: начало работы

16.3.3. Добавление новой модели к проекту сканирования

1. В окне описания проекта перейдите на закладку **Альтернативы**.
2. Нажмите кнопку **+** (добавить альтернативу).
3. В появившемся окне открытия модели выберите модель автотрисы АС4.

После этого данная модель появится в списке **Семейства альтернатив** (см. рис. 16.3).

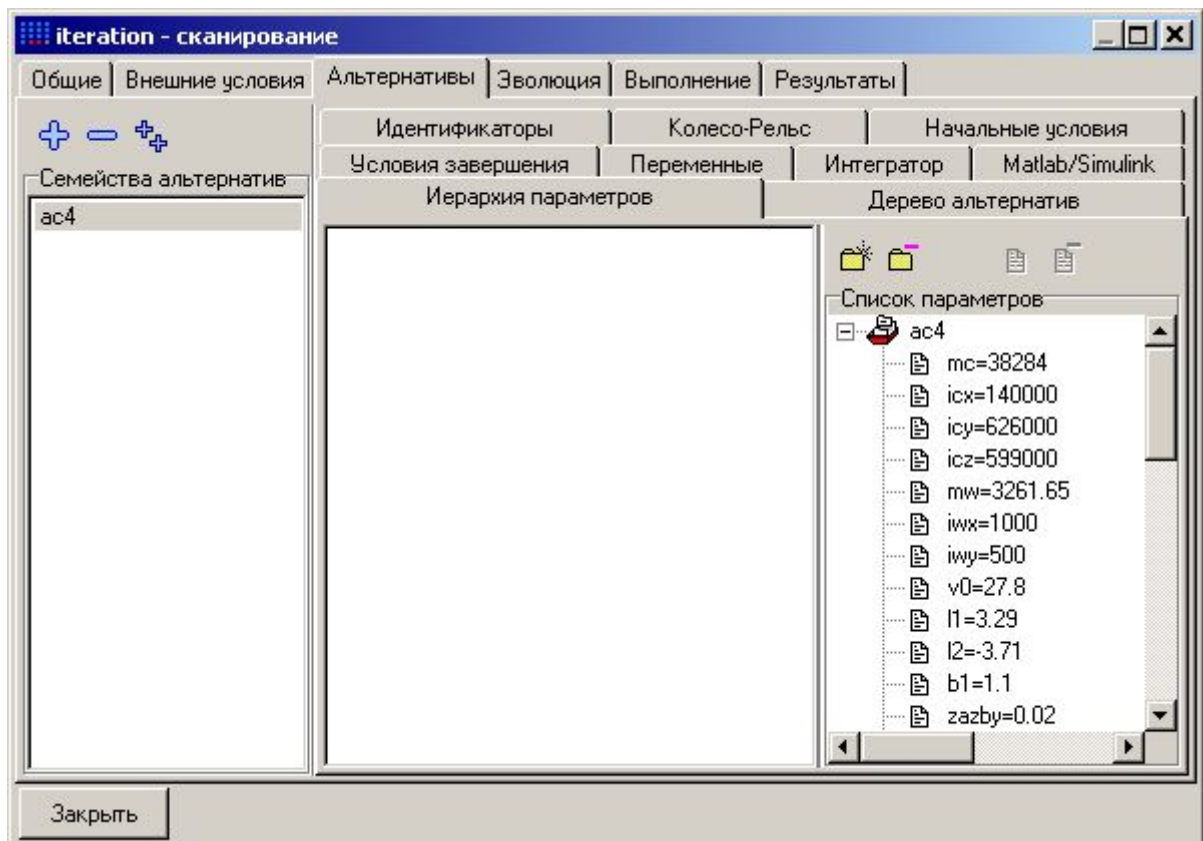
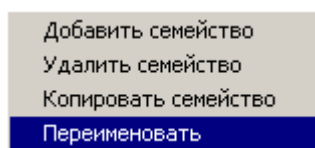


Рис. 16.3. Проект сканирования: добавление семейства альтернатив

16.1.1. Описание иерархии параметров

В нашем примере будут содержаться три семейства: движение автотрисы в прямой, движение автотрисы в кривой $R = 300$ м и в кривой $R = 600$ м. Переименуем созданное семейство с помощью команды контекстного меню **Переименовать** в *ac4_straight*.



В проектах эволюции профиля сканирование для семейства проводится только по одному параметру – скорость движения v_0 . В иерархическом списке **Список параметров** (в правой части закладки **Иерархия параметров**, см. рис. 16.3) щелкните на параметре v_0 . В появившемся окне настройки значений параметра выберите пункт **Список значений** и введите три значения скорости: 15, 20 и 25 м/с (см. рис. 16.4). Закройте окно настройки значений параметров и вернитесь в окно описания проекта сканирования. На закладке **Иерархия параметров** появится новая группа параметров с именем **Группа 1** (см. рис. 16.5). С помощью команды контекстного меню **Переименовать группу параметров...** переименуйте **Группа 1** в **Скорость**. Таким образом, в процессе сканирования при расчетах в прямой будет выполнено 3 численных эксперимента. Общие для всех этих численных экспериментов настройки мы выполним ниже.

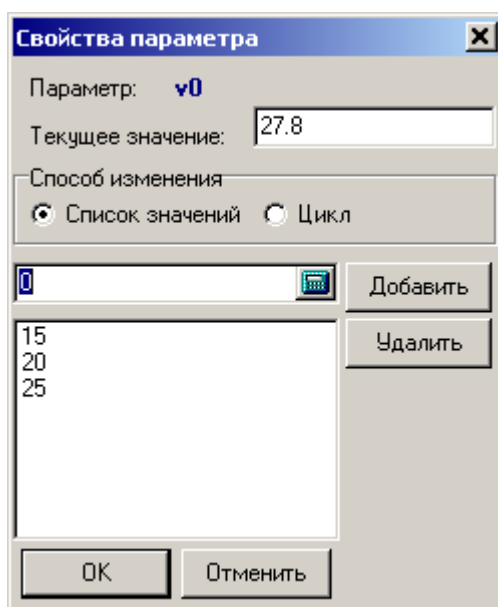


Рис. 16.4. Окно настройки значений параметра

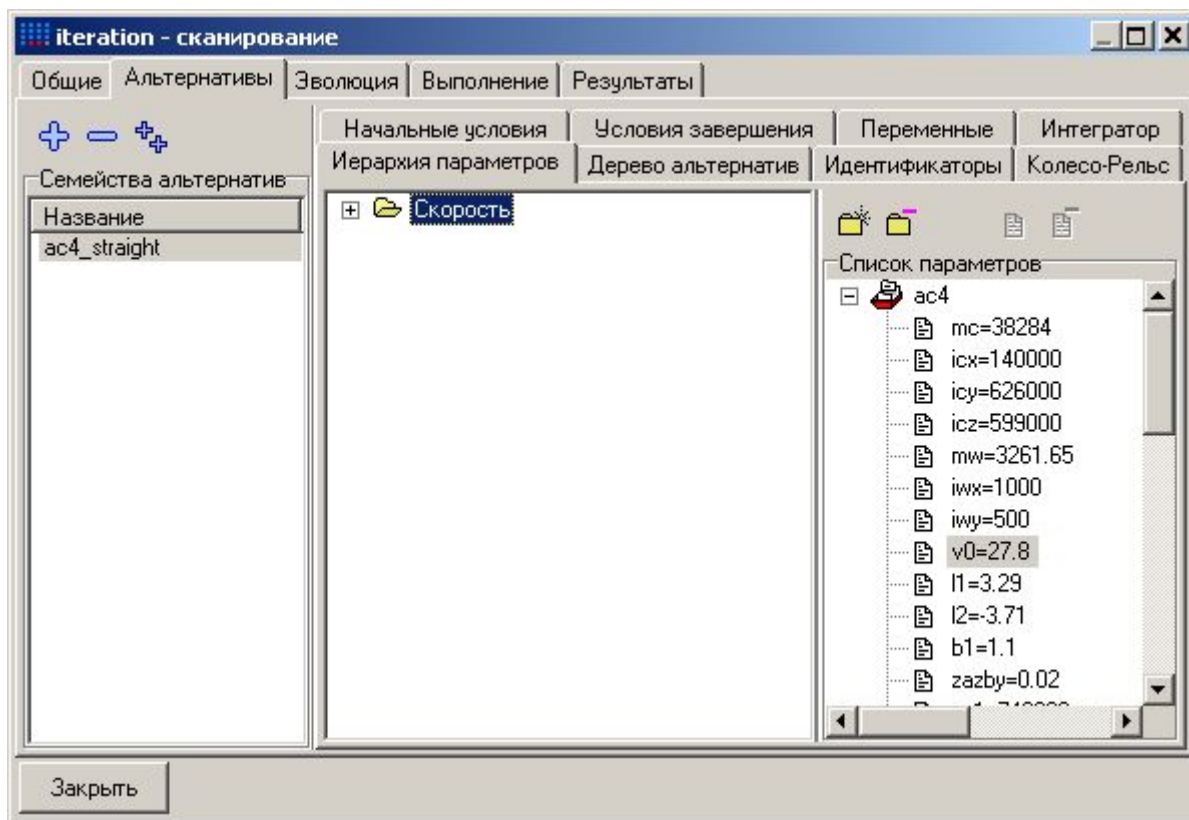


Рис. 16.5. Проект сканирования: иерархия параметров

16.1.2. Настройка железнодорожных параметров

Одним из необходимых этапов в данном примере является настройка железнодорожных параметров.

