

**РУКОВОДСТВО ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ  
ПРОГРАММА  
«PLAXIS Structure Interaction»**

## Оглавление

1	Термины и определения.....	3
2	Описание программы.....	4
3	Методы используемые в программе.....	5
3.1	Подход 1. Экспорт модели.....	5
3.1.1	Требования к модели.....	5
3.1.2	Передаваемые элементы.....	5
3.1.3	Оптимизация.....	7
3.1.4	Автоматическая активация элементов и нагрузок.....	7
3.1.5	Расчеты.....	7
3.2	Подход 2. Итерационный подход.....	9
3.2.1	Требования к модели.....	10
3.2.2	Подготовка к расчету.....	10
3.2.3	Расчет.....	11
3.2.4	Формулы невязки.....	12
4	Графический интерфейс программы.....	14
4.1	Окно программы.....	14
4.2	Меню.....	15
4.3	Панель инструментов.....	16
4.4	Параметры подхода с экспортом полной модели.....	17
4.4.1	Режим 1.....	17
4.4.2	Режим 2.....	20
4.5	Параметры итерационного подхода.....	21
4.6	Область протокола.....	22
4.7	График сходимости.....	23
4.8	Окно "Настройки".....	24
4.9	Окно "Обновления".....	27
5	Порядок работы.....	28
5.1	Подход 1. Экспорт модели.....	28
5.1.1	Режим 1.....	28
5.1.2	Режим 2.....	29
5.2	Подход 2. Итерационный подход.....	29

## 1 Термины и определения

**ГСК** – глобальная система координат

**ЛСК** – локальная система координат

**РК** – один из расчетных комплексов, с которым реализована связь PLAXIS 3D

**След конструкции** – совокупность поверхностей и точек соприкосновения конструкции РК и грунта PLAXIS 3D. Это поверхности в PLAXIS 3D, геометрия которых включает в себя геометрию всех пластин модели РК в узлах, в которых есть пружины. Совместно с пластинами здесь могут выступать объемные элементы. В этом случае вместо пластин берутся соответствующие грани объемных элементов. Точки соответствуют одиночным узлам с пружинами в конструкции РК, а также тем узлам, к которым примыкают стержни или вставки.

**Фаза с конструкцией** – фаза PLAXIS 3D, содержащая импортированную из РК конструкцию.

**Фаза со следом** – фаза PLAXIS 3D, содержащая след конструкции из РК.

## 2 Описание программы

Программа "PLAXIS Structure Interaction" (PSI) позволяет выполнять совместные расчеты системы «конструкция-основание».

Связь с PLAXIS 3D реализована для следующих расчетных комплексов (ПК):

- SAP2000
- CSiBridge
- ETABS
- Autodesk Robot Structural Analysis
- SCAD
- ПК ЛИРА

Работа программы реализована двумя подходами:

- Экспорт модели ПК в PLAXIS 3D. Этот подход имеет 2 режима:
  - Режим 1. Перемещения опорных узлов конструкции переносятся из PLAXIS 3D в ПК как предварительно заданные
  - Режим 2. По результатам расчета в PLAXIS 3D изменяется жесткость пружин в модели ПК
- Итерационный подход. Заключается в определении реакции грунта в PLAXIS 3D и последующего изменения жесткости пружин в модели ПК

После выполнения совместного расчета в рабочей директории будут находиться исходные и итоговые файлы проектов ПК и PLAXIS 3D.

## 3 Методы используемые в программе

### 3.1 Подход 1. Экспорт модели

При использовании подхода 1 «Экспорт модели» программа автоматически считывает данные модели ПК для соответствующих загрузок, а затем строит аналогичную модель в PLAXIS 3D. После экспорта возможно произвести расчет проекта PLAXIS 3D. Результатами совместного расчета могут быть как заданные перемещения, назначенные опорным узлам ПК, так и измененные жесткости пружин, моделирующих грунт в ПК.

#### 3.1.1 Требования к модели

- Единицы измерения, используемые в модели ПК и проекте PLAXIS 3D, должны быть одинаковыми (кН и м).
- В модели ПК обязательно должны присутствовать пружины (Springs), моделирующие взаимодействие конструкций с грунтом. Используемые направления – X, Y и Z в ГСК.
- В модели ПК должен присутствовать по крайней мере один статический расчет (Load Case).
- В проекте PLAXIS 3D помимо InitialPhase должна присутствовать по крайней мере одна фаза в режиме 1 и по крайней мере две фазы в режиме 2.
- В проекте PLAXIS 3D должны присутствовать данные о грунтах (Soil).

#### 3.1.2 Передаваемые элементы

В рамках экспорта модели из ПК в PLAXIS 3D передаются:

- Узлы
- Свойства материалов
  - Изотропных
  - Ортоотропных
- Стержни (только с постоянным сечением):
  - Геометрия стержней
  - Жесткость стержней – геометрические характеристики сечения и материал
  - Направление локальных осей стержней
  - Модификаторы к сечению стержня (*Frame Section Modifier*)
  - Модификаторы к свойствам стержня (*Frame Property Modifier*)

- Пластины
  - Геометрия пластин
  - Жесткость пластин постоянной толщины – толщина и материал
  - Жесткость пластин переменной толщины (когда изменение толщины задано параметром *By Points*) – толщина и материал
  - Модификаторы к толщине пластин (*Area Section Modifier*)
  - Модификатор *Weight* для свойств пластин (*Area Stiffness Modifier*)
- Собственный вес элементов
- Нагрузки на узлы (в ГСК и ЛСК)
- Нагрузки на стержни (в ГСК и ЛСК):
  - Сосредоточенные (*Point*)
  - Равномерно распределенные (*Distributed*)
  - Неравномерно распределенные (*Distributed*)
- Нагрузки на пластины (в ГСК и ЛСК):
  - Равномерно распределенные (*Uniform*)
  - Равномерно распределенные на стержни (*Uniform to Frame*)
  - Давление на поверхность (*Surface pressure*). – только по направлению 3 ЛСК (когда давление задано параметром *By Element*).

Поскольку глобальные системы координат ПК и PLAXIS 3D совпадают (декартовы, правосторонние), координаты элементов ПК будут соответствовать координатам вновь создаваемых элементов в PLAXIS 3D. Это необходимо учитывать при создании проекта PLAXIS 3D.

Все нагрузки в проекте PLAXIS 3D прикладываются в ГСК.

Все материалы плитных элементов (*Plate*) в PLAXIS 3D задаются ортотропными. Для изотропных материалов назначаются одинаковые свойства по всем направлениям. Для ортотропных материалов назначаются соответствующие свойства по соответствующим направлениям.

При экспорте пластин переменной толщины их толщина в PLAXIS 3D усредняется. В этом случае толщина задается как среднее арифметическое толщин в узлах

После модификации исходного проекта PLAXIS 3D рекомендуется открыть его и ознакомиться с результатами экспорта, а также настроить отключение необходимых элементов и кластеров грунта на стадиях.

### 3.1.3 Оптимизация

Для ускорения процесса передачи модели программа оптимизирует некоторые параметры при экспорте:

- Стержни с одинаковыми жесткостями и направлением локальных осей объединяются в один стержень.
- При действии на стержень распределенных нагрузок он разбивается таким образом, чтобы каждый участок стержня имел либо равномерно распределенную нагрузку, либо нагрузку с постоянным градиентом.
- Сосредоточенные нагрузки на стержни прикладываются как точечные нагрузки (Point load) в PLAXIS 3D и затем прикрепляются к соответствующим балочным элементам (Beam).
- Конечные элементы пластин с одинаковой жесткостью, лежащие в одной плоскости и имеющие 2 общих узла, объединяются в одну пластину.
- Нагрузки на пластины из одного нагружения, совпадающие по величине и направлению, объединяются в одну нагрузку.
- Если в узлах пластин в ПК созданы пружины (Springs), то в PLAXIS 3D соответствующим плитным элементам (Plate) могут быть автоматически присвоены интерфейсы (Interface).

