

Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

Физико-механический институт

Высшая школа теоретической механики и математической физики

РАБОТА № 6

Динамический изгиб балки

по дисциплине «Вычислительная механика»

Вариант №17

Выполнил

студент гр. 5030103/10301

А.Г. Фёдоров

Руководитель

Доцент, к.ф.-м.н.

Е.Ю. Витохин

«___» _____ 2024 г.

Санкт-Петербург

2024

Содержание

Постановка задачи.....	3
Метод решения	3
Результаты.....	5

Постановка задачи

Требуется провести динамический расчет балки и определить прогибы, скорости и ускорения стальной балки Бернулли-Эйлера длиной 1 метр под действием нарастающего (от 0 до 0.5 с) момента. Материал – сталь, $E = 2 * 10^{11} \frac{H}{м}$, плотность стали $\rho = 7800 \frac{кг}{м^3}$

Рис. 1 Балка

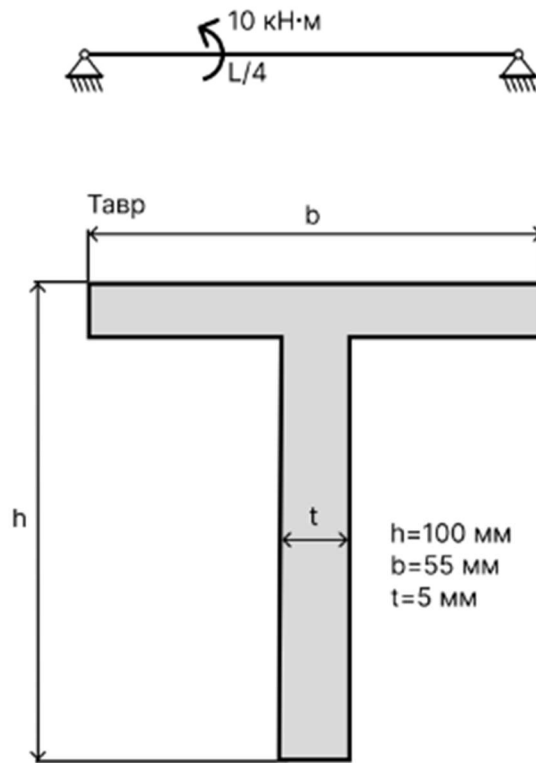


Рис. 2 Сечение

Метод решения

Рассмотрим уравнение Лагранжа второго рода

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial L}{\partial \dot{u}} - \frac{\partial L}{\partial \{u\}} \right) = \{F\}$$

В уравнение подставим функцию Лагранжа

$$L = T - \Pi$$

Получаем

$$\frac{d}{dt} \frac{\partial T}{\partial \dot{u}} + \frac{\partial \Pi}{\partial \{u\}} = \{F\}$$

где

$$\frac{\partial \Pi}{\partial \{u\}} = [k]\{u\}$$

Кинетическая энергия:

$$T = \frac{1}{2} \rho S \int_0^l \dot{u}^2 dx$$

Используем связь

$$\dot{u} = [N]\{\dot{u}^e\}$$

Тогда

$$T = \frac{1}{2} \rho S \int_0^l \{\dot{u}^e\}^T [N]^T [N] dx \{\dot{u}^e\}$$

$$\frac{\partial T}{\partial \{\dot{u}\}} = \rho S \int_0^l [N]^T [N] dx \{\dot{u}^e\}$$

$$\frac{d}{dt} \frac{\partial T}{\partial \{\dot{u}\}} = \rho S \int_0^l [N]^T [N] dx \{\ddot{u}^e\}$$

Введем матрицу масс

$$[m] = \rho S \int_0^l [N]^T [N] dx$$

Подставляя полученные производные, получаем уравнение Лагранжа в виде

$$[M]\{\ddot{u}\} + [K]\{u\} = \{F\}$$

Получили систему линейных алгебраических уравнений. Будем решать ее с помощью схемы интегрирования Ньюмарка (алгоритм предиктор-корректор).

В начале предсказываем значение перемещений и скоростей:

$$\{\tilde{u}_{k+1}\} = \{u_k\} + dt\{\dot{u}_k\} + (0.5 - \beta)dt^2\{\ddot{u}_k\}$$

$$\{\dot{\tilde{u}}_{k+1}\} = \{\dot{u}_k\} + (1 - \gamma)dt\{\ddot{u}_k\}$$

Далее решается система уравнений

$$\{\ddot{u}_{k+1}\} = ([M] + \beta dt^2 [K])^{-1} (\{F\} - [K]\{\tilde{u}_{k+1}\})$$

Затем предсказанные значения корректируются

$$\{u_{k+1}\} = \{\tilde{u}_{k+1}\} + (0.5 - \beta)dt^2\{\ddot{u}_{k+1}\}$$

$$\{\dot{u}_{k+1}\} = \{\dot{\tilde{u}}_{k+1}\} + \gamma dt\{\ddot{u}_{k+1}\}$$

Условия устойчивости метода

$$\beta < \left(\gamma + \frac{1}{2}\right)^2 \frac{1}{4}$$

$$\beta > 0$$

$$\gamma > \frac{1}{2}$$

В данной работе использовались $\gamma = 0.53$ и $\beta = 0.26$

Результаты

Прогибы:

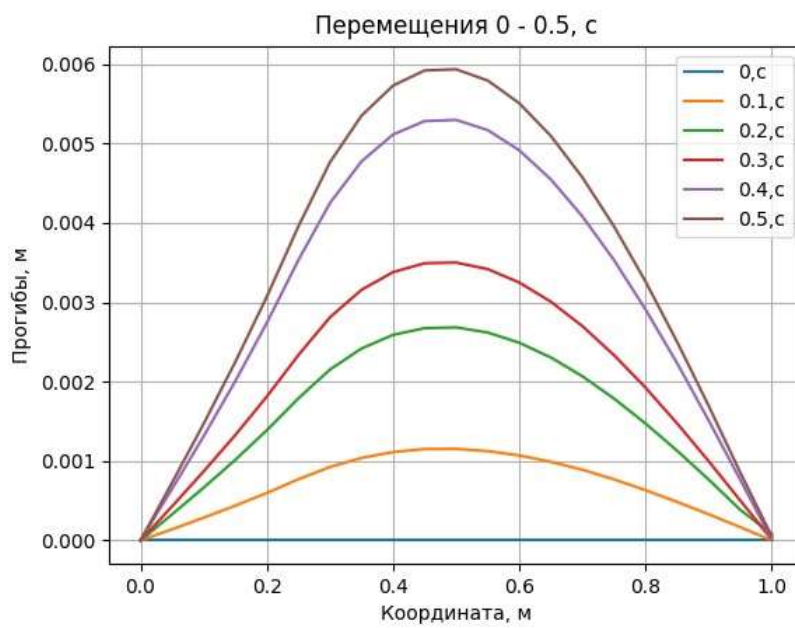


Рисунок 3 Прогибы балки по расчетам в Abaqus

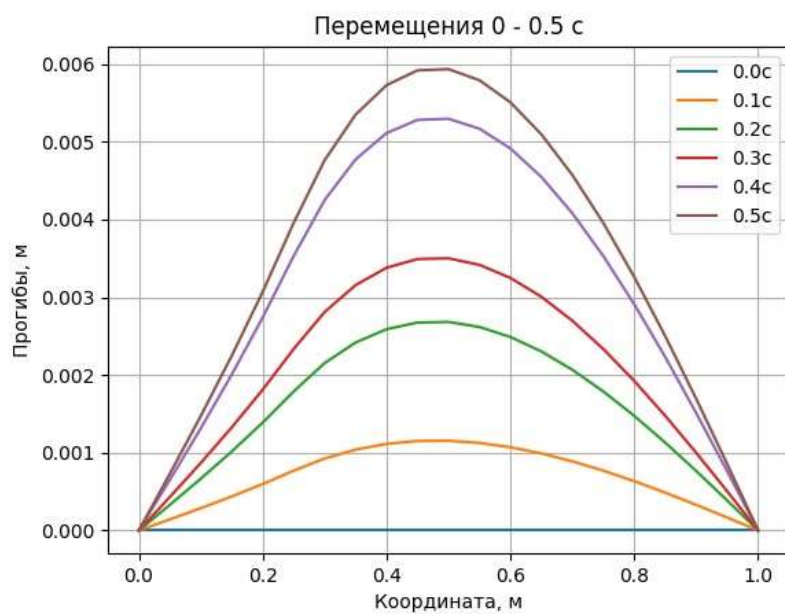


Рисунок 4 Прогибы балки по расчетам в Python

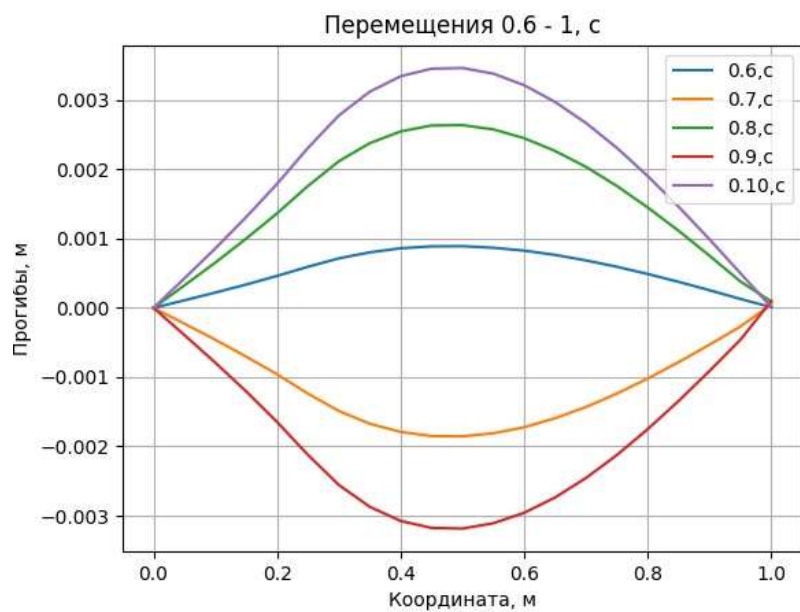


Рисунок 5 Прогибы балки по расчетам в Abaqus

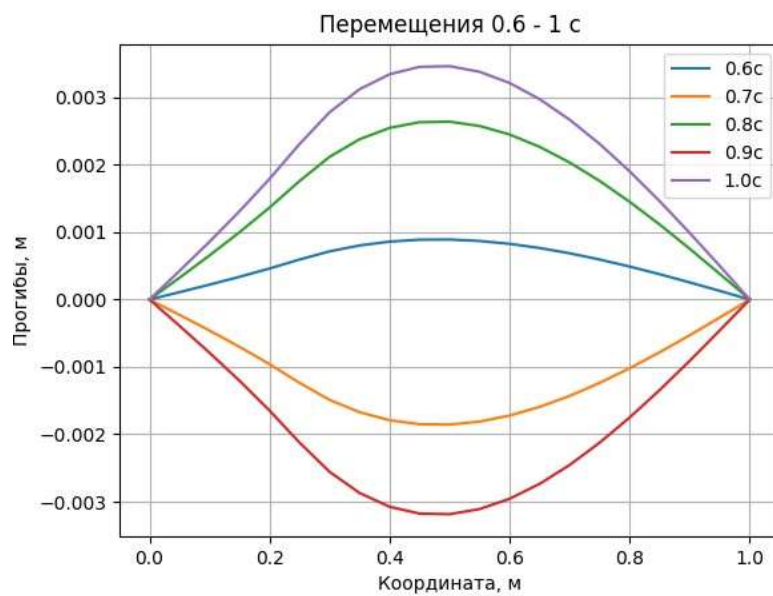


Рисунок 6 Прогибы балки по расчетам в Python

Скорости:

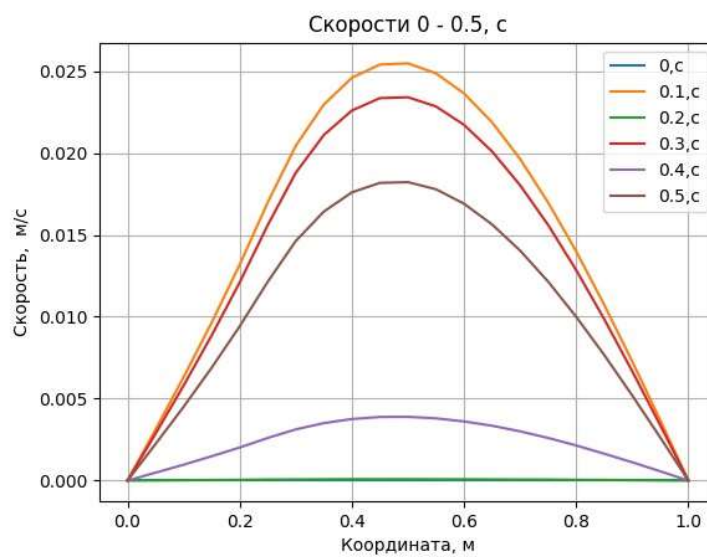


Рисунок 7 Скорости балки по расчетам в Abaqus

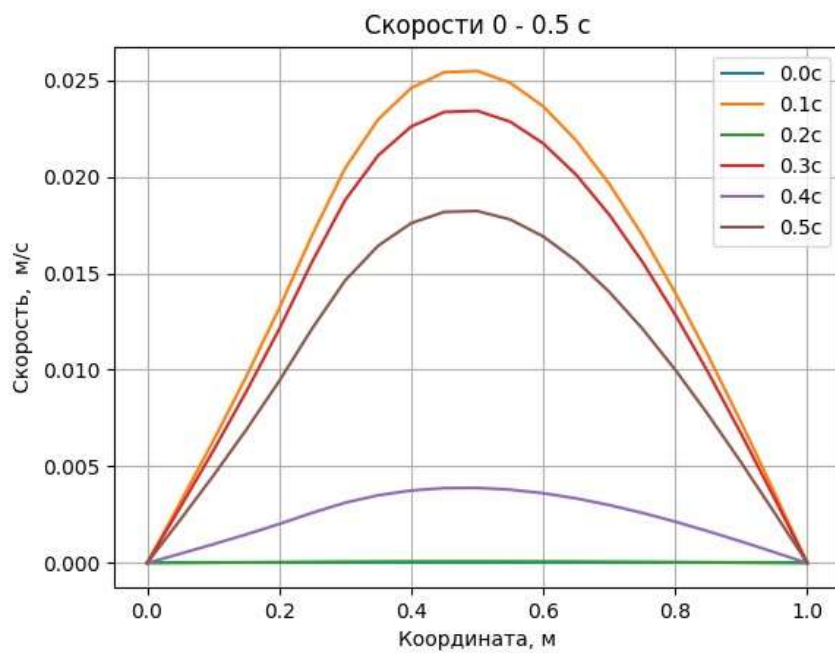


Рисунок 8 Скорости балки по расчетам в Python

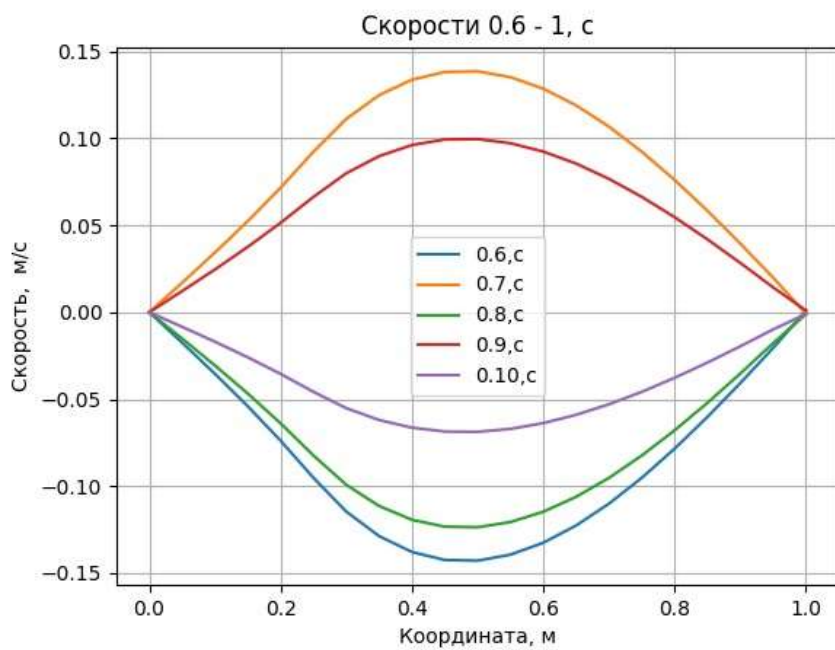


Рисунок 9 Скорости балки по расчетам в Abaqus

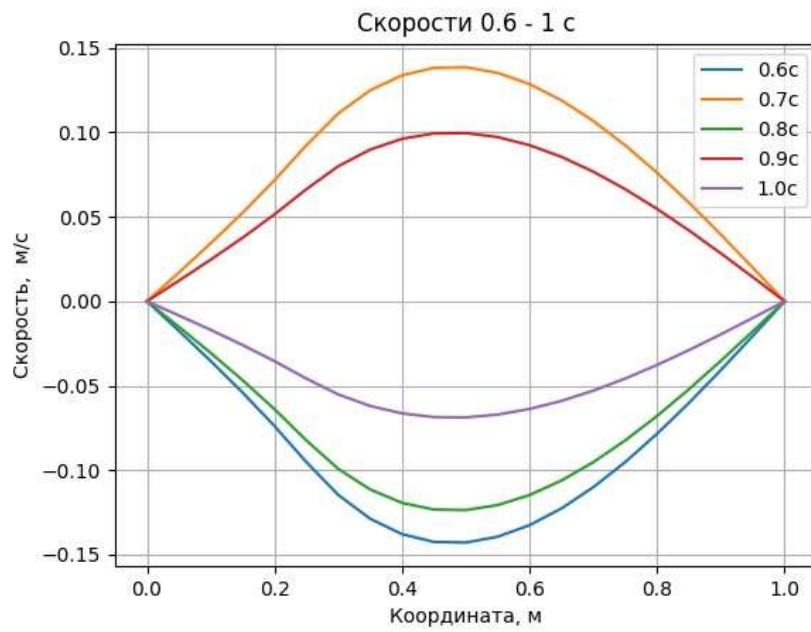


Рисунок 10 Скорости балки по расчетам в Python

Ускорения:

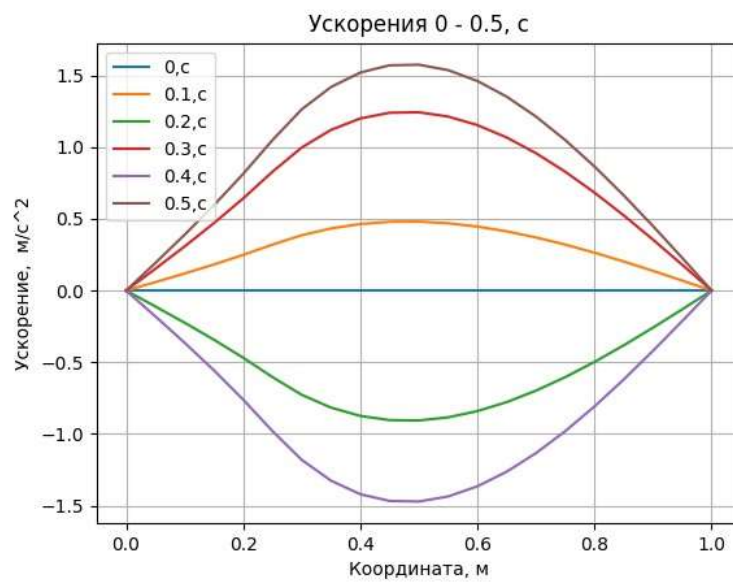


Рисунок 11 Ускорения балки по расчетам в Abaqus

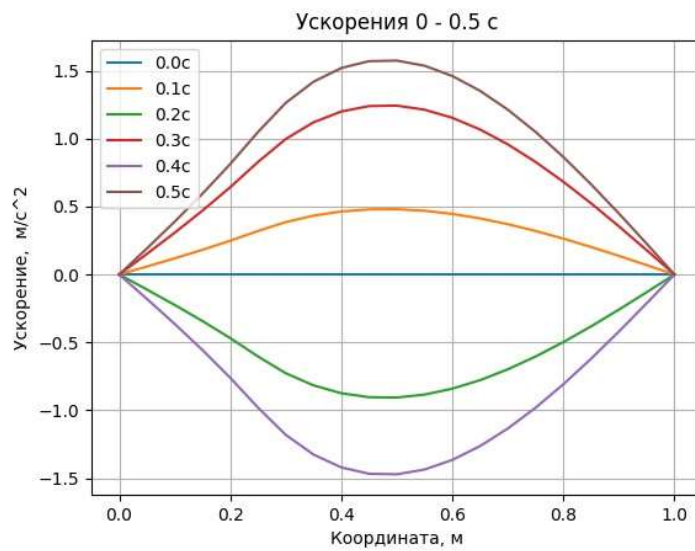


Рисунок 12 Ускорения балки по расчетам в Python

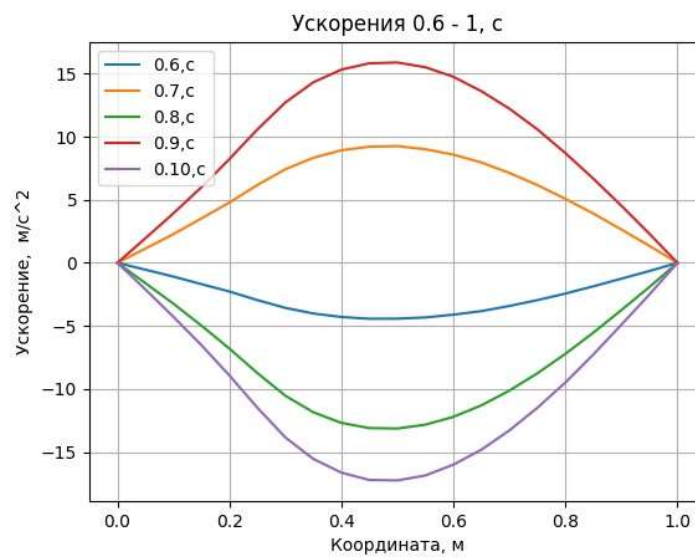


Рисунок 13 Ускорения балки по расчетам в Abaqus

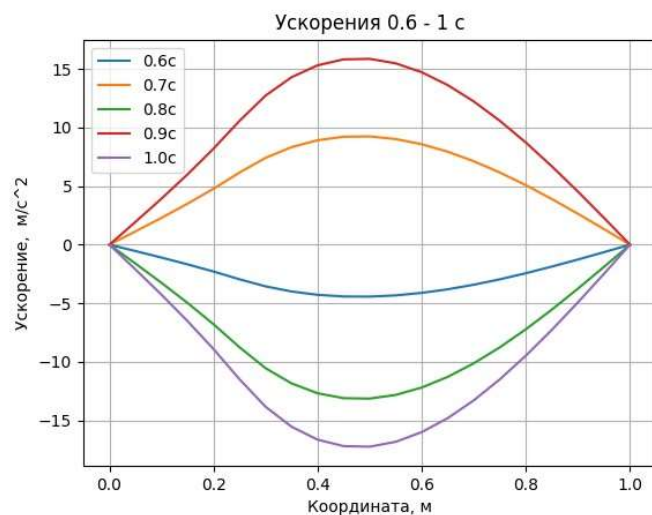


Рисунок 14 Ускорения балки по расчетам в Python

Координата,м	0, с	0.1, с	0.2, с	0.3, с	0.4, с	0.5,с
0	0	2,24E-36	8,14E-38	-7,52E-37	-9,21E-37	-8,03E-37
0,05	0	0,000140484	0,00032898	0,000429375	0,000650549	0,000727915
0,1	0	0,000286047	0,000664107	0,000869087	0,001313219	0,001470649
0,15	0	0,000437766	0,00101453	0,001326475	0,002005128	0,002247022
0,2	0	0,00059672	0,001387398	0,001811876	0,002739398	0,003069855
0,25	0	0,000769986	0,001788856	0,002333626	0,003531149	0,003954965
0,3	0	0,000924874	0,002151556	0,002809706	0,004249296	0,004762955
0,35	0	0,001038692	0,002417147	0,003156093	0,004773756	0,005349423
0,4	0	0,001113517	0,002588777	0,003379125	0,00511265	0,005729191
0,45	0	0,001150428	0,002673596	0,003491137	0,005282097	0,005919079
0,5	0	0,0011525	0,002682752	0,003499468	0,005296218	0,005933909
0,55	0	0,001124812	0,002618397	0,003417451	0,005168134	0,005792503
0,6	0	0,00107044	0,002489679	0,003248423	0,004913964	0,005505682
0,65	0	0,000989461	0,002303749	0,00300672	0,00454683	0,005094271
0,7	0	0,000889951	0,002066758	0,002698676	0,004080851	0,004572091
0,75	0	0,000768986	0,001786856	0,002333626	0,003531149	0,003955965
0,8	0	0,000632643	0,001472196	0,001923906	0,002907843	0,003259719
0,85	0	0,000484997	0,001129929	0,001473849	0,002232054	0,002500175
0,9	0	0,000329124	0,000766206	0,000997789	0,001510904	0,001694157
0,95	0	0,0001671	0,000385179	0,000503062	0,000763512	0,000854491
1	0	2,24E-36	8,00E-35	1,00E-35	1,00E-37	5,00E-37