1. Итак, настроим неровности путевой структуры. Перейдите на закладку **Колесо-Рельс / Путь / Неровности**. Установите **Тип пути** в значение **Неровный**. Окончательный вид закладки и выбранные файлы неровностей пути представлены на рис. 16.6.
2. Перейдите на закладку **Колесо-Рельс / Путь / Макрогеометрия**. В поле **Тип пути** выберите **Прямая**.
3. Перейдите на закладку **Колесо-Рельс / Путь / Профили / Рельсы** и установите файлы **r65new.rpf** в качестве профилей рельса. А на закладке **Колесо-Рельс / Путь / Профили / Колеса** – файл **dmeti30.wpf** в качестве профиля для всех колес (см. рис. 16.7).

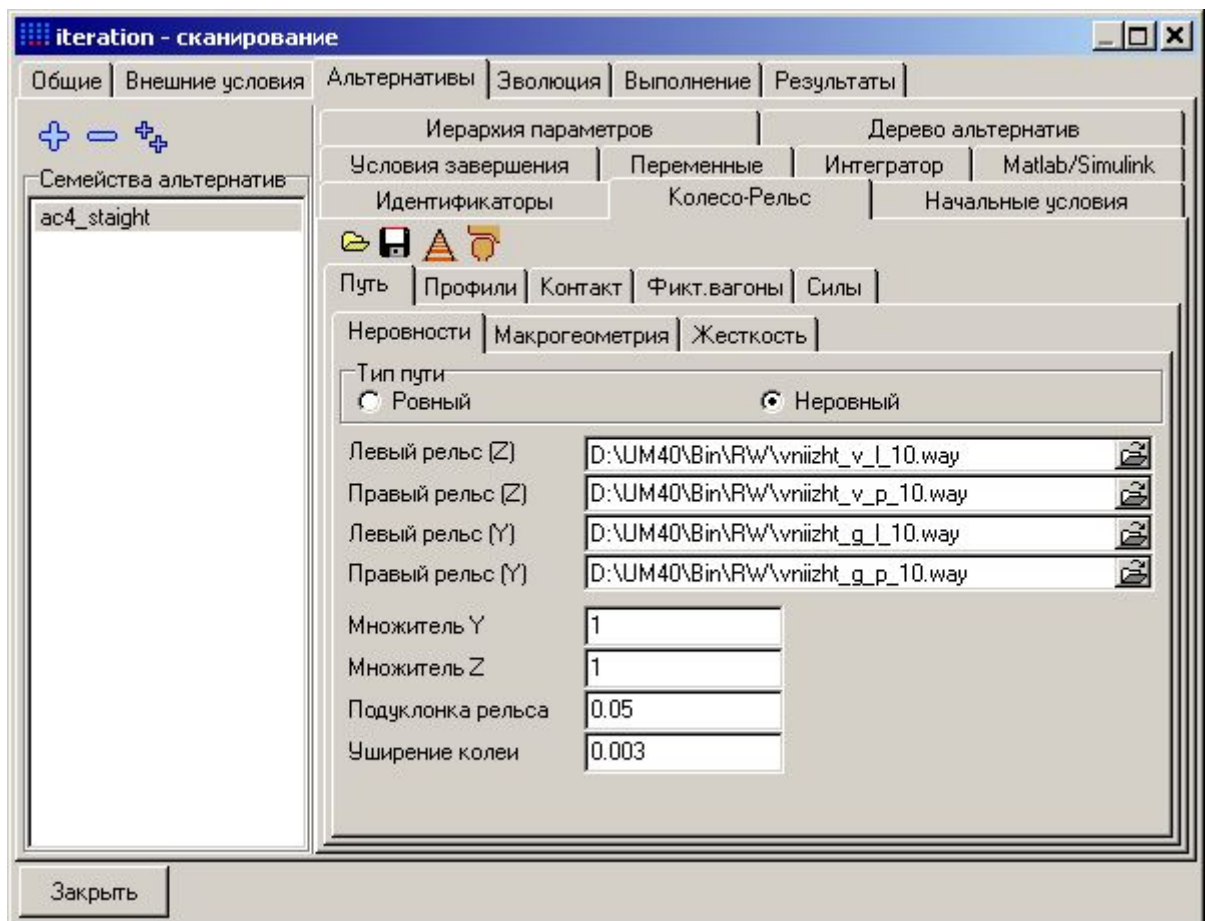


Рис. 16.6. Настройка неровностей путевой структуры

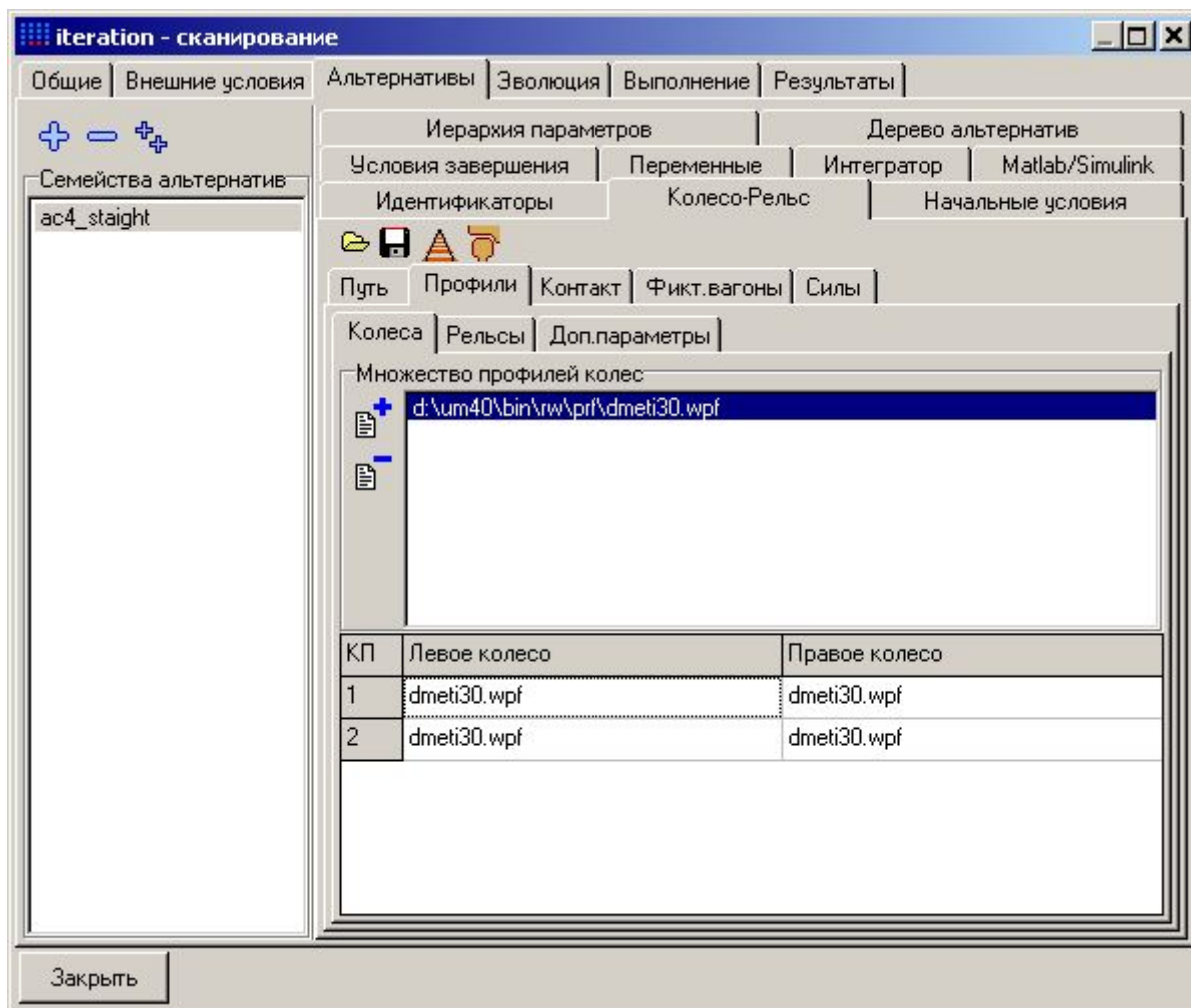


Рис. 16.7. Настройка профилей колес

4. Далее настроим модели сил в контакте колеса и рельса (сил крипа). Перейдите на закладку **Колесо-Рельс / Контакт / Силы крипа**, рис. 16.8, выберите модель сил крипа FastSim. Задайте контактные параметры согласно данным на рис 16.8.

Важно! Обратите внимание на то, что при расчете износа следует выбирать только те модели, которые рассчитывают пятно контакта, а именно, **FastSim** или **Неэллиптический контакт**.