### 3.1.4 Автоматическая активация элементов и нагрузок

Программа может автоматически активировать элементы и нагрузки на соответствующих стадиях PLAXIS 3D.

В общем случае нагрузки создаются с единичным значением. При активации на стадии значение нагрузки заменяется значением, взятым из соответствующего расчета (Load Case) SAP2000.

Отверстия в плитных элементах в PLAXIS 3D активируются непосредственно на стадиях.

Если коэффициент собственного веса в расчете (Load Case) SAP2000 отличается от «1,0», программа автоматически создает необходимые материалы в PLAXIS 3D и присваивает их соответствующим элементам на соответствующих стадиях PLAXIS 3D. При этом в качестве коэффициента собственного веса программа находит суммарный коэффициент от всех нагружений (Load Pattern) входящих в расчет (Load Case) SAP2000.

### 3.1.5 Расчеты

После экспорта модели из ПК в PLAXIS 3D становится возможным произвести расчет системы «конструкция-основание». Результаты этого расчета можно передать в модель ПК двумя различными способами.

### **Режим 1. Передача перемещений узлов**

В этом режиме к опорным узлам модели РК программа прикладывает предварительно заданные перемещения, полученные из PLAXIS 3D.

Порядок расчета следующий:

- Производится расчет фазы PLAXIS 3D, содержащей грунт и конструкцию (Фазы с конструкцией)
- В узлах PLAXIS 3D, соприкасающихся с грунтом, вычисляются перемещения
- Для каждого узла РК, который не является узлом пластины, находится соответствующий узел PLAXIS 3D.
- Для каждого узла РК, который является узлом пластины, находятся 3 соответствующих узла PLAXIS 3D, которые удовлетворяют следующим критериям:
  - Узлы PLAXIS 3D должны лежать в одной плоскости с узлом РК
  - Узлы PLAXIS 3D должны образовывать треугольник, внутри которого лежит узел РК
  - Узлы PLAXIS 3D должны быть ближайшими к узлу РК
- Используя процедуру интерполяции, вычисляется перемещение узла РК
- На все узлы РК, имеющие пружины (Spring), накладываются опорные связи (Support) по направлениям X, Y и Z в ГСК
- Вычисленное перемещение прикладывается к узлу РК как предварительно заданное

Преимуществом данного режима является возможность работы с несколькими расчетами (Load Case) в рамках одной модели. При этом для каждого расчета (Load Case) будет составляться свое загрузке (Load Pattern), состоящее из предварительно заданных перемещений опорных узлов.

К недостаткам режима относится высокая чувствительность к точности передаваемых значений перемещений. Даже при небольшом изменении предварительно заданных перемещений в узлах пластин можно получить значительное изменение внутренних усилий в элементах.

### **Режим 2. Изменение жесткостей пружин**

Результатом работы этого режима являются обновленные жесткости пружин в узлах модели РК.

Порядок расчета следующий:

- Производится расчет *Фазы с конструкцией*.
- В узлах PLAXIS 3D, соприкасающихся с грунтом, вычисляются перемещения.



- Производится расчет фазы PLAXIS 3D, содержащей *След конструкции* РК (*Фазы со следом*). На этой стадии расчета всем узлам, принадлежащим *Следу*, задаются нулевые перемещения.
- Считываются реакции грунта от нулевых перемещений в узлах, принадлежащих *Следу*.
- Реакции от нулевых перемещений приводятся к узлам РК и прикладываются как активные силы. Эти силы моделируют активное давление грунта в модели РК.
- Перемещения, полученные в ходе расчета *Фазы с конструкцией*, прикладываются как предварительно заданные в *Фазу со следом*.
- Считываются реакции грунта от предварительно заданных перемещений узлов в PLAXIS 3D.
- Перемещения узлов PLAXIS 3D приводятся к узлам РК по правилу, описанному для Режима 1
- Реакции от предварительно заданных перемещений также приводятся к узлам РК.
- На основании реакций и перемещений узлов вычисляется обновленная жесткость пружин SAP2000 по каждому направлению по формуле:

$$K_{ij} = \frac{R_{ij}}{u_{ij}}$$

где  $R_{ij}$  – реакция в PLAXIS 3D по  $i$ -му направлению (X, Y или Z), приведенная к  $j$ -му узлу SAP2000;

$u_{ij}$  – перемещение  $j$ -го узла по  $i$ -му направлению реакции.

- Обновленная жесткость назначается пружинам в модели РК
- Выполняется расчет модели РК с обновленной жесткостью пружин

### 3.2 Подход 2. Итерационный подход

При использовании итерационного подхода программа последовательно совершает расчеты в РК и PLAXIS 3D до достижения сходимости результатов с заданной погрешностью. Грунт в РК в этом случае моделируется пружинами по заданным направлениям. Перемещения, полученные в результате расчета в РК, прикладываются как предварительно заданные к модели грунта PLAXIS 3D. В узлах PLAXIS 3D вычисляются реакции от заданных перемещений. На основании полученных результатов рассчитываются новые жесткости пружин, которые назначаются пружинам в модели РК. Процесс повторяется до достижения сходимости по реакциям в РК и PLAXIS 3D с заданной невязкой.

При использовании этого подхода хорошая сходимость достигается для следующих моделей:

- Горизонтальные плиты (при учете пружин только в направлении Z)
- Вертикальные стенки, параллельные осям ГСК X или Y (по направлению, перпендикулярному плоскости стенки).

В остальных случаях сходимость не гарантируется. Это связано с особенностями реализации.

### 3.2.1 Требования к модели

- Единицы измерения, используемые в модели РК и проекте PLAXIS 3D, должны быть одинаковыми (кН и м).
- Элементы, взаимодействующие с грунтом в модели РК, и экспортированный *След конструкции* в проекте PLAXIS 3D должны располагаться в одном и том же месте относительно ГСК.
- В модели РК обязательно должны присутствовать пружины (Springs), моделирующие взаимодействие конструкций с грунтом. Используемые направления – X, Y и Z в ГСК.
- Первоначальная жесткость пружин может быть любой. Рекомендуется назначать жесткость пружин в узлах пластин РК по следующей формуле:

$$K = \frac{E}{d^2}$$

где  $E$  – средний модуль деформации грунта, взаимодействующего с конструкцией;

$d$  – средний размер элемента РК.

- Допускается назначение опорных связей узлу с пружинами, в том числе по направлениям, совпадающим с направлением пружин.
- В проекте PLAXIS 3D должна присутствовать по крайней мере одна фаза, помимо Initial\_phase.
- В проекте PLAXIS 3D должны присутствовать данные о грунтах (Soil).

### 3.2.2 Подготовка к расчету

Перед расчетом необходимо передать в PLAXIS 3D *След конструкции* РК. Это может быть сделано в автоматическом режиме с использованием соответствующей функции программы. После этого рекомендуется открыть проект PLAXIS 3D и ознакомиться с результатами экспорта, а также включить/отключить необходимые элементы на фазе.

При создании *Следа* программа в автоматическом режиме прикладывает заданные перемещения ко всем поверхностям и точкам *Следа*. Используемые направления – X, Y, Z, величина заданных перемещений –  $10^{-8}$  м.

Важно отметить, что при назначении пружин в узлах РК пользователь может назначать пружины не по всем направлениям. Допустим, для горизонтальной плиты это могут быть только пружины по глобальному направлению Z, а для вертикальных стенок – только пружины по направлениям X и/или Y. При этом следует обратить внимание на то, чтобы конструкция оставалась геометрически неизменяемой.

### 3.2.3 Расчет

После экспорта *Следа* конструкции из РК в PLAXIS 3D становится возможным произвести расчет системы «конструкция-основание». Расчет производится итерациями до достижения заданной невязки.

