

Определение диаграммы состояния бетона для расчета в ANSYS

В данной работе определялся вид и характеристики диаграммы состояния бетона при температурах от 50 до 900 °С для расчета методом конечных элементов в программе ANSYS.

Для определения характерных точек диаграммы в качестве примера был выбран тяжелый бетон марки М250 с классом прочности на сжатие В20 и номером состава 19, для которого строилась трехлинейная диаграмма состояния для расчета по 1ой группе предельных состояний при непродолжительном действии нагрузки.

Согласно СП 27.13330.2011 диаграмма бетона при сжатии и растяжении принимается «упруго пластической» с характерными точками, отмеченными на рис. 1.

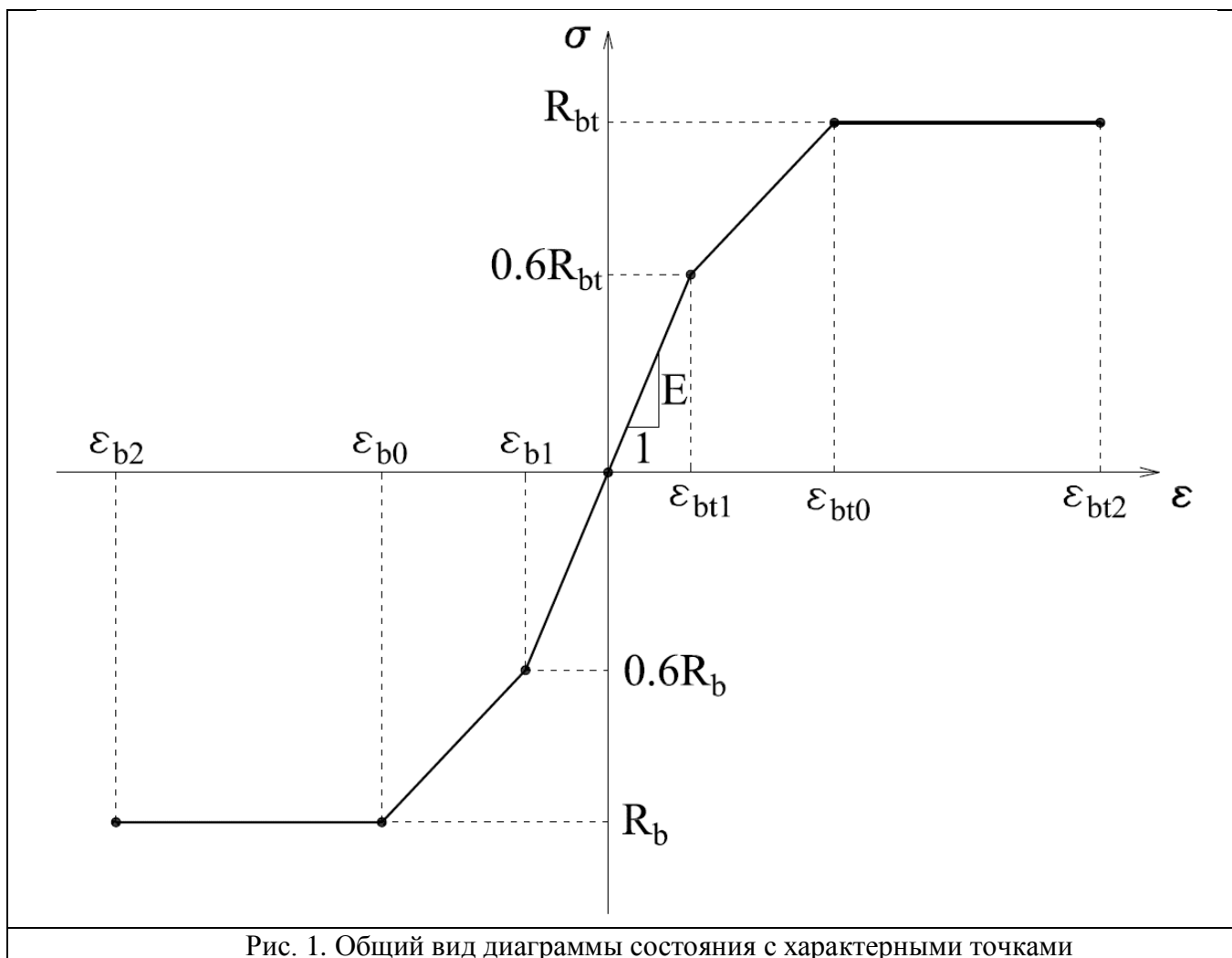


Рис. 1. Общий вид диаграммы состояния с характерными точками

В программе Mathcad была построена «упруго-пластическая» диаграмма на растяжение и сжатие при 50 °С. Все деформационные характеристики были приняты в соответствии с СП 27.13330.2011 (рис. 2,а). С учетом изменения деформационных характеристик в диапазоне температур 50 ÷ 900 °С данная диаграмма принимает вид, представленный на рис. 2,б.

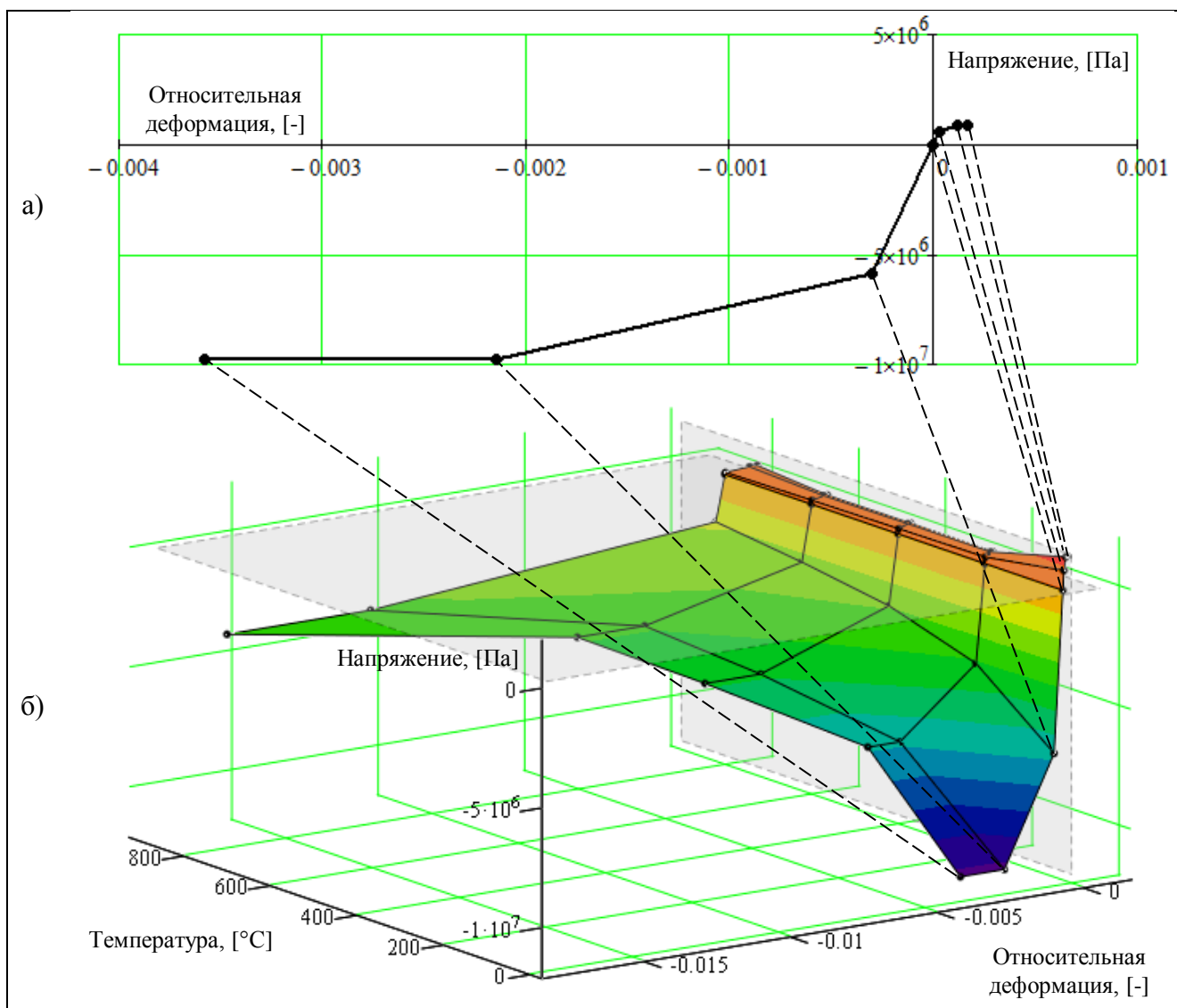


Рис. 2. Диаграмма состояния с характерными точками:

а) при температуре 50 °С;

б) в диапазоне температур 50 ÷ 900 °С

Согласно СП 63.13330.2012 критериями прочности бетона является достижение деформациями бетона предельных значений ϵ_{b2} и ϵ_{bt2} , однако при расчете в ANSYS есть ряд своих особенностей, рассматриваемых ниже.

При растяжении ANSYS использует теорию прочности William-Warнке. Согласно этой теории модель разрушения, соответствующая появлению дефектов в материале, может быть представлена в виде:

$$F(\sigma_i) \geq K_p, \text{ где}$$

$F(\sigma_i)$ – функция состояния, зависящая от главных напряжений ($\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$);

Кр – критерий разрушения материала, описывающий в общем случае, трехмерную поверхность разрушения в пространстве главных напряжений и зависящий от прочностных характеристик материала при разных видах напряженного состояния (рис. 3).

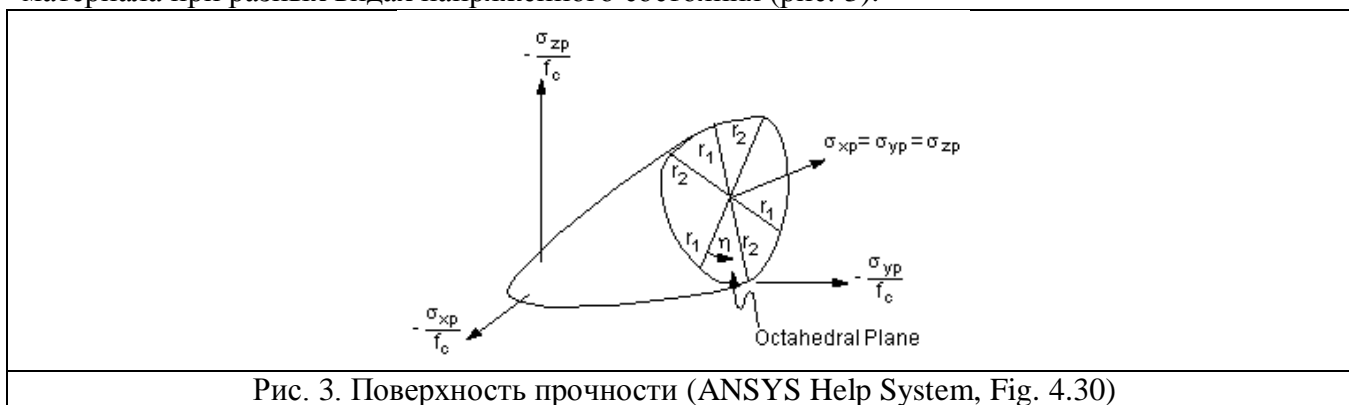


Рис. 3. Поверхность прочности (ANSYS Help System, Fig. 4.30)

Образование трещины происходит, когда в конечном элементе достигается поверхность прочности в пространстве напряжений, называемая “поверхностью трещинообразования”. При выполнении условия возникновения трещины её ориентация фиксируется и учитывается в дальнейшем расчете.

Таким образом в ANSYS используется модель прочности, представленная на рис. 4. Рассматриваемый конечный элемент моделирует упругое поведение материала вплоть до разрушения. При достижении напряжениями значений R_{bt} происходит скачок напряжений и плавное падение их уровня вплоть до нулевой отметки одновременно с ростом деформаций. В направлении перпендикулярном трещине материал работает с пониженным модулем упругости R^t с учетом коэффициента T_c .