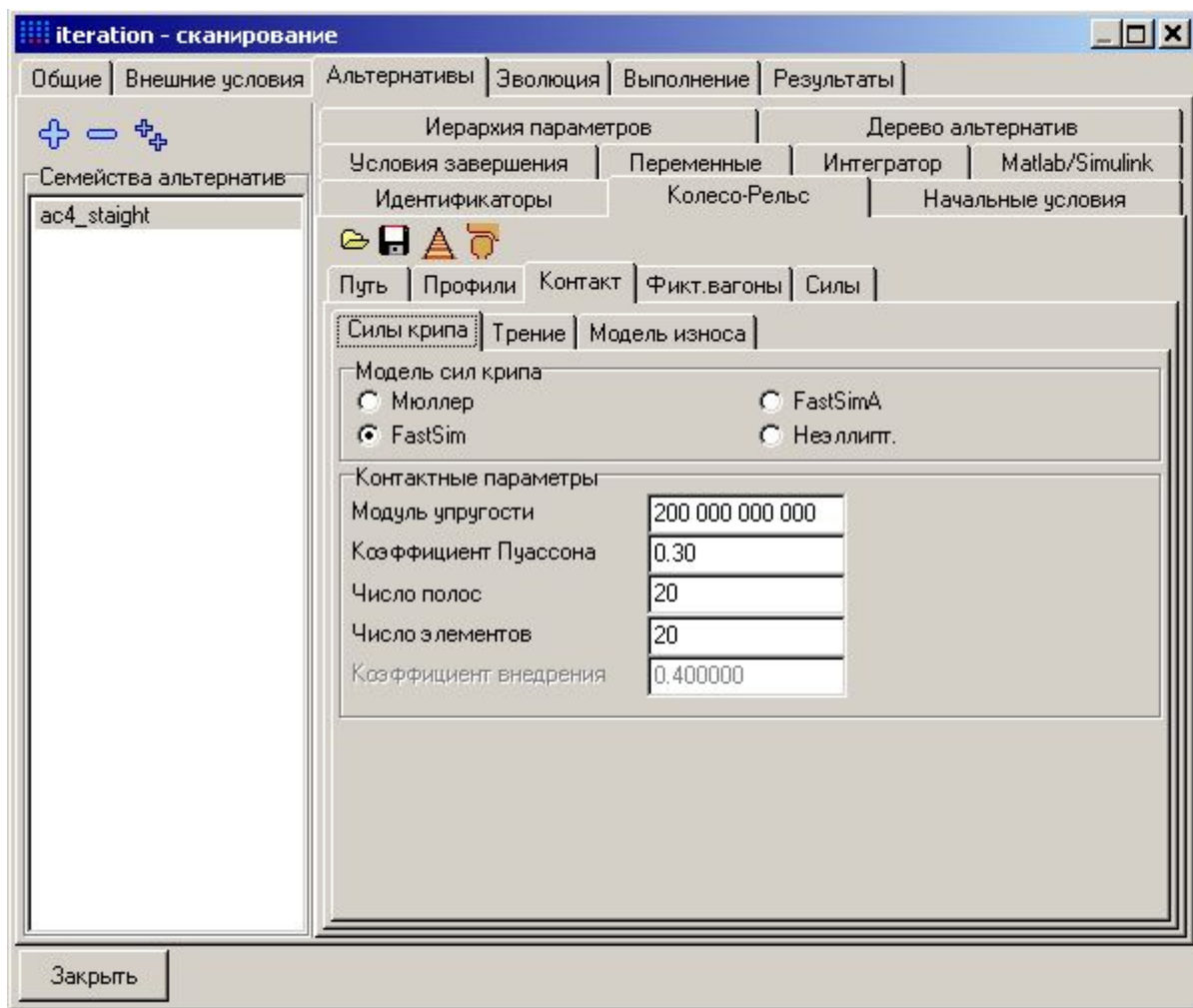


Рис. 16.8. Настройка сил крипа

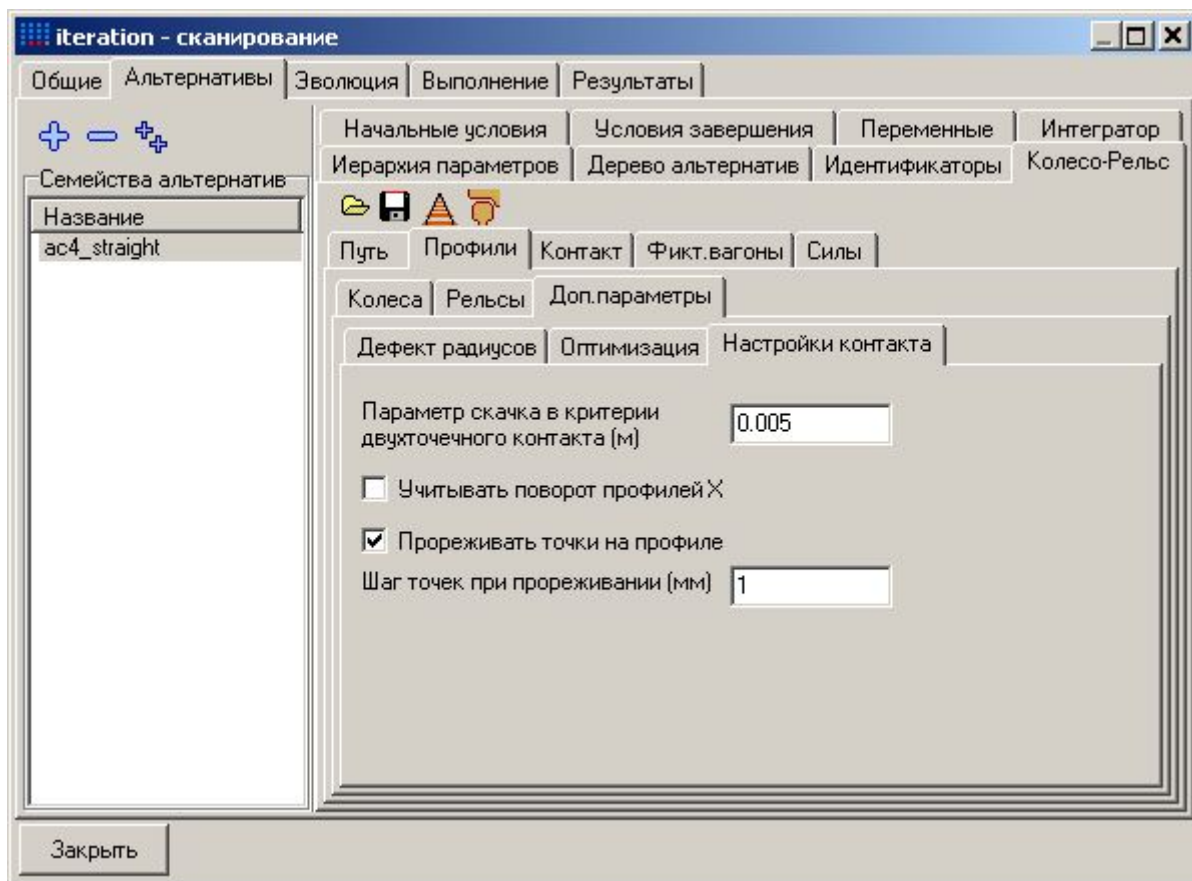


Рис. 16.9. Настройка параметров контакта

На закладке **Колесо-Рельс / Профили / Доп. Параметры / Настройки контакта** задайте параметры такие же как и на рис. 16.9. Для модели неэллиптического контакта следует задавать “Параметр скачка в критерии двухточечного контакта” из диапазона 0,01..0,015 м.

Изменить и добавить рисунок и совет о настройках динамических и износа

Важно! Параметры на закладке **Колесо-Рельс / Контакт / Модель износа** при расчете эволюции профиля с помощью многовариантных расчетов игнорируются. Их следует задавать общими для всех семейств на закладке **Эволюция**, см. ниже.

16.1.3. Настройка условий завершения

При использовании сканирования численные эксперименты могут завершаться не только по истечении некоторого установленного времени, но также и по выполнению условия вида

Переменная [Условная операция] Численное_Значение.

В качестве переменной может быть установлена любая переменная, вычисляемая в процессе расчетов. При сканировании железнодорожных экипажей по умолчанию формируется следующее условие завершения:

Путь, пройденный экипажем ≥ 300 м.

То есть, каждый численный эксперимент в данном семействе будет завершен тогда, когда выполниться указанное условие. В нашем случае уменьшим путь до 200 метров, см. рис. 16.10. Необходимую переменную можно сформировать в *Мастере переменных* и перенести мышкой в поле с именем переменной.