Расчет происходит в следующем порядке:

- Запускается модель РК и происходит проверка исходных данных модели.
- Запускается PLAXIS 3D и происходит проверка исходных данных проекта.
- После проверки исходных данных запускается модель РК, и программа считывает данные из этой модели.
- Запускается модель PLAXIS 3D и к *Следу конструкции* прикладываются предварительно заданные перемещения величиной  $1 \cdot 10^{-8}$  м.
- Реакции, полученные на предыдущем шаге, распределяются по узлам РК и прикладываются к ним в качестве активного давления (активных сил по соответствующим направлениям). При этом в модели РК создается отдельное нагружение (Load Pattern), который включается в расчет (Load Case), который был выбран при назначении параметров совместного расчета. Дальнейшие вычисления происходят с учетом этого активного давления грунта.
- Запускается модель РК, выполняется ее расчет с учетом сил активного давления, и программа считывает перемещения опорных узлов.
- Полученные перемещения в пружинах распределяются на узлы PLAXIS 3D и прикладываются к ним как предварительно заданные перемещения. Распределение происходит по интерполяции. При распределении для каждого узла PLAXIS 3D находятся 3 узла РК, удовлетворяющих следующим условиям:
  - Узлы РК должны лежать в одной плоскости с узлом PLAXIS 3D
  - Узлы РК должны образовывать треугольник, внутри которого лежит узел PLAXIS 3D
  - Узлы PLAXIS 3D должны быть ближайшими к узлу РК
- Полученные в PLAXIS 3D реакции в узлах на заданное перемещение приводятся к узлам РК.
- На основании полученных данных вычисляется обновленная жесткость пружин РК по следующей формуле:

$$K_{x(y,z)} = \frac{R_{x(y,z)}}{u_{x(y,z)}}$$

где  $R_{x(y,z)}$  – реакция грунта, приведенная к узлу РК, по направлению X, Y или Z;

$u_{x(y,z)}$  – перемещение узла по направлению реакции.

- Обновленная жесткость назначается пружинам в модели РК
- Выполняется расчет модели РК с обновленной жесткостью пружин
- После выполнения расчета выполняется вычисление невязки между результатами текущего и предыдущего расчетов по формуле, выбранной в настройках (см. п. 3.2.4).
- Если полученная невязка хотя бы по одному из направлений X, Y или Z больше заданной, итерация повторяется. Если меньше – расчет заканчивается.

### 3.2.4 Формулы невязки

При расчете невязки используются следующие формулы:

Формула 1:

$$\sigma = \frac{\sqrt{\frac{1}{n} \cdot \sum_{i=0}^n (F_{i\text{PK}} - F_{i\text{PLAXIS 3D}})^2}}{F_{\max} - F_{\min}}$$

где  $n$  – общее количество узлов с пружинами в РК;

$F_{i\text{PK}}$  – реакция в пружине РК в направлении  $i$  (X, Y или Z);

$F_{i\text{PLAXIS 3D}}$  – узловая сила PLAXIS 3D в направлении  $i$ .

Формула 2:

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2};$$

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i; \quad x_i = 1 - \left| \frac{F_{i\text{PK}}}{F_{i\text{PLAXIS 3D}}} \right|$$

где  $n$  – общее количество узлов с пружинами в РК;

$x_i$  –  $i$ -е отношение;

$\bar{x}$  – среднее арифметическое отношение;

$F_{i \text{ PK}}$  – реакция в пружине PK в направлении  $i$  (X, Y или Z);

$F_{i \text{ PLAXIS 3D}}$  – узловая сила PLAXIS 3D в направлении  $i$ .

## 4 Графический интерфейс программы

### 4.1 Окно программы

Рассмотрен пример графического интерфейса для связи с расчетным комплексом SAP2000. Графический интерфейс программы состоит из меню, панели инструментов, полей для ввода исходных данных, области протокола и графической области (Рисунок 4.1).

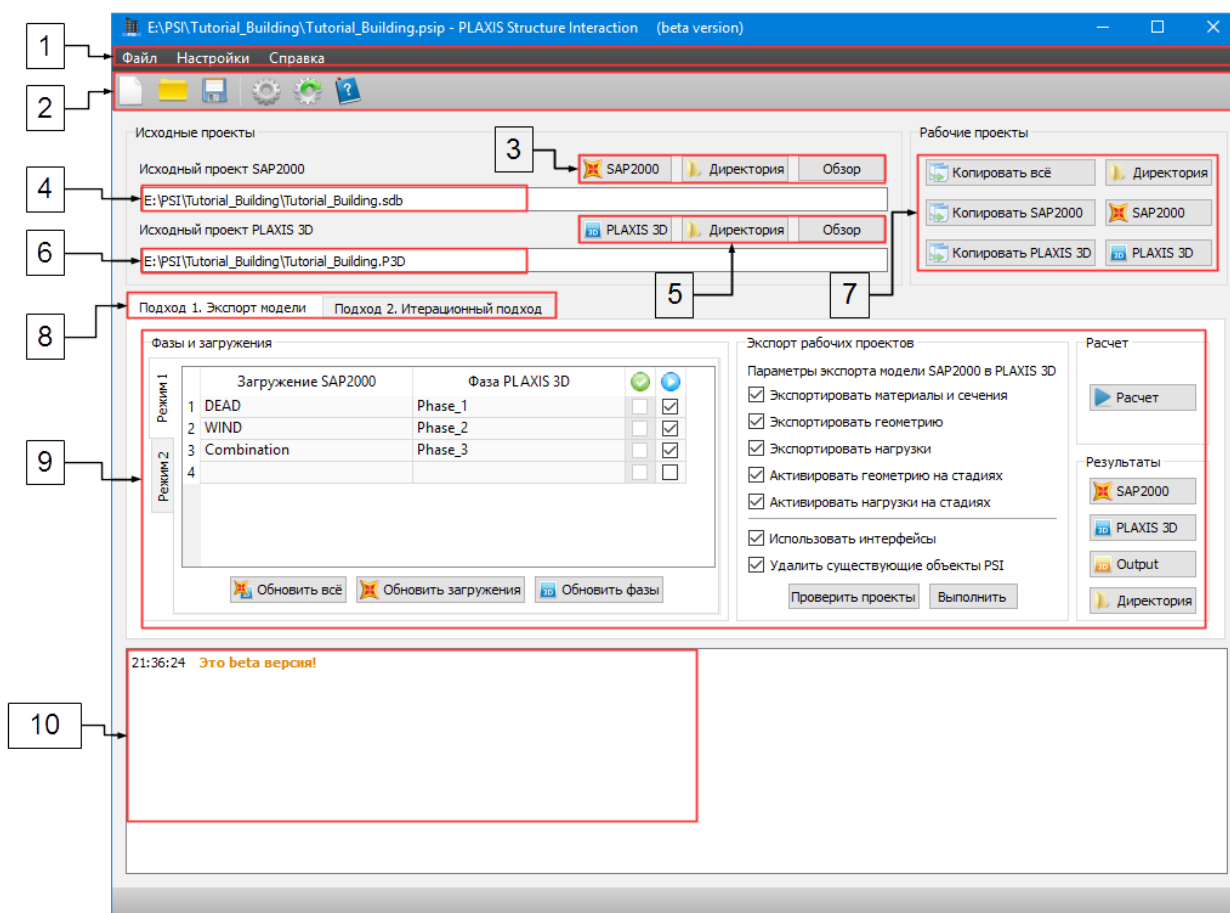
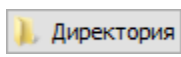


Рисунок 4.1. Графический интерфейс программы

- 1 – Строка меню;
- 2 – Панель инструментов;
- 3 – Кнопки управления исходным проектом SAP2000:

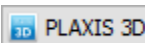
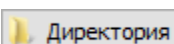
 – Открывает исходный проект SAP2000;

 – Открывает директорию, содержащую исходный проект SAP2000;

 – Кнопка выбора исходного проекта SAP2000;

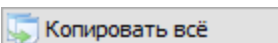
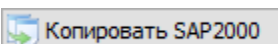
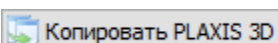
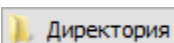
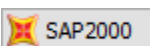
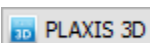
4 – Путь исходного проекта SAP2000;

5 – Кнопки управления исходным проектом PLAXIS 3D:

 – Открывает исходный проект PLAXIS 3D; – Открывает директорию, содержащую исходный проект PLAXIS 3D; – Кнопка выбора исходного проекта PLAXIS 3D;

6 – Путь к выбранному проекту PLAXIS 3D;

7 – Кнопки управления рабочими проектами:

 – Копирует исходные проекты SAP2000 и PLAXIS 3D в рабочую директорию; – Копирует исходный проект SAP2000 в рабочую директорию; – Копирует исходный проект PLAXIS 3D в рабочую директорию; – Открывает рабочую директорию; – Открывает рабочий проект SAP2000; – Открывает рабочий проект PLAXIS 3D;

8 – Вкладки переключения режимов работы программы;

9 – Параметры выбранного подхода;

10 – Протокол.