Координата, м	0.6,с	0.7,с	0.8,с	0.9,с	1.0,с
0	-3,53E-33	-1,96E-33	-9,81E-34	-4,15E-34	-1,18E-34
0,05	0,000109245	-0,000227704	0,000324753	-0,000391721	0,000425474
0,1	0,000220861	-0,000459344	0,000653535	-0,000790955	0,000858247
0,15	0,000337222	-0,000703855	0,001000375	-0,001206213	0,001310615
0,2	0,000461699	-0,000959171	0,0013653	-0,001647007	0,001790876
0,25	0,000593664	-0,001238231	0,00176034	-0,002122848	0,002309322
0,3	0,000714755	-0,00148854	0,002117189	-0,00255622	0,002778633
0,35	0,000801609	-0,001672604	0,002377541	-0,002871607	0,003120485
0,4	0,000860598	-0,001790362	0,002547428	-0,003075516	0,003344159
0,45	0,000888095	-0,001850755	0,00263288	-0,003176454	0,00345293
0,5	0,000890473	-0,001854723	0,00263793	-0,003185925	0,00346307
0,55	0,000868106	-0,00181021	0,002576611	-0,003108433	0,003380843
0,6	0,000826368	-0,001723158	0,002448958	-0,00295748	0,003214505
0,65	0,000764632	-0,001592514	0,002265004	-0,002736566	0,002972309
0,7	0,000685273	-0,001430222	0,002034786	-0,002455189	0,002668501
0,75	0,000593664	-0,001237231	0,00175934	-0,002123848	0,002309322
0,8	0,000489182	-0,001019489	0,001448703	-0,001749038	0,001902008
0,85	0,000375199	-0,000781944	0,001111912	-0,001342254	0,001458791
0,9	0,000255091	-0,000530548	0,000752006	-0,000908991	0,000988901
0,95	0,000128233	-0,000268249	0,000380022	-0,000458742	0,000498562
1	1,00E-33	5,00E-32	9,00E-34	1,00E-34	1,00E-35

Таб.1. Прогибы балки по расчетам в Abaqus

Координата,м	0, с	0.1, с	0.2, с	0.3, с	0.4, с	0.5,с
0	0	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
0,05	0	0,003121116	1,14316E-05	0,002866001	0,00048419	0,00223398
0,1	0	0,006316875	2,28991E-05	0,005801499	0,000968092	0,004507487
0,15	0	0,009641923	3,44404E-05	0,008862651	0,00148476	0,006890036
0,2	0	0,013180901	4,27651E-05	0,012102273	0,002020596	0,00942112
0,25	0	0,016985118	6,12561E-05	0,015603165	0,002602028	0,012140198
0,3	0	0,020443056	6,84935E-05	0,018792196	0,003124488	0,014626868
0,35	0	0,022956531	7,64032E-05	0,021099543	0,003506785	0,016424001
0,4	0	0,024593507	8,50715E-05	0,022594594	0,003758807	0,017597543
0,45	0	0,025401944	8,46015E-05	0,023350035	0,003883834	0,018176696
0,5	0	0,025473132	8,5114E-05	0,023405183	0,003891874	0,018220571
0,55	0	0,024865022	8,00818E-05	0,022842647	0,003799667	0,017788192
0,6	0	0,023635559	7,6329E-05	0,021721663	0,003610683	0,01690516
0,65	0	0,021876019	7,06981E-05	0,020094763	0,003348455	0,015640322
0,7	0	0,019634339	6,3382E-05	0,018034443	0,003006577	0,014042439
0,75	0	0,016978451	6,12561E-05	0,015606498	0,002602028	0,012146865
0,8	0	0,013996285	4,45433E-05	0,012853359	0,002145175	0,010002216
0,85	0	0,010732435	3,68122E-05	0,00985743	0,001639756	0,007670382
0,9	0	0,00727149	2,49749E-05	0,006674429	0,001116216	0,005193204
0,95	0	0,003671371	9,2847E-06	0,003370056	0,000565023	0,002625817
1	0	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00