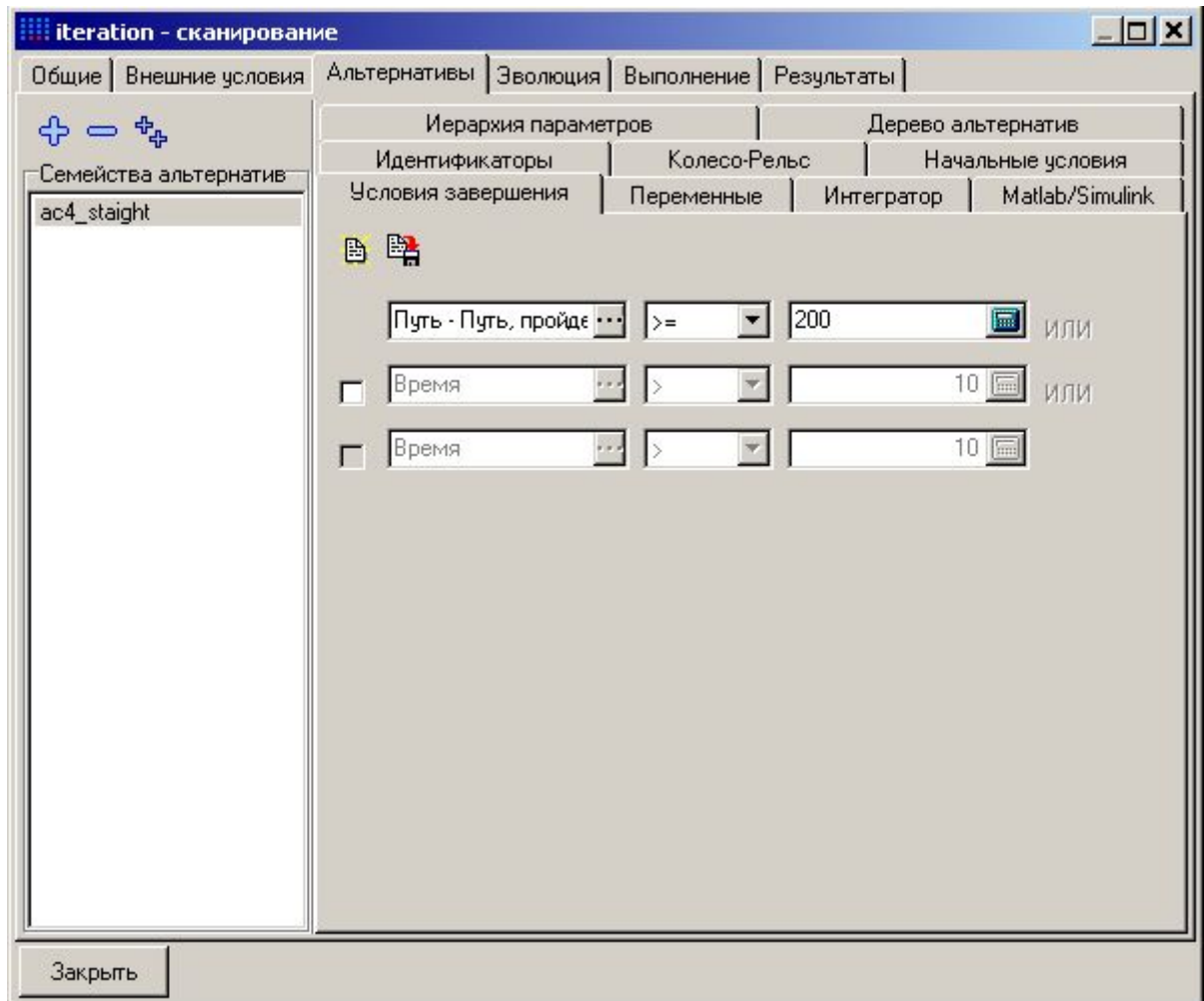




Рис. 16.10. Настройка условий завершения

Теперь первое семейство описано полностью. Сохраните многовариантный расчет с помощью кнопки  на закладке **Общие**. Перейдем к описанию следующих семейств.

16.1.4. Копирование семейств

Два оставшихся семейства для расчетов в кривых создадим копирование из первого семейства.

1. На закладке Альтернативы нажмите кнопку копирования семейств . Появится семейство с именем *ac4_straight(1)*.
2. Переименуйте его в *ac4_r300*.

Теперь изменим настройки в скопированном семействе так, чтобы расчеты проводились в кривой $R = 300$ м для скорости движения 13 м/с (равновесная скорость).

Для настройки параметров кривой перейдите на закладку **Колесо-Рельс / Путь / Макрогеометрия** и выберите **Тип пути – Кривая** и задайте параметры участка согласно рис. 16.11.

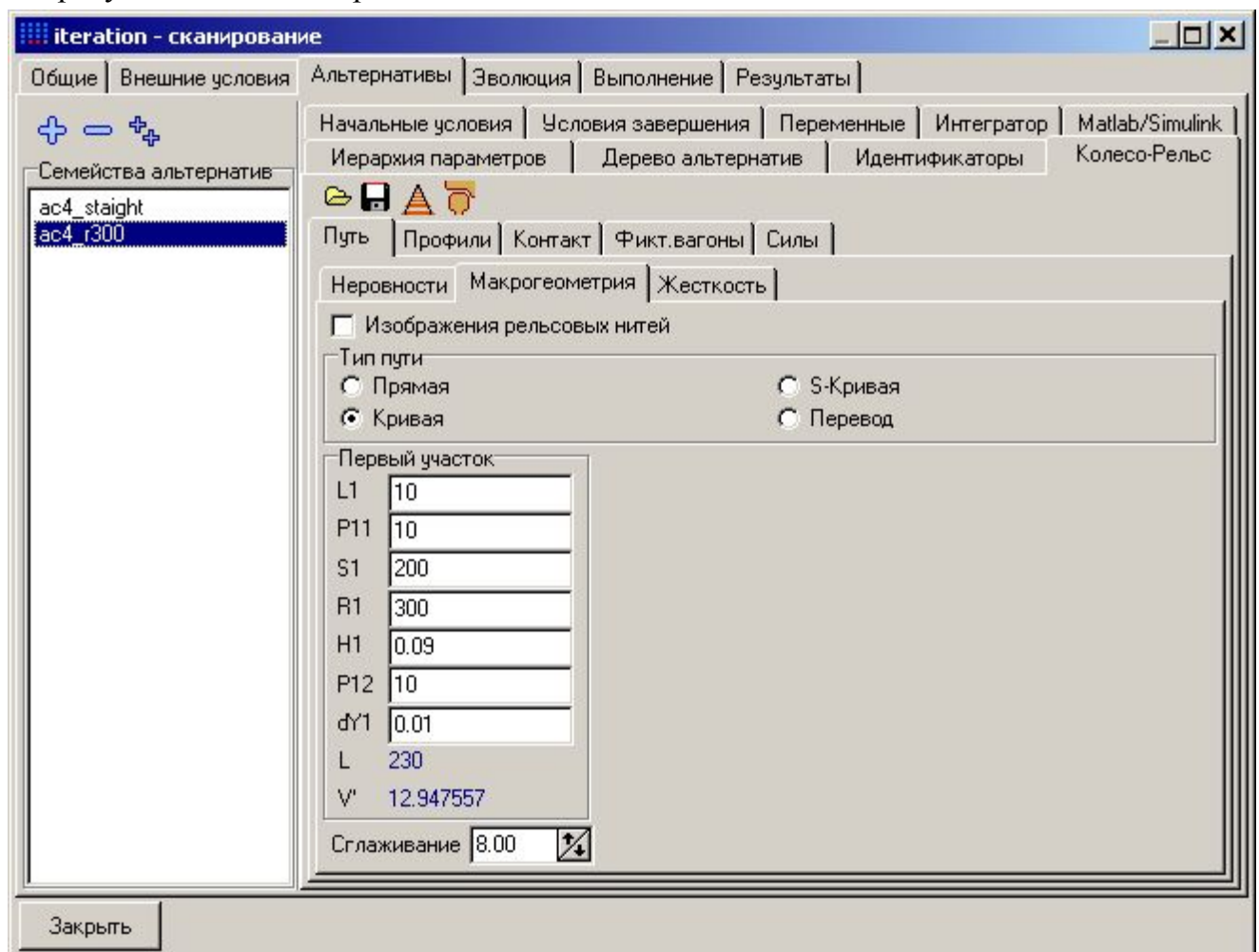


Рис. 16.11. Настройка параметров кривой

Для настройки скоростей движения перейдите на закладку **Иерархия параметров**, раскройте папку **Скорость**, щелкните правой кнопкой мыши на параметре **v0** и выберите команду контекстного меню **Редактировать параметр...**, рис. 16.12.