## 4.2 Меню

Меню состоит из следующих команд:

### Файл

- **“Новый”** – создает новый проект;
- **“Открыть”** – открывает существующий проект;
- **“Сохранить”** – сохраняет проект;

- **“Сохранить как...”** – сохраняет проект под другим именем;
- **“Недавние файлы”** – открывает проект из списка недавно открытых проектов;
- **“Выход”** – выйти из программы;

### **Настройки**

- **“Настройки”** – показать/изменить настройки программы. Открывает окно “Настройки” (см. п.4.8);

### **Справка**

- **“Руководство”** – открывает руководство пользователя;
- **“Проверка обновлений”** – проверяет наличие обновлений программы вручную. В случае наличия обновлений откроется окно “Обновления” (см. п.4.9). В противном случае будет отображено сообщение об отсутствии доступных обновлений;
- **“Домашняя страница”** – открывает веб-страницу с информацией о программе;
- **“О программе”** – открывает окно с информацией о программе.

## **4.3 Панель инструментов**

Панель инструментов дублирует функции следующих функций меню:



– “Новый”;



– “Открыть”;



– “Сохранить”;



– “Настройки”;



– “Проверка обновлений”;



– “Руководство”.



## 4.4 Параметры подхода с экспортом полной модели

### 4.4.1 Режим 1

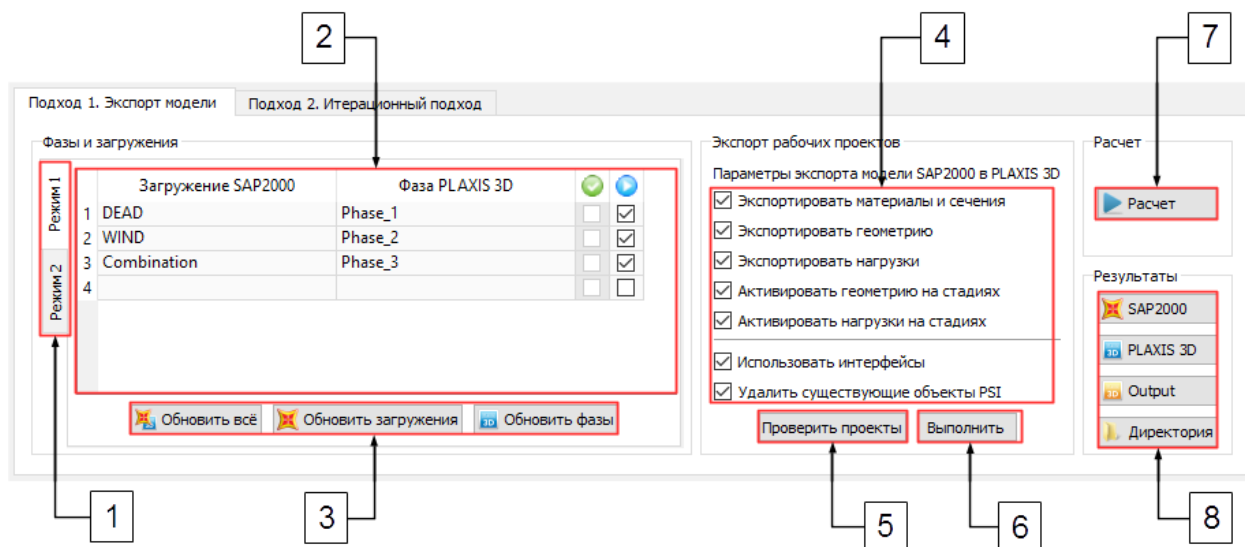


Рисунок 4.2. Параметры режима 1 подхода с экспортом модели

**1** – Вкладки выбора режима для подхода с экспортом модели;

**2** – Список соответствия расчетов SAP2000 и фаз PLAXIS 3D;

**3** – Кнопки обновления списка расчетов и фаз:

 – Обновить расчеты SAP2000 и фазы PLAXIS 3D;

 – Обновить *только* расчеты SAP2000;

 – Обновить *только* фазы PLAXIS 3D;

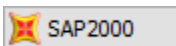
**4** – Параметры экспорта;

**5** – Кнопка запуска процедуры проверки рабочих проектов на корректность;

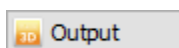
**6** – Кнопка запуска процедуры экспорта;

**7** – Кнопка запуска расчета и процедуры переноса перемещений из проекта PLAXIS 3D в модель SAP2000;

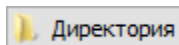
**8** – Кнопки вывода результатов совместного расчета:

 – Открыть результирующую модель SAP2000;

 – Открыть результирующий проект PLAXIS 3D Input;


**Output**

– Открыть результирующий проект в PLAXIS 3D Output;


**Директория**

– Открыть папку проекта.

### Список загрузений

Список загрузений представляет из себя интерактивную таблицу, где задается соответствие между расчетами SAP2000 и фазами PLAXIS 3D (Рисунок 4.3).

	Загрузка SAP2000	Фаза PLAXIS 3D		
1	DEAD	Phase_1	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
2	WIND	Phase_2	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
3	Combination	Phase_3	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
4			<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Рисунок 4.3. Список загрузений

При двойном клике на любой ячейке активируется выпадающий список расчетов SAP2000 или фаз PLAXIS 3D (Рисунок 4.4).

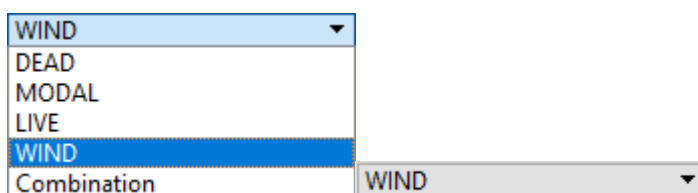


Рисунок 4.4. Выпадающий список: развернутый (справа) и свернутый (слева)

Если в выпадающем списке отсутствуют элементы, то необходимо или обновить расчеты/фазы, либо добавить расчеты/фазы в исходные проекты (если после обновления выпадающий список остается пустым).

При повторном нажатии на ячейке выпадающий список сворачивается, но ячейка остается в режиме списка. При выборе другой ячейки осуществляется переход в режим выбора.

После выделения одной или нескольких ячеек возможно отредактировать их с помощью команд контекстного меню (Рисунок 4.5). Контекстное меню вызывается по клику правой кнопкой мыши в области таблицы.

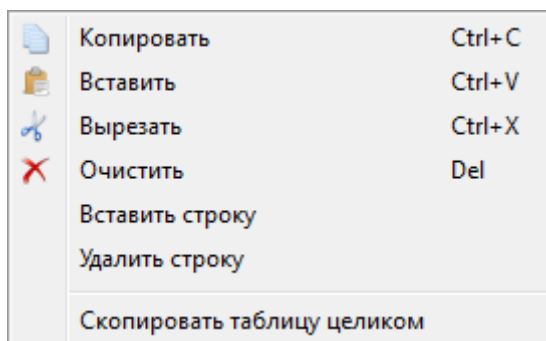






Рисунок 4.5. Контекстное меню

Копирование/вставка доступны из Microsoft Excel, OpenOffice Calc, Блокнота и других программ.

