

Определение ОПТИМАЛЬНЫХ параметров расчета бетона в ANSYS

Сокращения и определения:

скачок - резкое изменение наклона графика прогиба;

T – время расчета;

TIME – доля прикладываемой нагрузки;

VALU – значение прогиба в т. А;

LastTIME – максимальный TIME при которой задача сходится – имеет решение.

В данной работе были определены оптимальные параметры для получения адекватных результатов расчета бетонных конструкций.

Для этого была проведена серия машинных экспериментов по исследованию работы бетонной балки, установленной на металлических опорах, под воздействием сосредоточенной силы (рис. 1). Балка имеет следующие геометрические размеры: длина = 4.8 м, ширина = 0.6 м, толщина = 0.4 м.

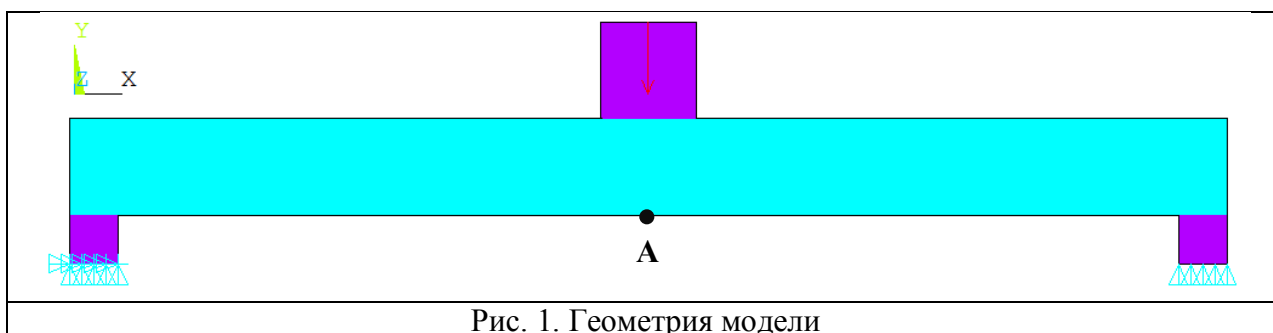


Рис. 1. Геометрия модели

Для оптимизации были выбраны следующие параметры:

- 1) значение невязки Tol;
- 2) количество конечных элементов (КЭ) по толщине балки Esize;
- 3) количество шагов нагружения Nstep.

Соответственно, были проведены серии машинных экспериментов №№ 1-3 (табл. 1).

Табл. 1. План экспериментов

Серия Параметр	№1	№2	№3
значение невязки	0 ÷ 95% → Tol	Tol	Tol
количество КЭ	8	2 ÷ 16 → Esize	Esize
количество шагов нагружения	50	50	25 ÷ 800 → Nstep

Серия экспериментов №1 - значение невязки

Результаты серии экспериментов №1 сведены в табл. 2.

Табл. 2. Серия экспериментов №1

Название	Значение невязки, [%]	T, [с]	LastTIME	График прогиба в т. А
n00_8_50	0.5	290	0.377	
n10_8_50	10	360	0.523	
n30_8_50	30	90	0.56	
n50_8_50	50	95	0.60	
n60_8_50	60	95	0.60	
<p>○ - скачки</p> <p>● - начало трещинообразования</p> <p>■ - диапазон трещинообразования</p> <p>■ - LastTIME</p>				