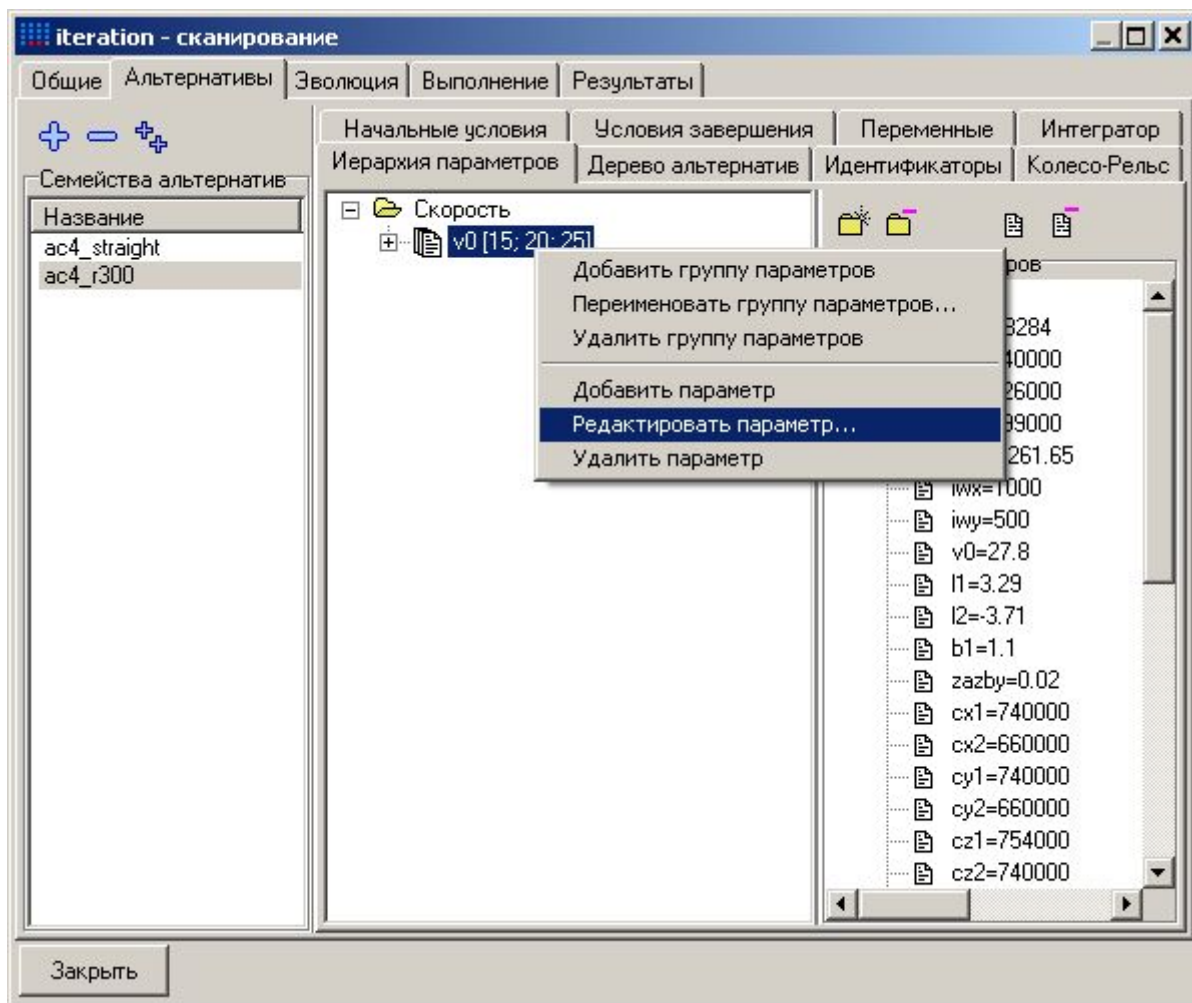


Рис. 16.12. Настройка иерархии параметров

В диалоговом окне **Настройка параметров** удалите параметры, которые были введены для прямой и введите скорость 13 м/с.

На закладке **Условия завершения** введите Пройденный путь равный 240 м, для того, чтобы экипажа проехал всю кривую.

Новое семейство для расчета износа в кривой радиусом 300 м. готово. Сохраните многовариантный расчет.

Копированием из вновь созданного семейства создайте еще одно для расчета в кривой $R = 600$ м. Переименуйте его в *ac4_r600*. На закладке **Колесо-Рельс / Путь / Макрогеометрия** задайте радиус кривой $R1 = 600$. На закладке **Иерархия параметров** также как и для предыдущего семейства для скорости *v0* удалите скорость 13 м/с и задайте набор скоростей: 15, 18, 21 м/с.

Все семейства необходимые для расчета созданы. Сохраните многовариантный расчет.

16.1.5. Настройка параметров эволюции профиля

Теперь нам необходимо настроить параметры износа профиля. Перейдите на закладку **Эволюция / Настройка**. Выберите флажок **Включить**, для **Числа итераций** укажите **Выполнить 10** итераций. Из выпадающего списка **Тип профиля** выберите **Эволюция ж.-д. колес** – справа появится форма настройки эволюции профилей железнодорожных колес, см. рис 16.13.

Добавить сохранение через n итераций и изменить рисунок
 Добавить про шаг задания профиля (на старом рисунке нет)

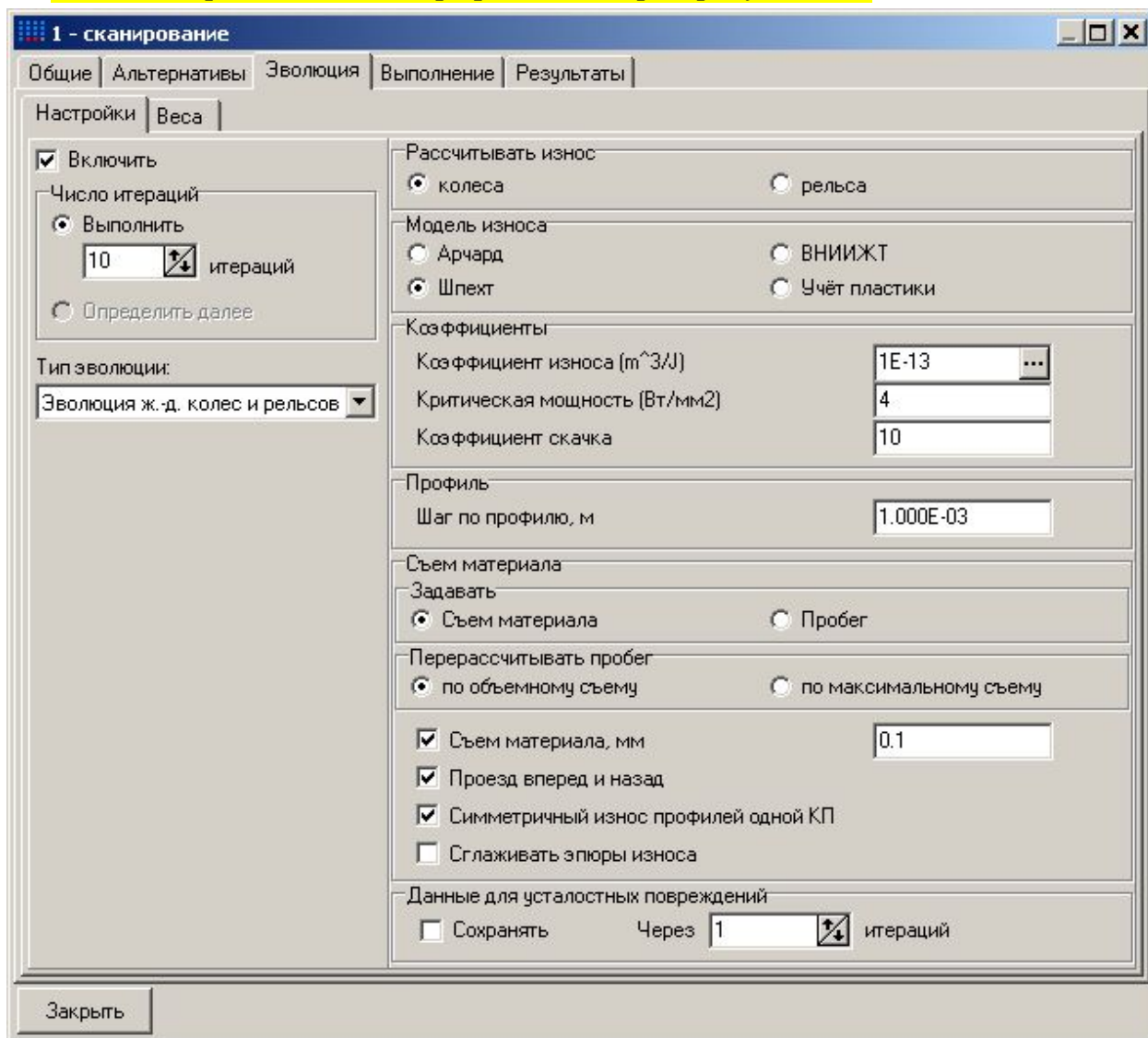


Рис. 16.13. Настройка эволюции профиля

Рассмотрим более подробно группы элементов, расположенные на это форме.

Группа элементов **Рассчитывать износ** – выбор тел для изнашивания: профиль колеса или рельса.

Группа элементов **Модели износа**: Арчарда, Шпехта, ВНИИЖТа и модель с учетом пластики.

Группа элементов **Коэффициенты** содержит поля, в которые вводятся значения коэффициентов, используемых в соответствующих моделях износа.

Здесь добавить коэф. как функция профиля из отчета 2007 года.

Группа элементов **Профиль** содержит поле **Шаг по профилю** (в метрах), в котором задается длина отрезков по профилю для накопления работы.