В правой части таблицы расположены 2 столбца, которые отвечают за расчет выбранных фаз в PLAXIS 3D (Рисунок 4.6). Если после обновления фаз в столбце  отображена галочка, значит для выбранной фазы доступны результаты (фаза посчитана в PLAXIS 3D). В последнем столбце  можно отметить, какие фазы необходимо пересчитать, даже если для них уже есть результаты.

Например, для ситуации, отображенной на Рисунок 4.6 в процессе расчета будут посчитаны фазы Phase\_2 и Phase\_3, а Phase\_1 посчитана не будет, поскольку для нее уже есть результаты (галочка в столбце ) , и она не отмечена галочкой в столбце .



	Загрузка SAP2000	Фаза PLAXIS 3D		
1	DEAD	Phase_1	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2	WIND	Phase_2	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
3	Combination	Phase_3	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4			<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Рисунок 4.6. Свойства фаз PLAXIS 3D

#### 4.4.2 Режим 2

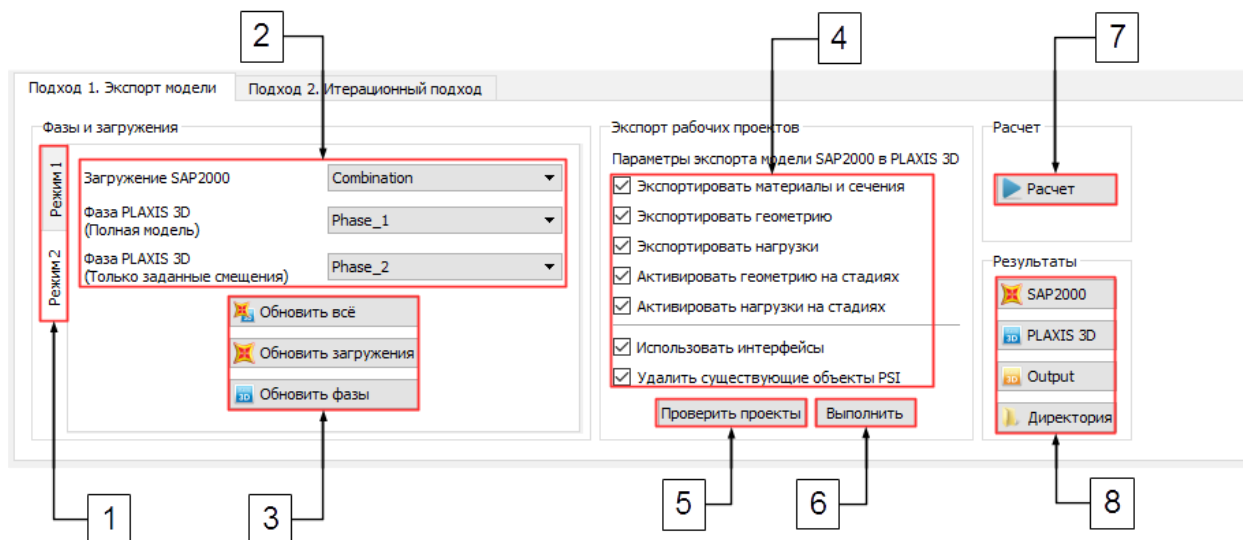


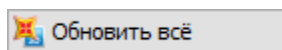
Рисунок 4.7. Параметры режима 2 подхода с экспортом модели

**1** – Вкладки выбора режима для подхода с экспортом модели;

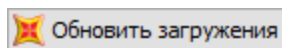
**2** – Списки соответствия расчета SAP2000 и фаз PLAXIS 3D:

- *Расчет SAP2000* – расчет, нагрузки и геометрия из которого экспортируются в PLAXIS 3D. При этом в этот же расчет прикладываются силы активного давления грунта;
- *Фаза PLAXIS 3D (Полная модель)* – фаза, содержащая экспортированную модель;
- *Фаза PLAXIS 3D (Только заданные смещения)* – фаза, на которой будет деактивирована модель конструкции и активированы только предварительно заданные смещения для получения реакций в опорных узлах.

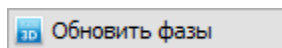
**3** – Кнопки обновления списка расчетов и фаз:



– Обновить расчеты SAP2000 и фазы PLAXIS 3D;



– Обновить *только* расчеты SAP2000;



– Обновить *только* фазы PLAXIS 3D;





**4** – Параметры экспорта;

**5** – Кнопка запуска процедуры проверки рабочих проектов на корректность;

**6** – Кнопка запуска процедуры экспорта;

**7** – Кнопка запуска расчета и процедуры изменения жесткости пружин в модель SAP2000;

8 – Кнопки вывода результатов совместного расчета:

-  SAP2000 – Открыть результирующую модель SAP2000;
-  PLAXIS 3D – Открыть результирующий проект PLAXIS 3D Input;
-  Output – Открыть результирующий проект в PLAXIS 3D Output;
-  Директория – Открыть папку проекта.

#### 4.5 Параметры итерационного подхода

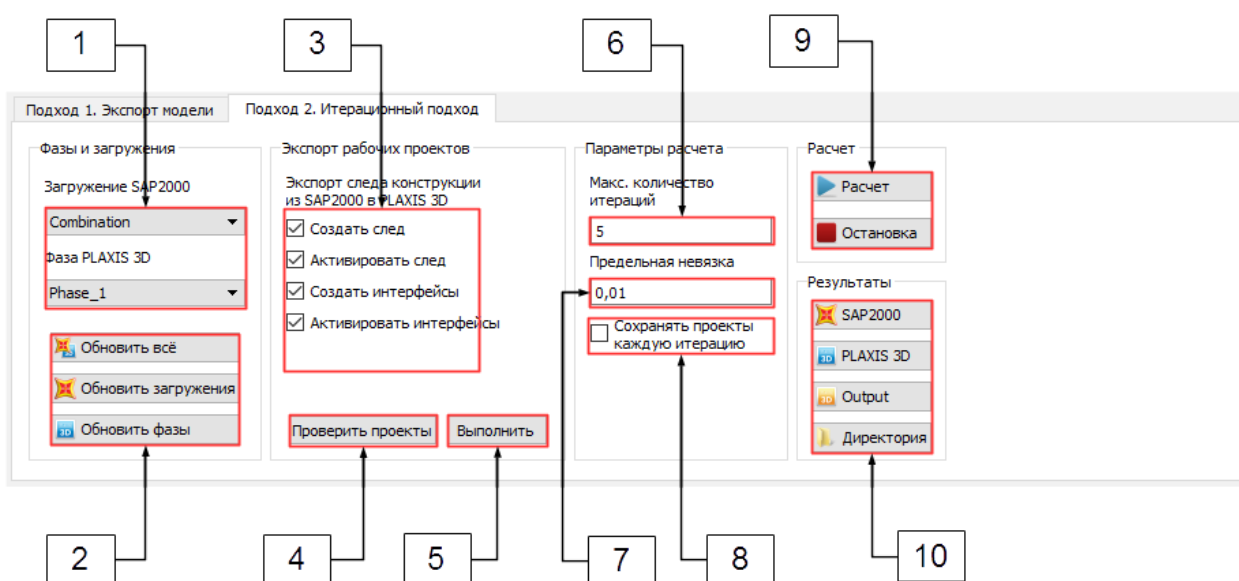





Рисунок 4.8. Параметры итерационного подхода

1 – Список соответствия загрузок SAP2000 и фаз PLAXIS 3D;

2 – Кнопки обновления списка расчетов и фаз:

-  Обновить всё – Обновить расчеты SAP2000 и фазы PLAXIS 3D;
-  Обновить загрузки – Обновить *только* расчеты SAP2000;
-  Обновить фазы – Обновить *только* фазы PLAXIS 3D;