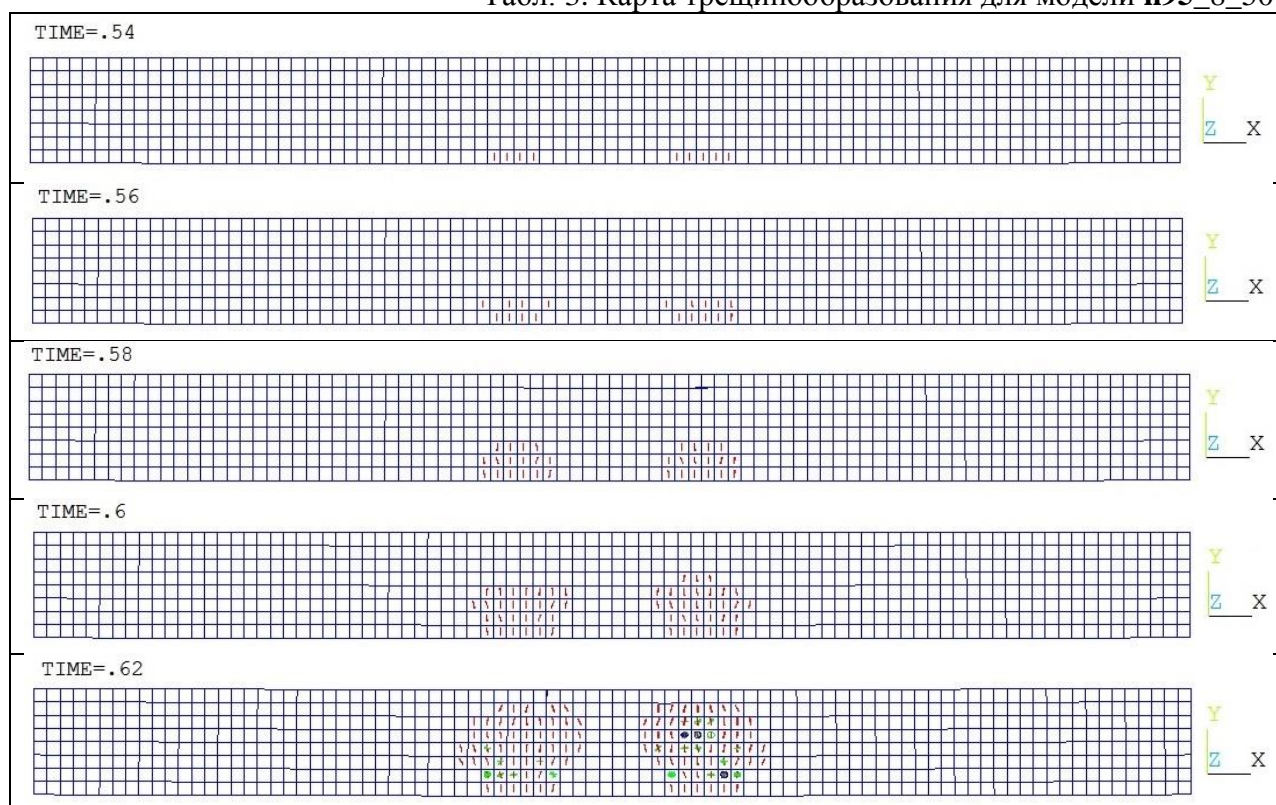
Табл. 2. Серия экспериментов №1 (продолжение)

Название	Значение невязки, [%]	T, [с]	LastTIME	График прогиба в т. А
n70_8_50	70	95	0.62	
n80_8_50	80	95	0.62	
n90_8_50	90	95	0.62	
n95_8_50	95	95	0.62	

○ - скачки
● - начало трещинообразования
 - диапазон трещинообразования
 - LastTIME

В качестве примера для модели n95_8_50 приведены карты трещинообразования в табл. 3.

Табл. 3. Карта трещинообразования для модели n95_8_50



Расчетные модели для серии экспериментов №1 оценивались по следующим данным:

- LastTIME;
- график прогиба (наклон и гладкость кривой);
- трещинообразование.

Из полученных результатов видно:

- наличие скачков на графике прогиба, свидетельствует о плохой сходимости;
- модели с невязкой 0.5 - 30% имеют плохую сходимость (об этом свидетельствует наличие скачков уже при малых значениях TIME и отсутствие длительного диапазона трещинообразования) и различный результат решения;
- модели с невязкой 50 - 95% имеют хорошую сходимость (об этом свидетельствует отсутствие скачков при малых значениях TIME и наличие длительного диапазона трещинообразования) и одинаковый результат решения.

Вывод об оптимальном значении невязки:

1. значение невязки **Tol = 95%**, потому что:

- при малом значении невязки решение задачи имеет плохую сходимость (из-за этого увеличивается T);
- при большом значении невязки задача имеет хорошую сходимость.