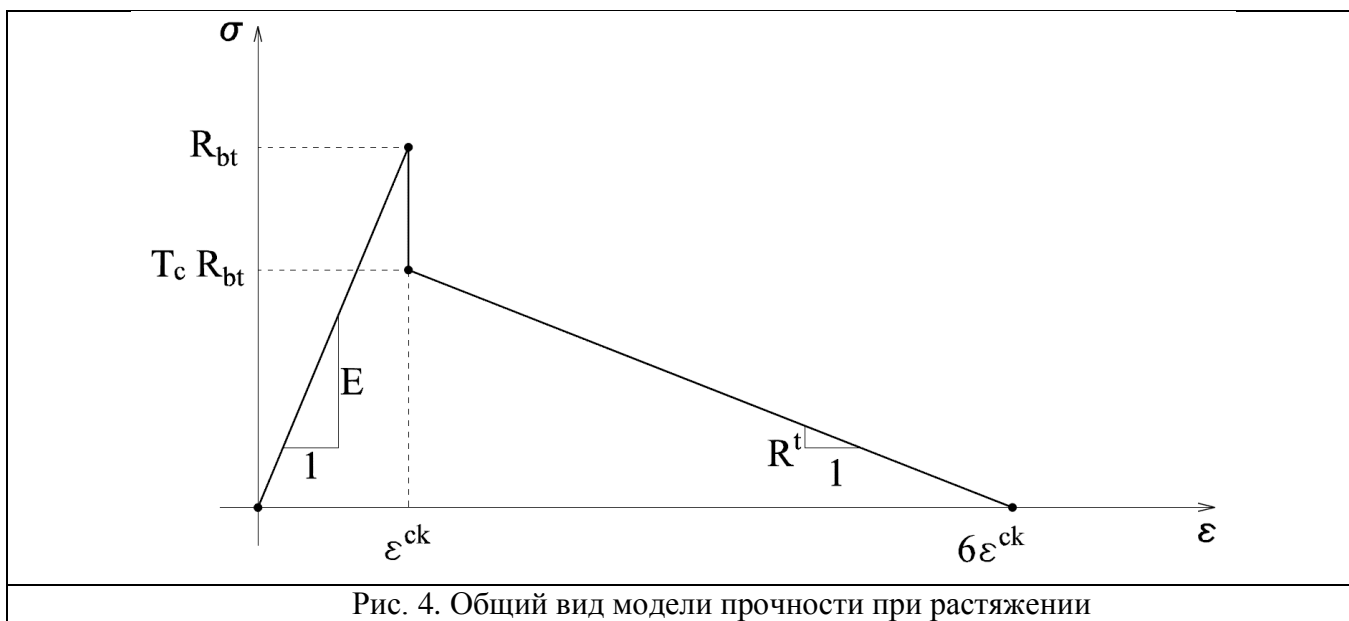
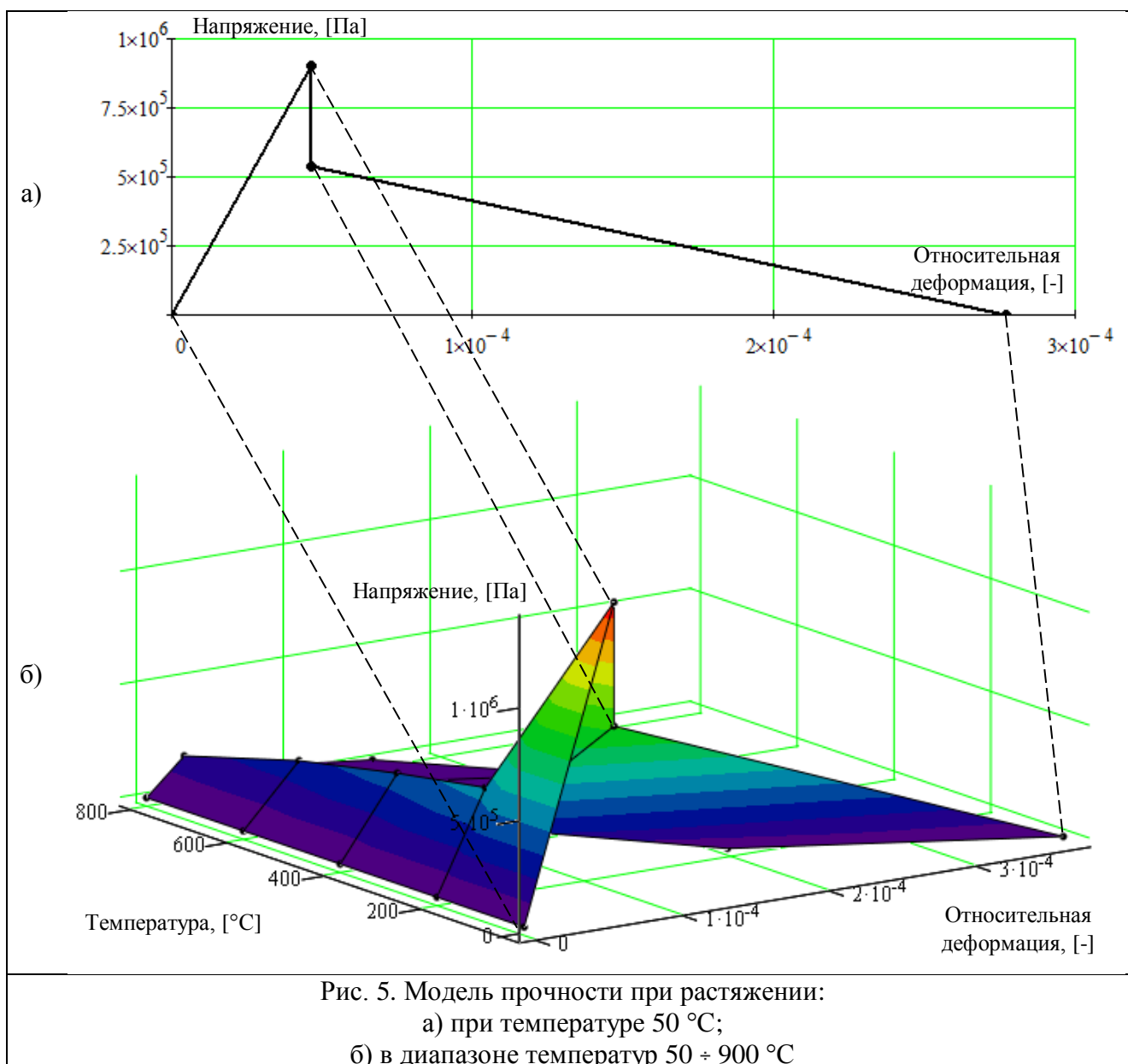