Группа элементов **Съем материала** содержит опции для настройки параметров снятия материала.

Группа элементов **Задавать (Съем материала или Пробег)**: выбор параметра, для которого будет задаваться величина, определяющая максимальный съем за итерацию. Значение задается в поле **Съем материала, мм** или **Пробег, км**, соответственно. Так, если задан съем материала 0.1 мм, то максимальный съем материала профиля за одну итерацию будет примерно равен 0.1 мм (возможны отклонения из-за сглаживания профиля), а пробег будет пересчитан в соответствии с данными, полученными для текущей итерации. Если задан пробег, то будет снято столько материала, сколько соответствует заданному пробегу. При задании съема по пробегу необходимо следить за тем, чтобы для заданного пробега съем не оказался очень большим, что может привести к некорректным расчетам. Рекомендуемая максимальная величина съема за одну итерацию 0.1 мм.

Группа элементов **Перерассчитывать пробег** – выбор параметра, по которому будет проводиться перерасчет пробега по данным, полученным после выполнения одной итерации. При задании перерасчета **по объемному съему** пробег перерассчитывается пропорционально объему снятого материала, **по максимальному съему** – перерасчет идет по максимальной величине снятого материала (линейный съем).

Съем за итерацию, мм (Пробег, км) – указывает на то, что максимальное значение съема материала профиля за итерацию будет равен введенной величине, а пробег перерассчитывается, см. п. 16.1 для более подробной информации. При задании **пробега** максимальное значение пробега за итерацию будет равен введенной величине, а съем перерассчитывается.

Проезд вперед и назад – учитывает возможное движение рельсового экипажа в прямом и обратном направлении исследуемого участка дороги без разворота, см. п. 16.1.

Симметричный износ профилей одной КП – упрощенный вариант, при котором считается, что левый и профили изнашиваются одинаково, см. также п. 16.1.

Сглаживать эпюры износа – указывает, сглаживать ли эпюры износа перед тем, как производить съем материала с профиля колеса или рельса по этим эпюрам (по умолчанию не включено).

Настройте эти параметры так, как указано на рис. 16.13.

Перейдем к настройке весовых коэффициентов на закладке **Эволюция / Веса**, рис. 16.14. Зададим вес семейства *ac4_straight* – 0,7; для семейства *ac4_r300* – 0,1 и для семейства *ac4_r600* – 0,2. Для этого на закладках, соответствующих имени семейства заполним поле **Вес семейства в эволюции**. Кроме того, в тех семействах, где сканирование проводится для более чем одной скорости необходимо настроить вес для скоростей. В нашем случае это необходимо сделать для первого и третьего семейств. Введем значения весов скоростей: 0,4; 0,3; 0,3 для первого семейства (*ac4_straight*) и 0,2; 0,3; 0,5 для третьего (*ac4_r600*), рис. 16.14.

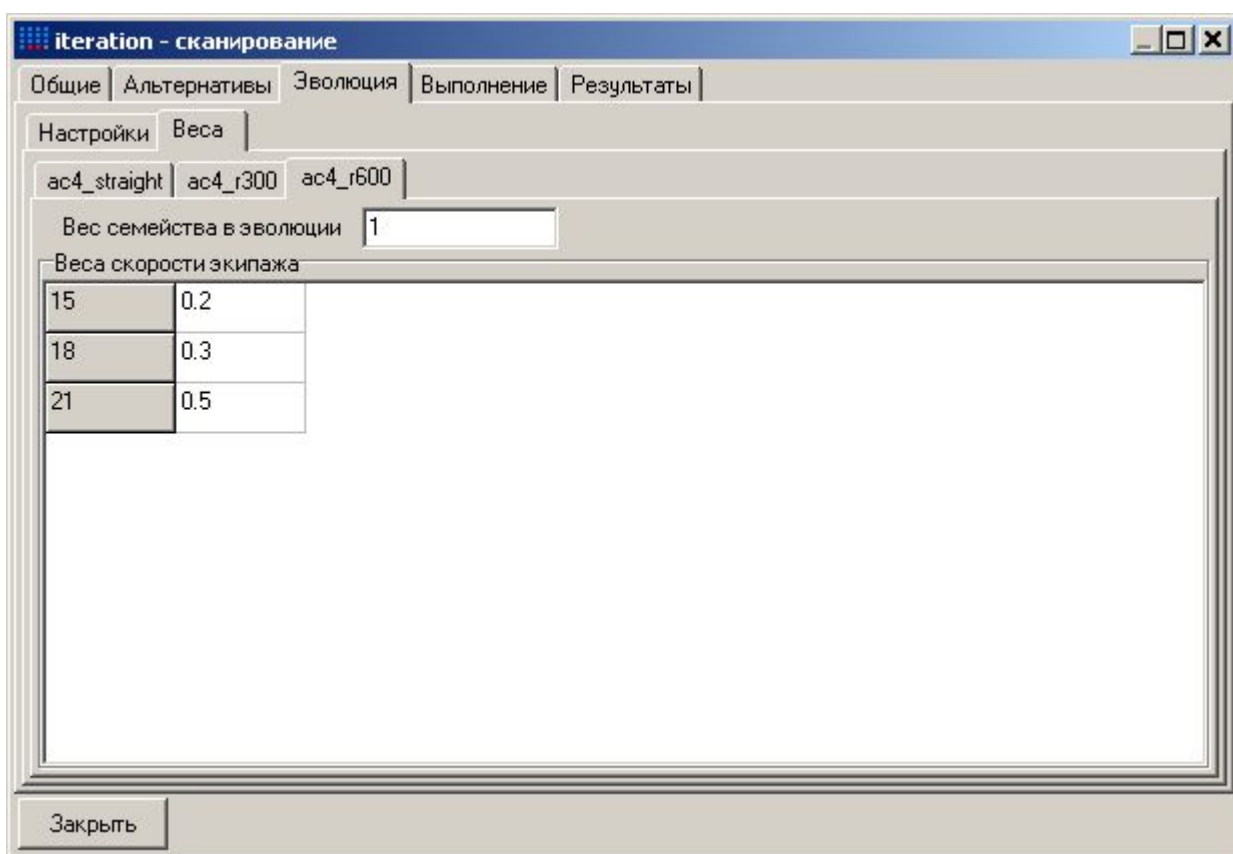


Рис. 16.14. Настройка весовых коэффициентов

Теперь проект готов для исполнения.

Можно переходить к моделированию. Для этого на закладке **Выполнение** нажмите кнопку **Запустить**. В индикаторе прогресса будет отмечаться выполнение текущей итерации, рис. 16.15.

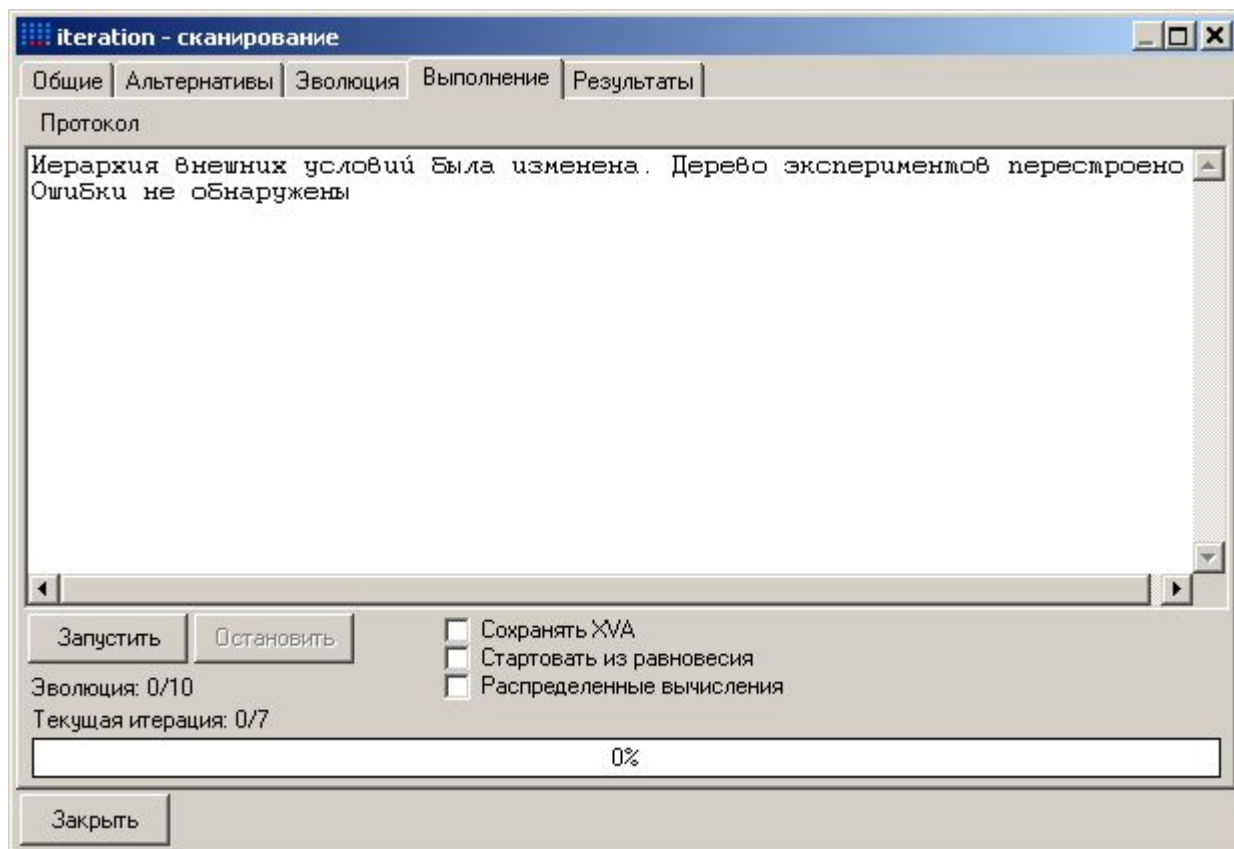


Рис. 16.15.Выполнение расчетов

Замечание. Нормировка весовых коэффициентов в соответствии с формулами (1), (2) осуществляется программой автоматически. Поэтому их значения можно вводить, например, в процентах или в километрах (для весовых коэффициентов альтернатив α_i).