3 – Параметры экспорта контуров (*Следа конструкции*) из SAP2000 в PLAXIS 3D;

4 – Кнопка запуска процедуры проверки рабочих проектов на корректность;

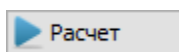
5 – Кнопка запуска процедуры экспорта;

6 – Поле для ввода максимального количества итераций;

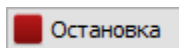
**7** – Поле для ввода предельной невязки (см. п.3.2.4);

**8** – Галочка «Сохранять проекты каждую итерацию» позволяет сохранять промежуточные результаты расчета (при отключенной галочке в рабочей директории будет находиться только результаты финальной итерации);

**9** – Кнопки управления расчетом:

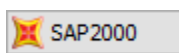


– Запускает процедуру расчета;

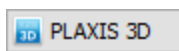


– Останавливает процедуру расчета после завершения текущей итерации (доступна только во время расчета);

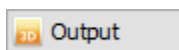
**10** – Кнопки вывода результатов совместного расчета:



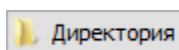
– Открыть результирующую модель SAP2000;



– Открыть результирующий проект PLAXIS 3D Input;



– Открыть результирующий проект в PLAXIS 3D Output;



– Открыть папку проекта.

## 4.6 Область протокола

Область протокола (Рисунок 4.9) отображает всю информацию о ходе работы программы:

- результаты проверки исходных данных, ошибки и предупреждения;
- данные по ходу выполнения расчета, промежуточные результаты, невязка.

```

16:30:44 Проверяются исходные данные
16:30:54 Модуль SAP2000 запущен
16:30:57 Работа модуля SAP2000 выполнена
16:30:57 Исходный проект PLAXIS 3D был изменен по сравнению с предыдущим расчетом
16:31:08 Модуль PLAXIS 3D запущен
16:31:10 Работа модуля PLAXIS 3D выполнена
16:31:10 Исходные данные правильные
16:31:11 Затраченное время: 00:00:27
16:31:11 Расчет запущен
16:31:11 Подготовка данных
16:31:14 Запущен расчет начальной итерации
16:31:14 Модуль SAP2000 запущен
16:31:18 Работа модуля SAP2000 выполнена
16:31:18 Модуль PLAXIS 3D запущен
16:31:37 Работа модуля PLAXIS 3D выполнена
16:31:37 Модуль SAP2000 запущен
16:31:45 Работа модуля SAP2000 выполнена
16:31:45 Расчет начальной итерации завершен
16:31:45 Запущено выполнение итерации 1
16:31:45 Модуль PLAXIS 3D запущен
16:31:55 Работа модуля PLAXIS 3D выполнена
16:31:55 Модуль SAP2000 запущен
    
```

Рисунок 4.9. Протокол расчета

#### 4.7 График сходимости

График сходимости отображает невязку на каждой итерации при использовании подхода 2. Это позволяет пользователю наглядно оценить сходимость итерационного процесса.

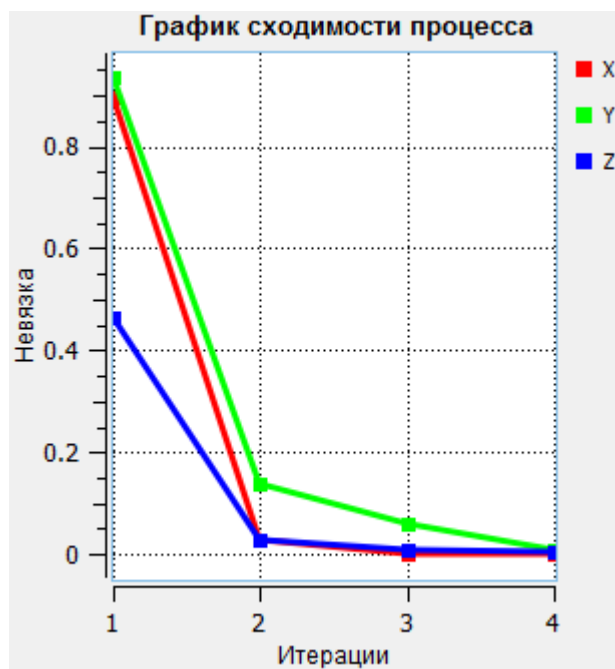


Рисунок 4.10. График сходимости итерационного процесса

На графике отображается невязка сил по каждому из направлений в зависимости от номера итерации. Невязка сил определяется в соответствии с формулой, выбранной в настройках (п.3.2.4).

## 4.8 Окно “Настройки”

Общие настройки программы задаются в окне “Настройки”, которое можно вызвать из меню или с помощью панели инструментов.

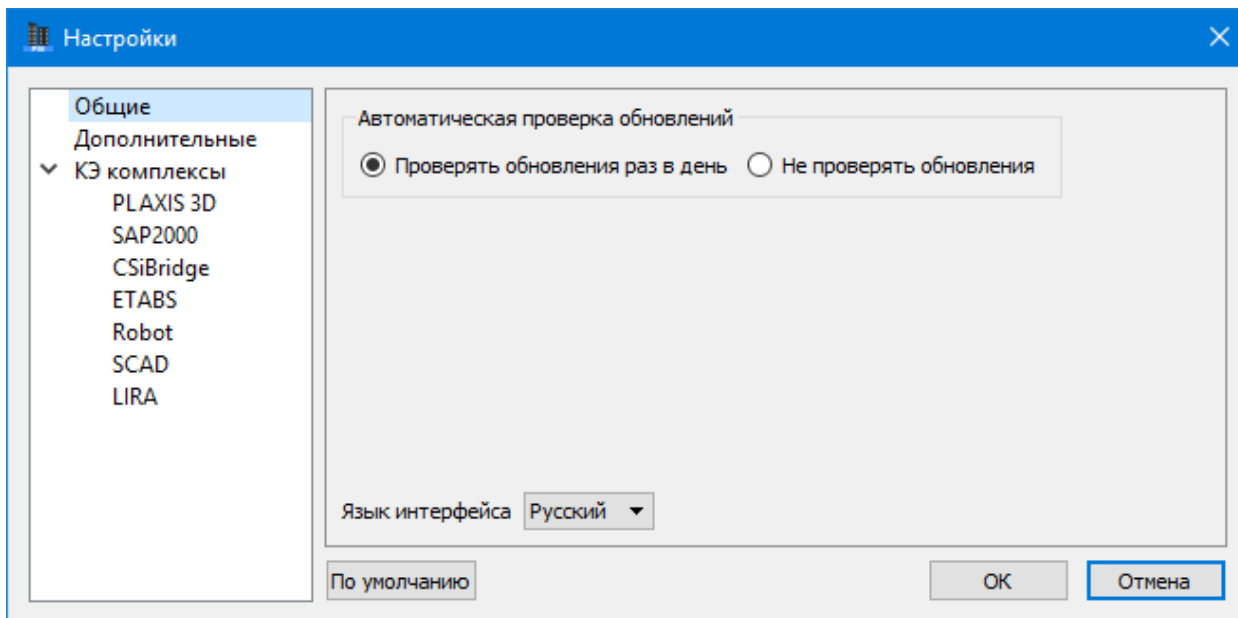


Рисунок 4.11. Окно «Настройки». Основные настройки.

Опция “**Автоматическая проверка обновлений**” позволяет выбрать режим проверки обновлений. Если выбран режим “**Проверять обновления раз в день**”, то при запуске “PLAXIS Structure Interaction” будет проводиться автоматическая проверка обновлений, но не чаще 1 раза в день. Если выбран режим “**Не проверять обновления**”, то автоматическая проверка обновлений выполняться не будет.

Опция “**Язык интерфейса**” позволяет выбрать язык графического интерфейса программы. Доступны следующие языки: Английский, Русский.