Рис. 4. Общий вид модели прочности при растяжении

В программе Mathcad была построена данная модель при 50 °С (рис. 5,а) и ее изменение в диапазоне температур 50 ÷ 900 °С (рис. 5,б).



При сжатии ANSYS использует последний участок диаграммы бесконечной длины, в связи с этим необходим контроль достижения предельной деформации со стороны пользователя. Стоит отметить, что для улучшения сходимости участок пластической работы задается с незначительным упрочнением и тангенсом угла наклона равным $E/10^6$.

Объединяя модель прочности бетона, заложенную в ANSYS, и особенности использования сжимающей ветви диаграммы состояния с предложенной диаграммой в СП 27.13330.2011, представим свойства бетона с учетом структурного разрушения в виде итоговой диаграммы состояния вдоль любого из направлений (рис. 6).

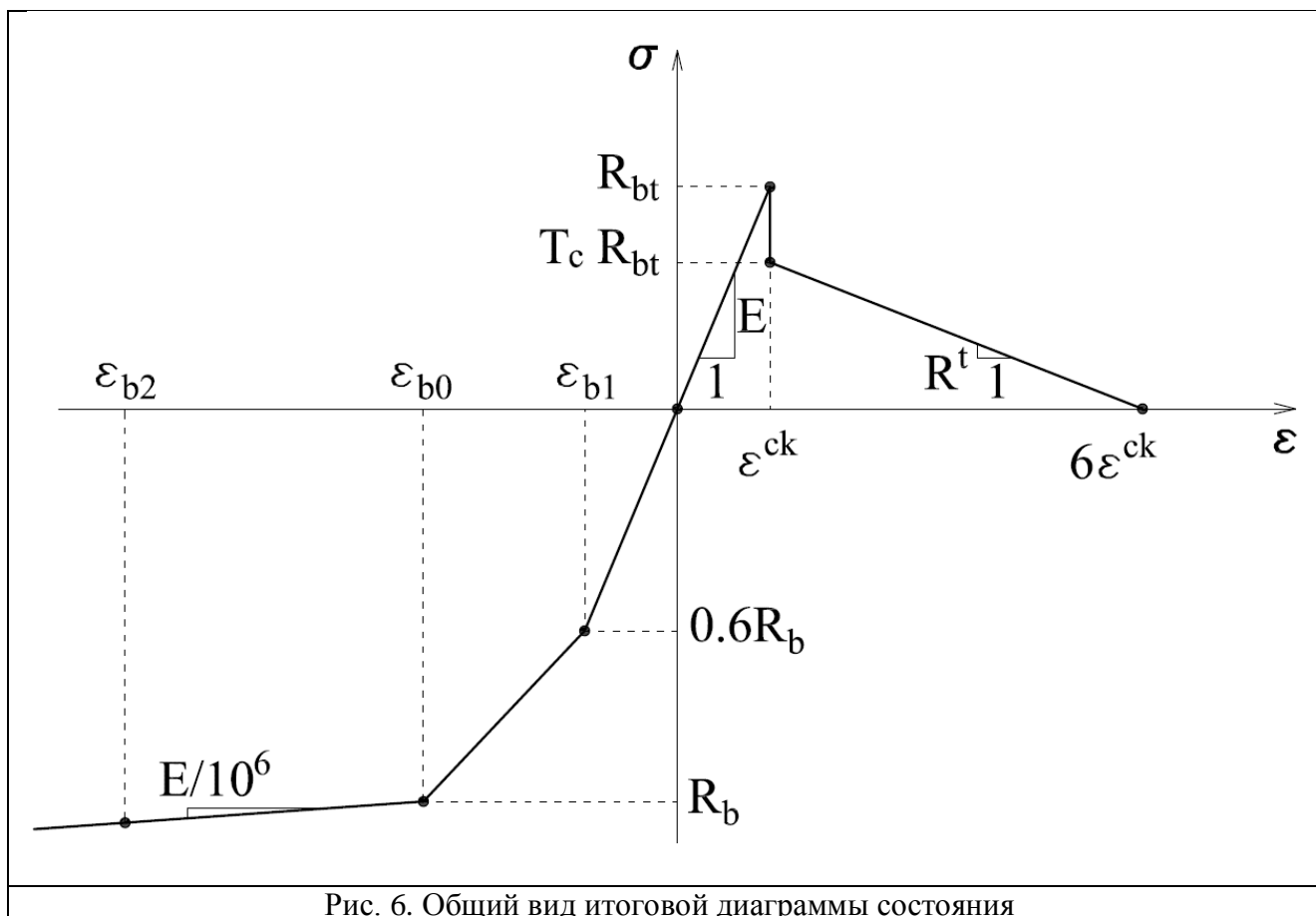
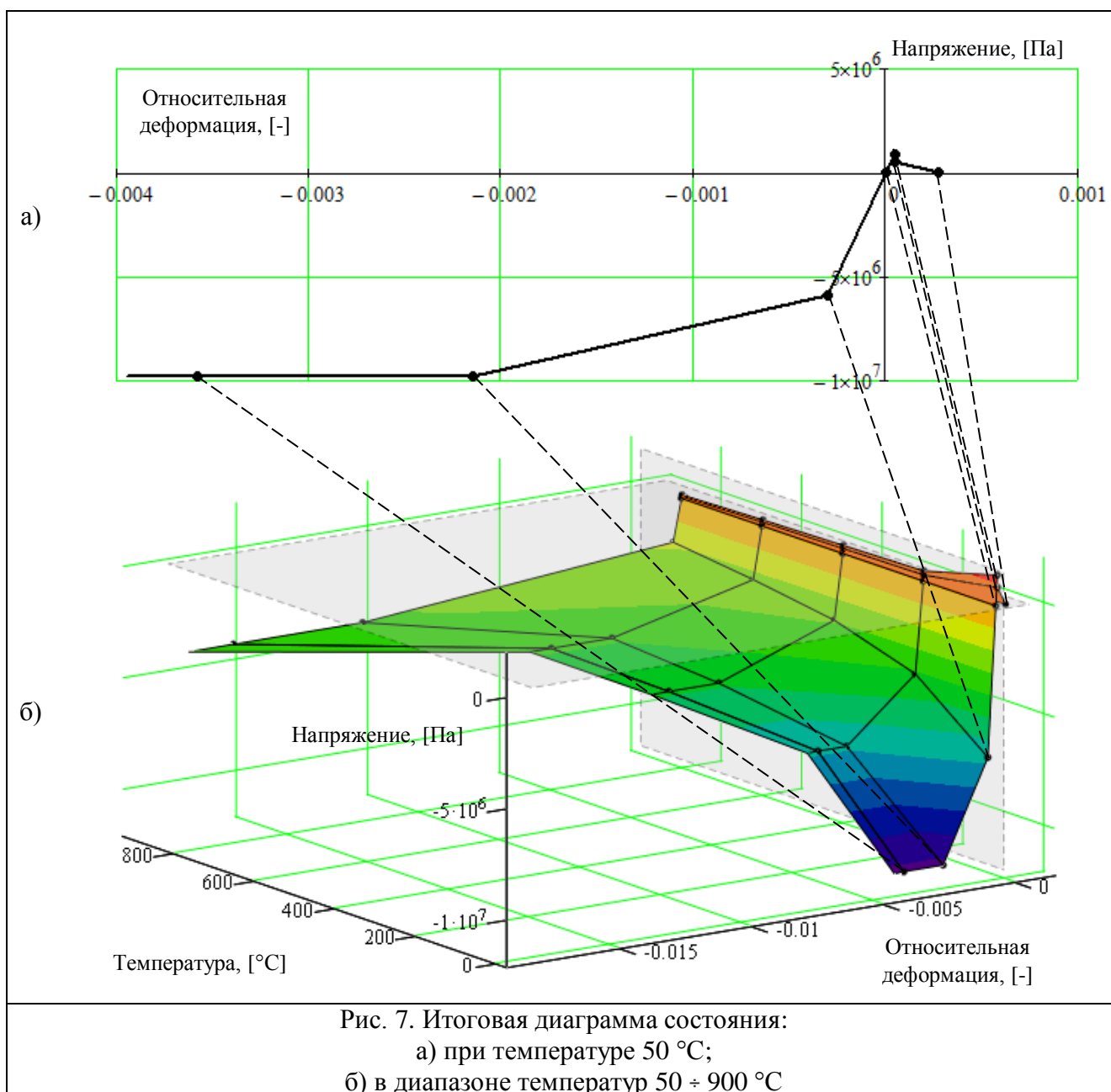