16.1.6. Прерывание и продолжение расчетов

Процесс эволюционного расчета может быть прерван на любом этапе с помощью кнопки **Остановить**. После этого можно оценить результаты, очистить (удалить) результаты (кнопка **X** на закладке *Общие*) или закрыть программу.

Для продолжения прерванного и закрытого расчета следует открыть его с помощью команд основного меню программы **Расширенный анализ | Сканирование: открыть...** или **Расширенный анализ | Сканирование: открыть заново** и запустить продолжение расчета с помощью кнопки **Продолжить** на закладке **Выполнение**.

Можно также продолжить расчет полностью выполненного задания. Для этого следует увеличить число итераций на закладке *Эволюция | Настройки* и продолжить расчет стандартным образом.

16.1.7. Обработка результатов

Обработка результатов расчета износа профилей возможна

- после прерывания расчета
- после окончания расчета

Обработку результатов выполненного ранее расчета можно также проводить с использованием специального инструмента, доступного через команды главного меню **Расширенный анализ | Сканирование: открыть результаты...** или **Расширенный анализ | Сканирование: открыть результаты заново**. В этом случае можно одновременно открыть результаты нескольких различных расчетов.

Если открыто окно многовариантных расчетов, для получения результатов следует перейти на закладку **Результаты | Износ профилей**

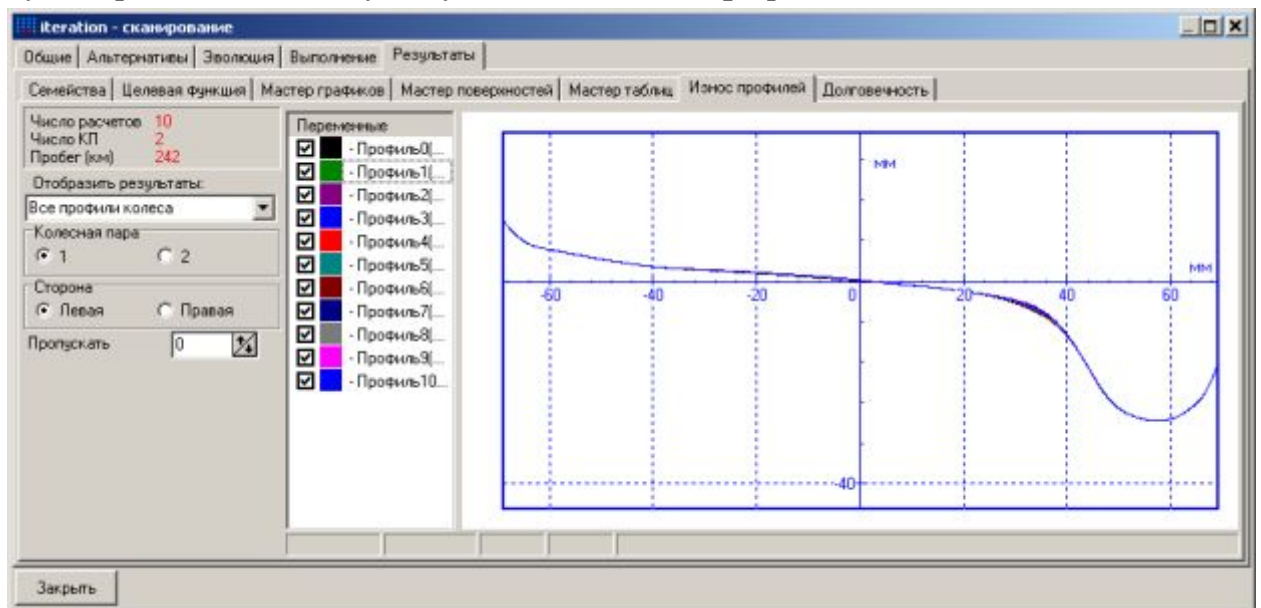


Рис. 16.16.Закладка результатов

Обратите внимание на то, что исследуемая автотрасса является двухосным экипажем в жесткой раме, а, следовательно, у нее достаточно большие углы набегания и, как следствие, большой износ в кривых, что и подтверждается приведенными в нашем расчете результатами, где вес кривых больше половины (0,3 для кривой R = 300 м и 0,3 для кривой R = 600 м), что не встречается на реальных участках пути.

Доступны следующие результаты.

- **Все профили:** отображение профилей для выбранного колеса или рельса, полученных на всех итерациях. Первый график в списке соответствует стартовому профилю. В скобках указывается пробег при исследовании износа колеса и количество проездов используемых в расчете экипажей при исследовании износа рельса.

- **Все эпюры:** отображаются усредненные сглаженные эпюры интенсивности износа $e_{k,w}$ для всех рассчитанных итераций. В скобках указывается пробег при исследовании износа колеса и количество проездов используемых в расчете экипажей при исследовании износа рельса.

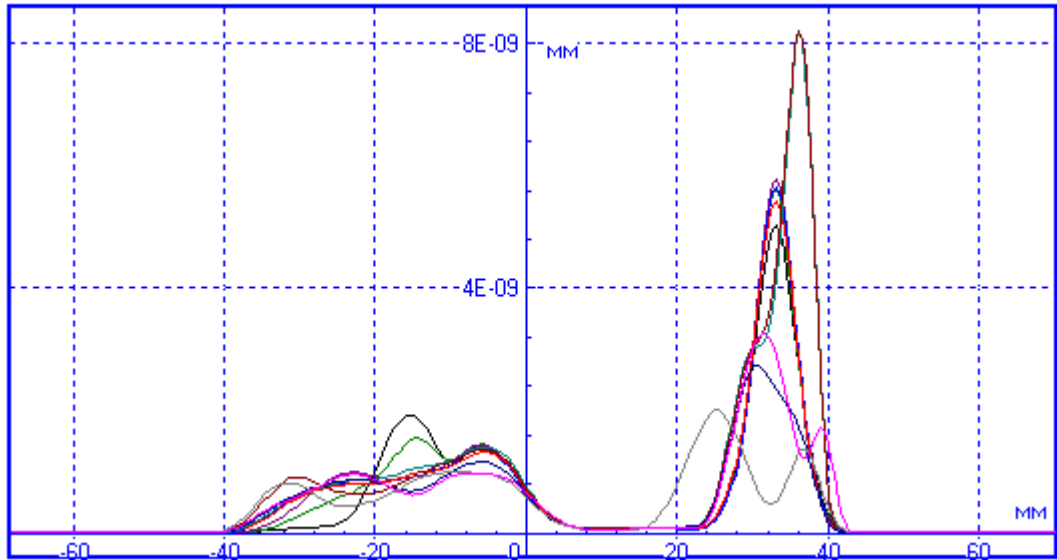


Рис. 16.17. Все усредненные эпюры износа для отдельного колеса

- **Все несглаженные эпюры:** отображаются усредненные несглаженные эпюры интенсивности износа $e_{k,w}$ для всех рассчитанных итераций. Если не задана опция **Сглаживать эпюры износа** (п. 16.1.5) то сглаженные эпюры соответствуют несглаженным. В скобках указывается пробег при исследовании износа колеса и количество проездов используемых в расчете экипажей при исследовании износа рельса.
- **Последний профиль:** отображаются исходный и результирующий профили для выбранного колеса.