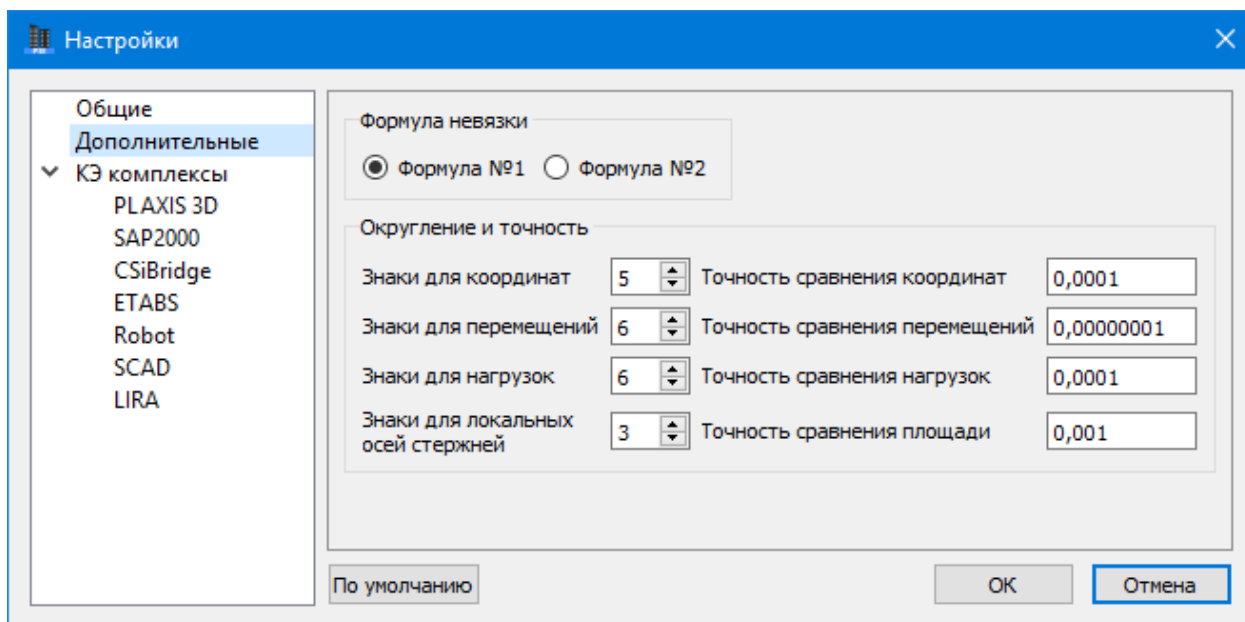


Рисунок 4.12. Окно «Настройки». Дополнительные настройки.

Опция **“Удалять старую рабочую директорию перед расчетом”** позволяет автоматически удалять все содержимое рабочей директории проекта перед каждым расчетом.

Опция **“Формула невязки”** позволяет указать формулу для расчета невязки для итерационного подхода. См. п.3.2.4.

Для возможности более гибкой настройки программы предусмотрена возможность изменения расчетных параметров в группе полей ввода **“Округление и точность”**. Изменение этих параметров может повлиять на корректную работу программы. Для возвращения параметров в исходное состояние можно воспользоваться кнопкой **“По умолчанию”**.

- Поле ввода **“Знаки для координат”** позволяет указать количество знаков для округления координат во время модификации модели PLAXIS 3D.
- Поле ввода **“Знаки для перемещений”** позволяет указать количество знаков для округления нагрузок в виде предварительно заданных перемещений во время модификации модели PLAXIS 3D.
- Поле ввода **“Знаки для нагрузок”** позволяет указать количество знаков для округления нагрузок во время модификации модели PLAXIS 3D.
- Поле ввода **“Знаки для локальных осей стержней”** позволяет указать количество знаков для округления направлений локальных осей стержневых элементов во время модификации модели PLAXIS 3D.
- Поле ввода **“Точность сравнения координат”** позволяет указать точность сравнения координат узлов в алгоритмах PSI.
- Поле ввода **“Точность сравнения перемещений”** позволяет указать точность сравнения перемещений узлов в алгоритмах PSI.

- Поле ввода **“Точность сравнения нагрузок”** позволяет указать точность сравнения нагрузок в алгоритмах PSI.
- Поле ввода **“Точность сравнения площади”** позволяет указать точность сравнения площадей объектов в алгоритмах PSI.

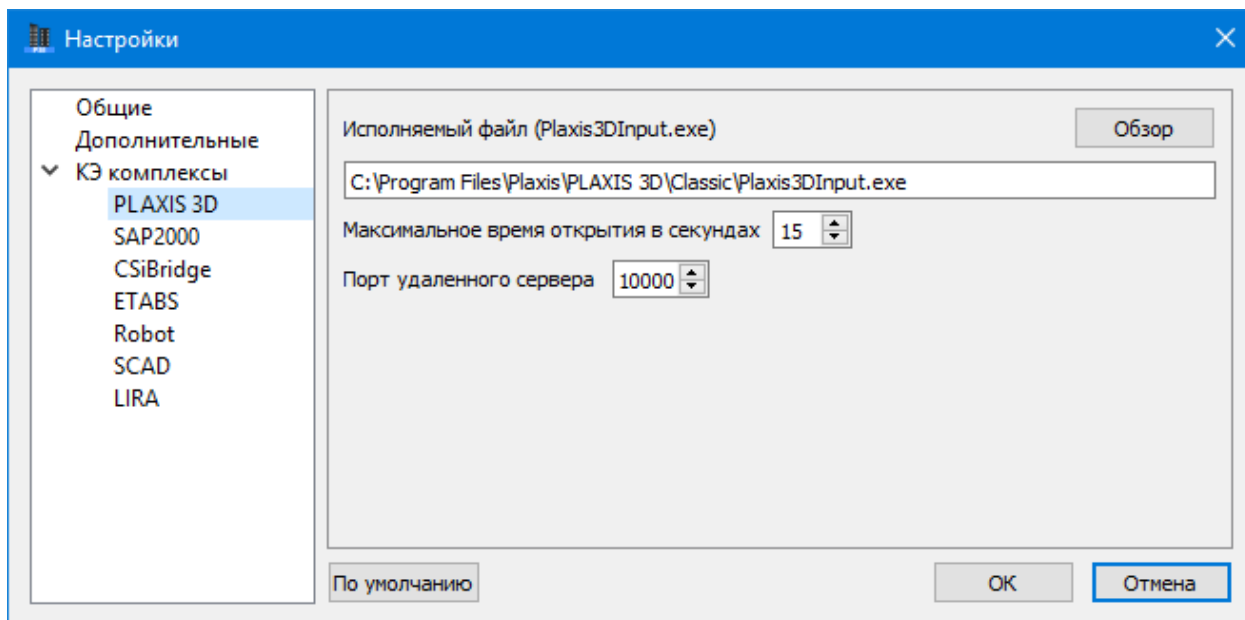


Рисунок 4.13. Окно «Настройки». Дополнительные настройки.

Для работы “PLAXIS Structure Interaction” необходимо заполнить пути всех исполняемых файлов для PLAXIS 3D и остальных расчетных комплексов, нажимая на соответствующие пункты списка. Также необходимо указать максимальное время открытия программ каждого расчетного комплекса в секундах на данном компьютере. Для PLAXIS 3D также необходимо указать порт удаленного сервера, который необходимо добавить в разрешенные порты брандмауэра, если он заблокирован в системе.

## 4.9 Окно “Обновления”

При наличии доступных обновлений отображается окно “Обновления” (Рисунок 4.14). Оно появляется автоматически, если в настройках активирована опция “Автоматически проверять обновления раз в день” или при проверке обновлений вручную.