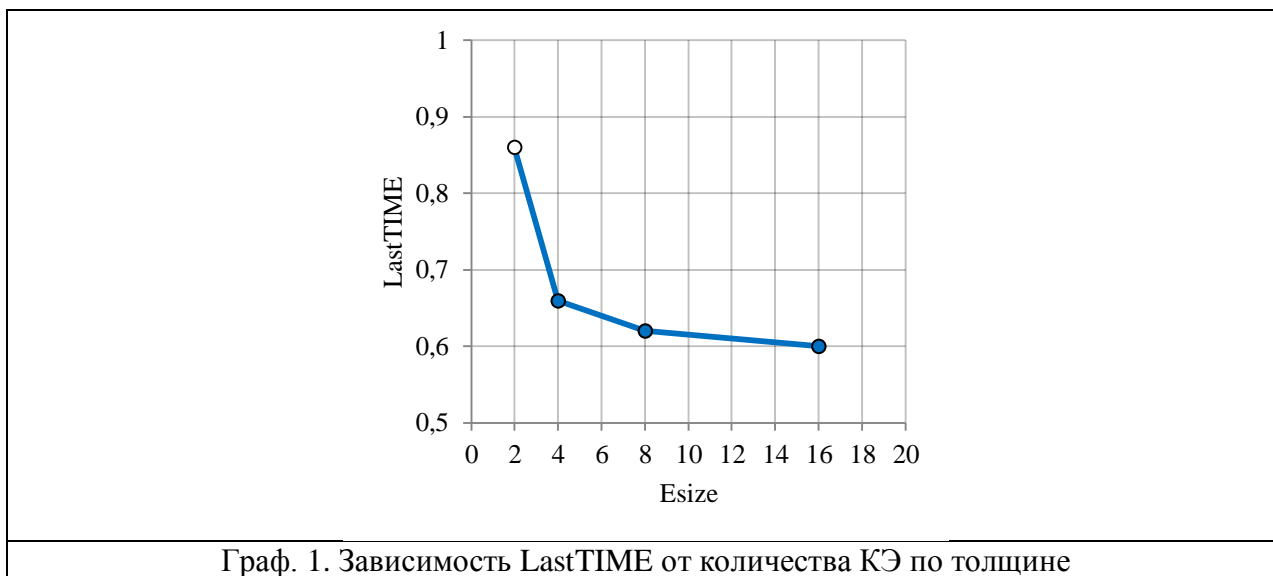
Серия экспериментов №2 - количество КЭ

Результаты серии экспериментов №2 сведены в табл. 4.

Табл. 4. Серия экспериментов №2

Название	Кол-во КЭ по толщине	Т, [с]	LastTIME	График прогиба в т. А
n95_2_50	2	5	0.86	
n95_4_50	4	15	0.66	
n95_8_50	8	95	0.62	
n95_16_50	16	1440	0.60	
<p>● - начало трещинообразования</p> <p>■ - диапазон трещинообразования</p> <p> - LastTIME</p>				

По результатам серии экспериментов №2 был построен граф. 1.



Для граф. 1 в Mathcad была получена функция кривой:

$$\text{LastTIME}(\text{Esize}) = 0,32 \cdot 1/\text{Esize} + 0,58$$

Примечание: значение LastTIME(2) является выбросом, так как выделяется из общей выборки, поэтому не учитывалось при получении функции кривой LastTIME(Esize).

Предел функции LastTIME(Esize) при Esize $\rightarrow \infty$ равен 0,58.

Для граф. 1 была определена относительная погрешность LastTIME(Esize) по формуле:

$$\varepsilon = (\text{LastTIME}_n - 0,58)/0,58, \text{ где } n = 2, 4, 8, 16.$$

И построен граф. 2.

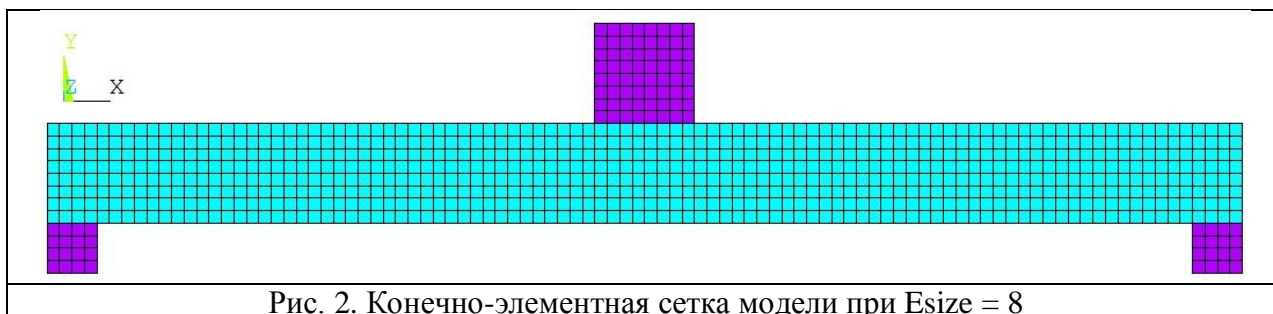


Прежде чем делать выводы о количестве КЭ по толщине, необходимо отметить:

- чем большее количество КЭ по толщине задается при решении задачи, тем более точное решение получается, но требуется большее T;
- наименьшая погрешность при решении достигается, когда стороны конечного элемента равны, поэтому оптимальной формой твердотельного элемента является куб (поэтому для рассматриваемой балки и были приняты для анализа Esize = 2, 4, 8, 16).

Вывод об оптимальном количестве КЭ по толщине.

1. Изначально невозможно точно сказать какое количество КЭ по толщине необходимо. Требуется проведение нескольких расчетов с увеличивающимся количеством КЭ по толщине, с целью определения предела функции LastTIME(Esize).
2. Оптимальное количество КЭ по толщине – минимальное количество, когда LastTIME отличается от предела функции LastTIME(Esize) менее чем на 10% ($\epsilon < 10\%$).
3. Для данной задачи количество КЭ по толщине **Esize = 8** (рис. 2).



Серия экспериментов №3 - количество шагов

Результаты серии экспериментов №3 сведены в табл. 5.

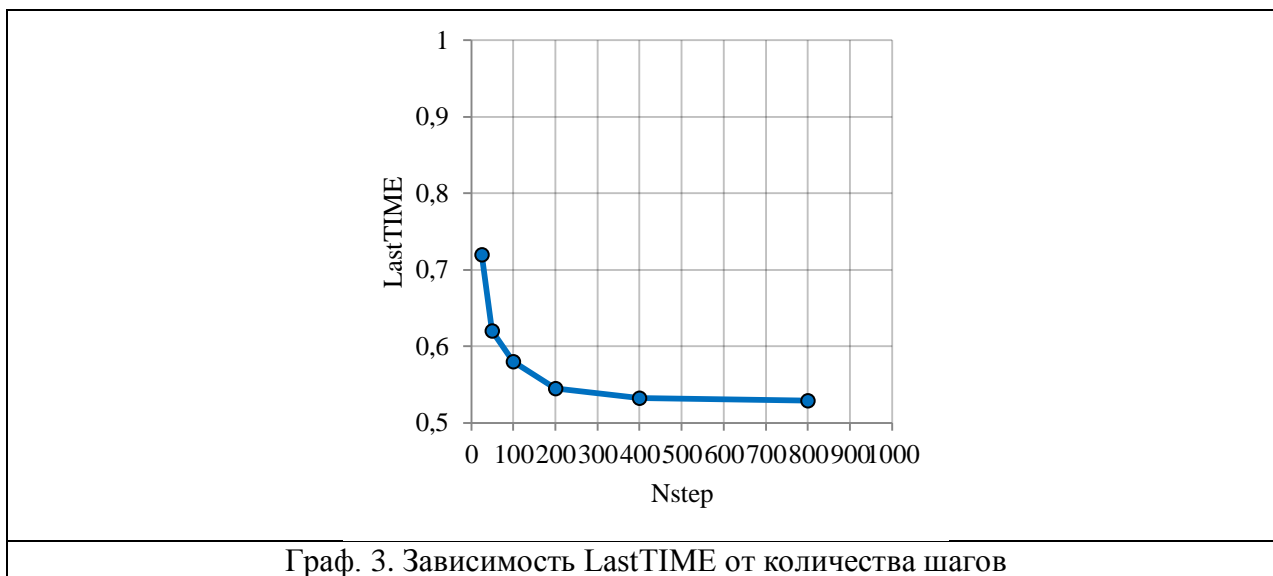
Табл. 5. Серия экспериментов №3

Название	Кол-во шагов	Т, [с]	LastTIME	График прогиба в т. А
n95_8_25	25	55	0.72	
n95_8_50	50	95	0.62	
n95_8_100	100	175	0.58	
<p>● - начало трещинообразования</p> <p>■ - диапазон трещинообразования</p> <p> - LastTIME</p>				

Табл. 5. Серия экспериментов №3 (продолжение)

Название	Кол-во шагов	T, [с]	LastTIME	График прогиба в т. А
n95_8_200	200	330	0.54	
n95_8_400	400	645	0.53	
n95_8_800	800	1410	0.53	
<p>● - начало трещинообразования</p> <p>■ - диапазон трещинообразования</p> <p> - LastTIME</p>				

По результатам серии экспериментов №3 построен граф. 3.