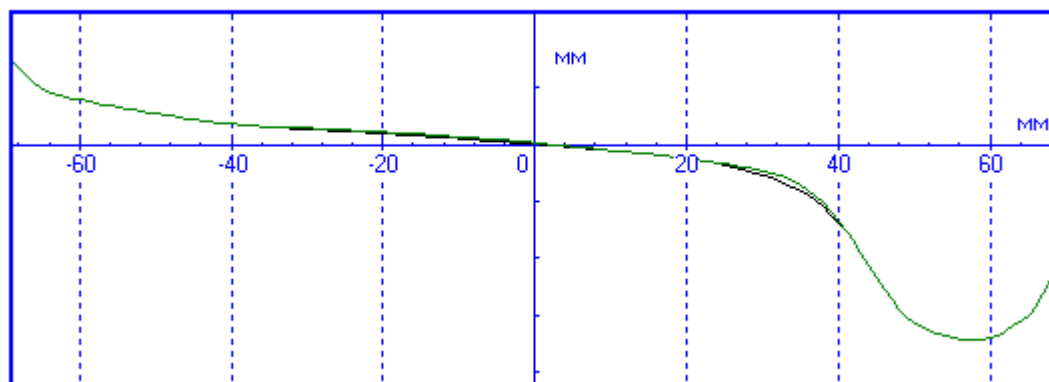


Рис. 16.18. Исходный и результирующий профили для отдельного колеса

- **Все последние профили:** отображаются результирующие профили для всех колес или рельсов.
- **Интенсивность износа:** отображается график, в котором по абсциссе отложен номер итерации, а по ординате площадь снятого материала в сечении профиля колеса за 1 метр пройденного пути или в сечении профиля рельса за 1 проезд используемых в расчете экипажей.

Любой график можно перенести с помощью мышки в стандартное открытое графическое окно, что можно использовать для сравнения вариантов различных расчетов.

Дополнительные возможности обработки результатов предоставляет возможность сохранения графиков в текстовый файл. Для этого следует щелкнуть правой кнопкой мыши на списке графиков в окне и выбрать команду **Сохранить в текстовый файл** в появившемся контекстном меню. Аналогично, выделенные в списке графики могут быть перенесены в программу MS Excel.

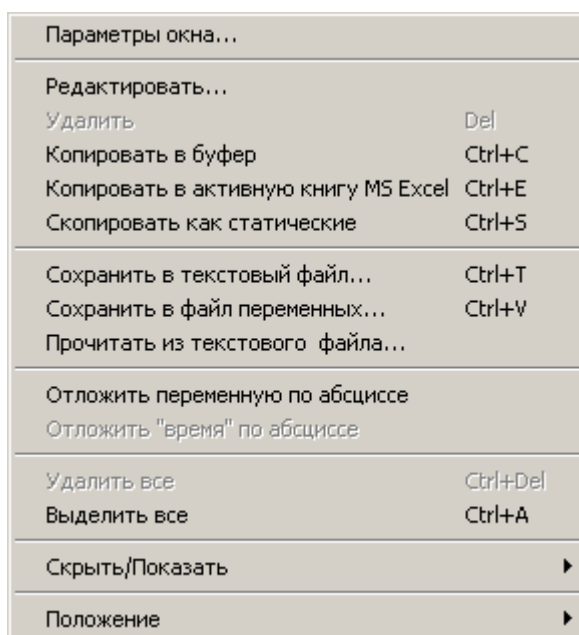


Рис. 16.19. Контекстное меню списка переменных графического окна

16.4. Расчет нагруженности колесных пар

Расчет нагруженности колесных пар реализован в программном комплексе “Универсальный механизм” с целью последующего анализа накопления повреждаемости с использованием внешнего программного обеспечения. Расчет нагруженности производится одновременно с расчетом износа профилей колес.

Для задания расчета следует перед началом выполнения процесса эволюции включить опцию **Сохранять** данные для усталостных повреждений на закладке *Эволюция*. Дополнительно следует указать число итераций, через которые будут сохраняться данные о нагруженности колесных пар.

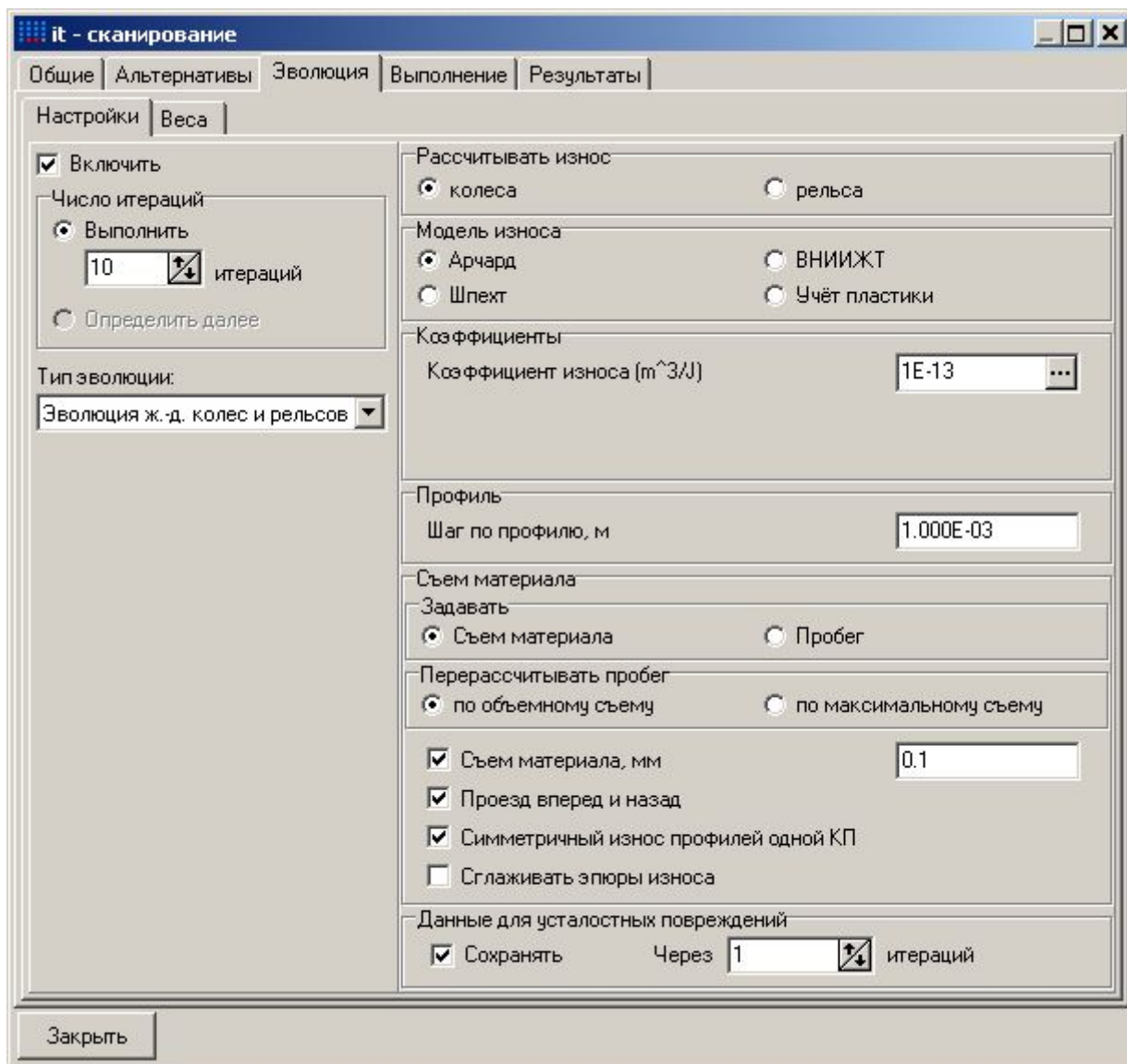


Рис. 16.20. Задание расчета нагруженности колесных пар

Результаты расчета сохраняются в текстовый файл *WheelLoadData.txt* и включают массивы значений координат точек контакта, нормальных сил и сил крипа, действующих на каждое колесо в одном его сечении. Периодичность данных соответствует одному обороту колеса.

Одновременно в файле результатов сохраняются эволюционирующие профили колес.

Результаты сохраняются с учетом заданной симметрии. Например, при заданном проезде вперед и назад данные по нагруженности задних колес присоединяются с данным соответствующих симметричных передних колес, а при симметричном износе левого и правого колеса отдельной колесной пары, данные для правого колеса включаются в массив результатов для левого колеса.

Файл результатов содержит комментарии, поясняющие формат представления данных и условия, при которых произведен численных эксперимент. Для удобства чтения результатов некоторыми внешними программами одновременно генерируется файл результатов *WheelLoadDataShort.txt*, не содержащий комментариев и другой текстовой информации.

Список литературы

1. Chudzikiewicz A., Kalker J.J. Wheel-rail wear calculation with the FASTSIM routine // The Archives of Transport, Vol. 1, No 1-2, Warsaw, 1989.
2. Krettek O., Szabó A., Békefi E., Zobory. I. On Identification of Wear Coefficient Used in the Dissipated Energy Based Wear Hypothesis // Proc. of the 2nd Mini Conference on Contact Mechanics and Wear of Rail/Wheel Systems, Budapest: 29–31 July. Budapest: 1996. P. 260–265.
3. Braghin F., Bruni S., Resta F. Wear of railway wheel profiles: a comparison between experimental and a mathematical model // 17th IAVSD Symposium Dynamics of Vehicles on Road and Tracks (IAVSD 2001), P. 43–45.
4. Specht W. New particulars of Wear of Heavy Railway Carriage Wheels // Glasers Annalen, 1987, Vol. 9. P. 271–280.