Рис. 6. Общий вид итоговой диаграммы состояния

В программе Mathcad была построена данная модель при 50 °С (рис. 7,а) и ее изменение в диапазоне температур 50 ÷ 900 °С (рис. 7,б).



Таким образом поведение бетона при растяжении характеризуется как «условно упругое» с линейным распределением напряжений и деформаций в растянутой зоне сечения вплоть до достижения бетонным конечным элементом расчетного сопротивления растяжению, после чего конечный элемент считается разрушенным. Для сжатого бетона применяется «упруго пластический» подход, при котором поведение сжатого бетона описывается трехлинейной диаграммой.

В соответствии с этим, при расчете критерий разрушения при растяжении контролируется программой автоматически, а при сжатии - самим пользователем, используя величину предельных деформаций ϵ_{b2} .

Выводы:

- 1) Поведение бетона при растяжении характеризуется как «условно упругое» с линейным распределением напряжений и деформаций в растянутой зоне сечения вплоть до достижения бетонным конечным элементом расчетного сопротивления растяжению, после чего конечный элемент считается разрушенным.**
- 2) Для сжатого бетона применяется «упруго пластический» подход, при котором поведение сжатого бетона описывается трехлинейной диаграммой.**
- 3) Критерий разрушения при растяжении контролируется программой автоматически, а при сжатии - самим пользователем, используя величину предельных деформаций ε_{b2} .**

**При написании данной работы были использованы результаты, полученные в диссертации Пацанина А.А. "Развитие методики расчета прочности железобетонных балок с использованием объемных конечных элементов".*