Координата, м	0.6,с	0.7,с	0.8,с	0.9,с	1.0,с
0	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
0,05	-0,017514476	0,016983518	-0,015144452	0,012185498	-0,008384939
0,1	-0,035414649	0,034342575	-0,030619995	0,02463725	-0,016953111
0,15	-0,054076198	0,052436011	-0,046764329	0,037634757	-0,025914298
0,2	-0,073881433	0,071652601	-0,063911706	0,051460676	-0,035461374
0,25	-0,09521928	0,092364355	-0,082392873	0,066367398	-0,045770183
0,3	-0,114656795	0,111216894	-0,099231871	0,079953723	-0,055168518
0,35	-0,128750945	0,124899005	-0,111442438	0,089804648	-0,061976863
0,4	-0,137893707	0,13376551	-0,119357742	0,096181166	-0,06638916
0,45	-0,142463602	0,138204335	-0,12330721	0,099363642	-0,068581823
0,5	-0,142845682	0,138569819	-0,123629823	0,099615094	-0,068747013
0,55	-0,139414857	0,135236043	-0,120657445	0,097217842	-0,067082601
0,6	-0,132549234	0,128580162	-0,114714812	0,092416835	-0,063765501
0,65	-0,122643446	0,118972407	-0,106136216	0,08550634	-0,058981696
0,7	-0,110072	0,106776104	-0,095252189	0,076729969	-0,05291961
0,75	-0,095215946	0,092357688	-0,082392873	0,066367398	-0,045773517
0,8	-0,078459562	0,076103391	-0,067884722	0,054677764	-0,037710281
0,85	-0,060173696	0,058369275	-0,052067218	0,041936398	-0,028919465
0,9	-0,040749123	0,03952459	-0,035256259	0,028398248	-0,019583437
0,95	-0,020569888	0,019945143	-0,017790884	0,014327965	-0,009877495
1	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00

Таб.2. Скорости балки по расчетам в Abaqus

Координата, м	0, с	0.1, с	0.2, с	0.3, с	0.4, с	0.5,с
0	0	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
0,05	0	0,000140484	0,00032898	0,000429375	0,000650549	0,000727915
0,1	0	0,000286047	0,000664107	0,000869087	0,001313219	0,001470649
0,15	0	0,000437766	0,00101453	0,001326475	0,002005128	0,002247022
0,2	0	0,00059672	0,001387398	0,001811876	0,002739398	0,003069855
0,25	0	0,000769986	0,001788856	0,002333626	0,003531149	0,003954965
0,3	0	0,000924874	0,002151556	0,002809706	0,004249296	0,004762955
0,35	0	0,001038692	0,002417147	0,003156093	0,004773756	0,005349423
0,4	0	0,001113517	0,002588777	0,003379125	0,00511265	0,005729191
0,45	0	0,001150428	0,002673596	0,003491137	0,005282097	0,005919079
0,5	0	0,0011525	0,002682752	0,003499468	0,005296218	0,005933909
0,55	0	0,001124812	0,002618397	0,003417451	0,005168134	0,005792503
0,6	0	0,00107044	0,002489679	0,003248423	0,004913964	0,005505682
0,65	0	0,000989461	0,002303749	0,00300672	0,00454683	0,005094271
0,7	0	0,000889951	0,002066758	0,002698676	0,004080851	0,004572091
0,75	0	0,000768986	0,001786856	0,002333626	0,003531149	0,003955965
0,8	0	0,000632643	0,001472196	0,001923906	0,002907843	0,003259719
0,85	0	0,000484997	0,001129929	0,001473849	0,002232054	0,002500175
0,9	0	0,000329124	0,000766206	0,000997789	0,001510904	0,001694157
0,95	0	0,0001671	0,000385179	0,000503062	0,000763512	0,000854491
1	0	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00

Координата, м	0.6,с	0.7,с	0.8,с	0.9,с	1.0,с
0	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
0,05	0,000109245	-0,000227704	0,000324753	-0,000391721	0,000425474
0,1	0,000220861	-0,000459344	0,000653535	-0,000790955	0,000858247
0,15	0,000337222	-0,000703855	0,001000375	-0,001206213	0,001310615
0,2	0,000461699	-0,000959171	0,0013653	-0,001647007	0,001790876
0,25	0,000593664	-0,001238231	0,00176034	-0,002122848	0,002309322
0,3	0,000714755	-0,00148854	0,002117189	-0,00255622	0,002778633
0,35	0,000801609	-0,001672604	0,002377541	-0,002871607	0,003120485
0,4	0,000860598	-0,001790362	0,002547428	-0,003075516	0,003344159
0,45	0,000888095	-0,001850755	0,00263288	-0,003176454	0,00345293
0,5	0,000890473	-0,001854723	0,00263793	-0,003185925	0,00346307
0,55	0,000868106	-0,00181021	0,002576611	-0,003108433	0,003380843
0,6	0,000826368	-0,001723158	0,002448958	-0,00295748	0,003214505
0,65	0,000764632	-0,001592514	0,002265004	-0,002736566	0,002972309
0,7	0,000685273	-0,001430222	0,002034786	-0,002455189	0,002668501
0,75	0,000593664	-0,001237231	0,00175934	-0,002123848	0,002309322
0,8	0,000489182	-0,001019489	0,001448703	-0,001749038	0,001902008
0,85	0,000375199	-0,000781944	0,001111912	-0,001342254	0,001458791
0,9	0,000255091	-0,000530548	0,000752006	-0,000908991	0,000988901
0,95	0,000128233	-0,000268249	0,000380022	-0,000458742	0,000498562
1	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00