Для граф. 3 в Mathcad была выведена функция кривой:

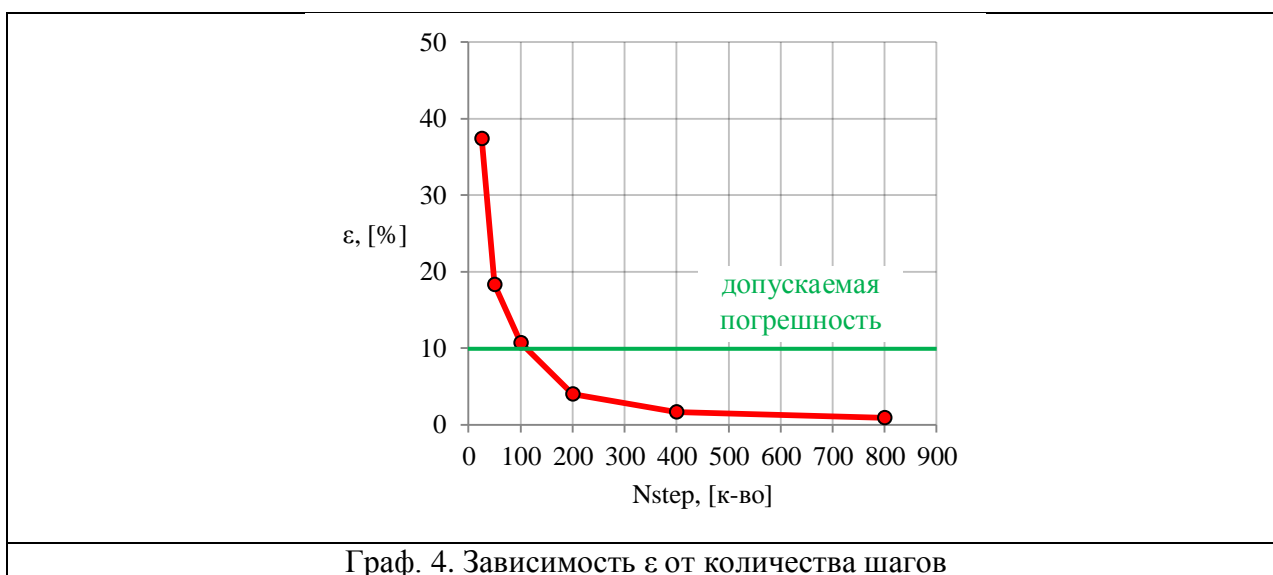
$$\text{LastTIME}(\text{Nstep}) = 4,903 \cdot 1/\text{Nstep} + 0,524$$

Предел функции LastTIME(Nstep) при $\text{Nstep} \rightarrow \infty$ равен 0,524.

Для граф. 3 была определена относительная погрешность LastTIME(Nstep) по формуле:

$$\varepsilon = (\text{LastTIME}_n - 0,524)/0,524, \text{ где } n = 25, 50, 100, 200, 400, 800.$$

И построен граф. 4.



Прежде чем делать выводы о количестве шагов, необходимо отметить:
- чем большее количество шагов задается при решении задачи, тем более точное решение получается, но требуется большее T .

Вывод об оптимальном значении количества шагов.

1. Изначально невозможно точно сказать какое количество шагов необходимо. Требуется проведение нескольких расчетов с увеличивающимся количеством шагов, с целью определения предела функции $LastTIME(Nstep)$.
2. Оптимальное количество шагов – минимальное количество, когда $LastTIME$ отличается от предела функции $LastTIME(Nstep)$ менее чем на 10% ($\varepsilon < 10\%$).
3. Для данной задачи количество шагов **$Nstep = 200$** .

Заключение об оптимальных параметрах для получения адекватных результатов расчета данной бетонной конструкции:

- 1) значение невязки **$Tol = 95\%$** ;
- 2) количество КЭ по толщине **$Esize = 8$** ;
- 3) количество шагов **$Nstep = 200$** .

Примечание: определенные значения параметров являются оптимальными для расчета бетонных конструкций, но лучше проводить оценку погрешности для $Esize$ и $Nstep$ при решении каждой конкретной задачи.