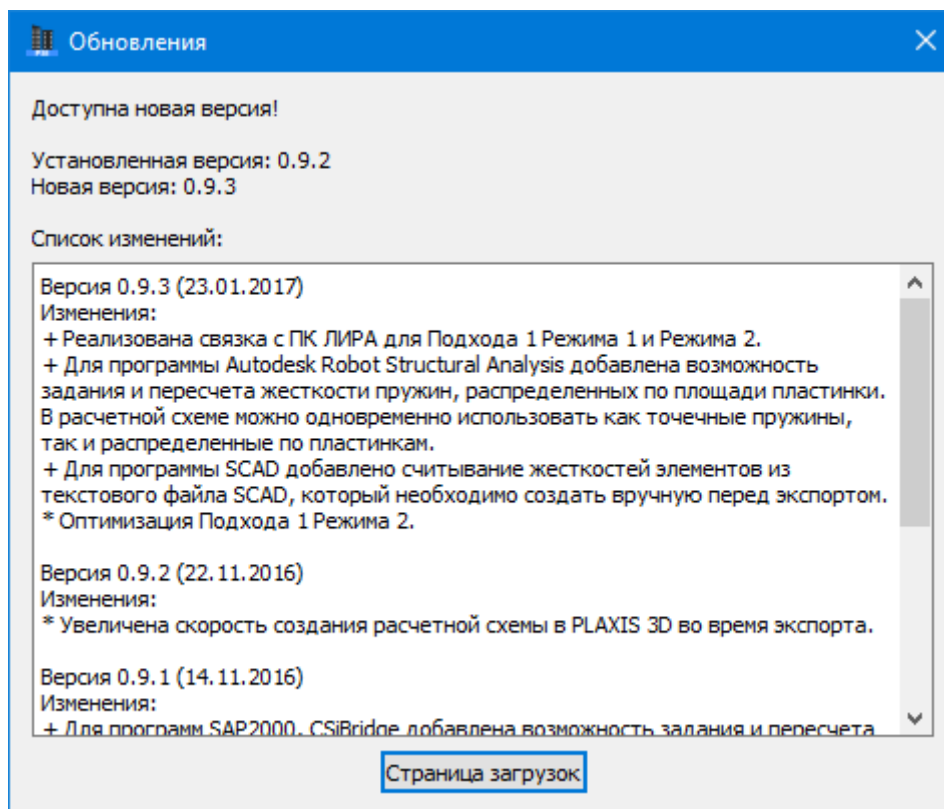


Рисунок 4.14. Окно “Обновления”

Окно содержит номер установленной и номер последней доступной версий программы, список изменений в последней версии и кнопку для посещения страницы загрузок вебсайта программы.

## 5 Порядок работы

### 5.1 Подход 1. Экспорт модели

#### 5.1.1 Режим 1

- Подготовить модель ПК. Создать в опорных узлах пружинки. Модель должна содержать по крайней мере один статический расчет.
- Подготовить проект в PLAXIS 3D. Создать скважины, добавить необходимые элементы в модель. Проект должен содержать по крайней мере одну фазу помимо Initial\_phase.
- Открыть PLAXIS Structure Interaction (PSI). Выбрать исходные модели ПК и PLAXIS 3D (см. п.4.1).
- Сохранить проект PSI. При сохранении следует иметь ввиду, что в той папке, в которой сохранен проект PSI, будет создаваться папка с рассчитанными моделями. Поэтому необходимо заранее позаботиться о достаточном количестве свободного места на выбранном диске.
- Нажать на кнопку «Копировать все» (здесь и далее см. п.4.4.1). После нажатия программа копирует исходные файлы в папку проекта PSI. Дальнейшая работа осуществляется с этими копиями (рабочими проектами).
- Нажать кнопку «Обновить все». После нажатия программа поочередно откроет ПК и PLAXIS 3D и считает существующие загрузки и фазы.
- Назначить соответствие загрузок ПК и фаз PLAXIS 3D в списке загрузок.
- Выбрать элементы, которые необходимо экспортировать из ПК в PLAXIS 3D. При первом экспорте необходимо экспортировать геометрию и нагрузки, активировать их на стадиях, а также автоматически создать интерфейсы для элементов, соприкасающихся с грунтом. При повторном экспорте возможно отдельно экспортировать геометрию, нагрузки, отдельно активировать их на стадиях, а также создать интерфейсы.
- Нажать кнопку «Выполнить». При этом программа считает данные из модели ПК и автоматически построит аналогичную модель в PLAXIS 3D. Нагрузки и элементы будут активированы на фазах в соответствии со Списком загрузок.
- После экспорта рекомендуется ознакомиться с его результатами в проекте PLAXIS 3D. Также можно выполнить расчет проекта PLAXIS 3D (опционально).
- После ознакомления с результатами экспорта необходимо закрыть PLAXIS 3D.
- В окне PSI нажать кнопку «Расчет». После этого программа откроет и свернет ПК и PLAXIS 3D и запустит процедуру совместного расчета. Процесс выполнения

совместного расчета отмечен в протоколе и в прогресс баре в правом нижнем углу окна программы.

- После запуска расчета программа копирует исходные файлы в папку проекта PSI и затем работает с копиями. После окончания совместного расчета можно ознакомиться с его результатами по нажатию на кнопку «Результаты» с соответствующей иконкой (PK или PLAXIS 3D). Также можно открыть папку проекта и запустить файлы вручную.

### 5.1.2 Режим 2

Работа по Режиму 2 практически не отличается от Режима 1 за исключением работы со списком загрузок. В Режиме 2 (см. п.4.4.2) необходимо выбрать одно загрузку PK, для которого будет выполняться расчет, *Фазу с конструкцией* и *Фазу со следом* (см. п.1 «Термины и определения»).

При экспорте необходимо дополнительно выбрать пункт «Создать след конструкции» (активирован по умолчанию).

## 5.2 Подход 2. Итерационный подход

- Подготовить модель PK. Создать в опорных узлах пружинки. Модель должна содержать по крайней мере один статический расчет.
- Подготовить проект в PLAXIS 3D. Создать скважины, добавить необходимые элементы в модель. Проект должен содержать по крайней мере одну фазу помимо Initial\_phase.
- Открыть PLAXIS Structure Interaction (далее *PSI*). Выбрать исходные модели PK и PLAXIS 3D (см. п.4.1).
- Сохранить проект *PSI*. При сохранении следует иметь в виду, что в той папке, в которой сохранен проект *PSI*, будет создаваться папка с рассчитанными моделями. Поэтому необходимо заранее позаботиться о достаточном количестве свободного места на выбранном диске.
- Нажать на кнопку «Копировать все» (здесь и далее см. п.4.4.1). После нажатия программа скопирует исходные файлы в папку проекта PSI. Дальнейшая работа осуществляется с этими копиями (рабочими проектами).
- Нажать кнопку «Обновить все». После нажатия программа поочередно откроет PK и PLAXIS 3D и считывает существующие загрузки и фазы.
- Выбрать загрузку PK и фазу PLAXIS 3D из списка.
- Выбрать элементы, которые необходимо экспортировать в PLAXIS 3D. При первом экспорте необходимо экспортировать *След конструкции* и интерфейсы, а также активировать их на выбранной фазе. При повторном экспорте возможно отдельно

экспортировать *След конструкции* и интерфейсы, а также отдельно активировать их на выбранной фазе PLAXIS 3D.

- Нажать кнопку «Выполнить». При этом программа считает данные из модели РК, автоматически построит *След конструкции* в PLAXIS 3D, создаст для него интерфейсы и активирует *След конструкции* и интерфейсы на выбранной стадии.
- После экспорта рекомендуется ознакомиться с его результатами в проекте PLAXIS 3D.
- После ознакомления с результатами экспорта необходимо закрыть PLAXIS 3D.
- В окне PSI нажать кнопку «Расчет», после этого программа откроет и свернет РК и PLAXIS 3D и запустит процедуру совместного расчета. Процесс выполнения совместного расчета отмечен в протоколе и в прогресс баре в правом нижнем углу окна программы.
- После запуска расчета программа копирует исходные файлы в папку проекта PSI и затем работает с копиями. После окончания совместного расчета можно ознакомиться с его результатами по нажатию на кнопку «Результаты» с соответствующей иконкой (РК или PLAXIS 3D). Также можно открыть папку проекта и запустить файлы вручную.