Таб.3. Ускорения балки по расчетам в Abaqus

Координата,м	0, с	0.1, с	0.2, с	0.3, с	0.4, с	0.5,с
0	0	0	0	0	0	0
0,05	0	0,000141484	0,00032898	0,000429375	0,000649549	0,000727915
0,1	0	0,000286047	0,000665107	0,000868087	0,001313219	0,001471649
0,15	0	0,000436766	0,00101553	0,001325475	0,002005128	0,002247022
0,2	0	0,00059672	0,001387398	0,001810876	0,002739398	0,003069855
0,25	0	0,000768986	0,001787856	0,002333626	0,003530149	0,003955965
0,3	0	0,000925874	0,002152556	0,002809706	0,004250296	0,004762955
0,35	0	0,001039692	0,002417147	0,003155093	0,004772756	0,005348423
0,4	0	0,001113517	0,002588777	0,003379125	0,00511165	0,005728191
0,45	0	0,001150428	0,002674596	0,003491137	0,005281097	0,005918079
0,5	0	0,0011535	0,002681752	0,003500468	0,005295218	0,005933909
0,55	0	0,001125812	0,002617397	0,003416451	0,005168134	0,005791503
0,6	0	0,00107044	0,002488679	0,003248423	0,004913964	0,005506682
0,65	0	0,000990461	0,002302749	0,00300572	0,00454683	0,005095271
0,7	0	0,000888951	0,002066758	0,002697676	0,004080851	0,004573091
0,75	0	0,000768986	0,001787856	0,002333626	0,003530149	0,003955965
0,8	0	0,000633643	0,001473196	0,001922906	0,002908843	0,003259719
0,85	0	0,000485997	0,001129929	0,001474849	0,002231054	0,002500175
0,9	0	0,000329124	0,000765206	0,000998789	0,001510904	0,001693157
0,95	0	0,0001661	0,000386179	0,000504062	0,000762512	0,000854491
1	0	0	0	0	0	0

Координата, м	0.6,с	0.7,с	0.8,с	0.9,с	1.0,с
0	0	0	0	0	0
0,05	0,000109245	-0,000227704	0,000323753	-0,000390721	0,000424474
0,1	0,000220861	-0,000460344	0,000654535	-0,000789955	0,000858247
0,15	0,000337222	-0,000702855	0,000999375	-0,001206213	0,001310615
0,2	0,000460699	-0,000960171	0,0013653	-0,001648007	0,001790876
0,25	0,000593664	-0,001237231	0,00175934	-0,002123848	0,002308322
0,3	0,000714755	-0,00148954	0,002118189	-0,00255722	0,002779633
0,35	0,000802609	-0,001672604	0,002378541	-0,002871607	0,003121485
0,4	0,000859598	-0,001791362	0,002547428	-0,003075516	0,003343159
0,45	0,000888095	-0,001850755	0,00263188	-0,003177454	0,00345393
0,5	0,000890473	-0,001855723	0,00263893	-0,003185925	0,00346307
0,55	0,000869106	-0,00181121	0,002575611	-0,003109433	0,003379843
0,6	0,000826368	-0,001722158	0,002448958	-0,00295648	0,003213505
0,65	0,000764632	-0,001593514	0,002266004	-0,002735566	0,002973309
0,7	0,000686273	-0,001430222	0,002033786	-0,002455189	0,002668501
0,75	0,000593664	-0,001237231	0,00175934	-0,002123848	0,002308322
0,8	0,000489182	-0,001019489	0,001449703	-0,001750038	0,001902008
0,85	0,000375199	-0,000781944	0,001111912	-0,001342254	0,001458791
0,9	0,000254091	-0,000529548	0,000753006	-0,000908991	0,000987901
0,95	0,000128233	-0,000267249	0,000380022	-0,000458742	0,000498562
1	0	0	0	0	0

Таб.4. Прогибы балки по расчетам в Python

Координата,м	0, с	0.1, с	0.2, с	0.3, с	0.4, с	0.5,с
0	0	0	0	0	0	0
0,05	0	0,003124449	1,14316E-05	0,002869334	0,000480857	0,002230647
0,1	0	0,006316875	2,28991E-05	0,005801499	0,000971426	0,00451082
0,15	0	0,009645257	3,44404E-05	0,008859317	0,001481427	0,006890036
0,2	0	0,013177568	4,60984E-05	0,012105606	0,002020596	0,009417787
0,25	0	0,016981784	5,79227E-05	0,015603165	0,002598695	0,012143532
0,3	0	0,020446389	6,84935E-05	0,018788863	0,003124488	0,014626868
0,35	0	0,022959864	7,64032E-05	0,021099543	0,003506785	0,016427334
0,4	0	0,024590173	8,17382E-05	0,022597927	0,003755473	0,01759421
0,45	0	0,025405278	8,46015E-05	0,023346702	0,0038805	0,018176696
0,5	0	0,025473132	8,5114E-05	0,023408516	0,003891874	0,018223904
0,55	0	0,024861689	8,34151E-05	0,02284598	0,003799667	0,017784859
0,6	0	0,023638893	7,96623E-05	0,021721663	0,003614016	0,016908494
0,65	0	0,021872686	7,40314E-05	0,020098097	0,003345122	0,015643655
0,7	0	0,019631005	6,67153E-05	0,018037777	0,003003243	0,014039106
0,75	0	0,016981784	5,79227E-05	0,015603165	0,002598695	0,012143532
0,8	0	0,013992952	4,78766E-05	0,012856692	0,002141841	0,010005549
0,85	0	0,010732435	3,68122E-05	0,009860764	0,00164309	0,007673715
0,9	0	0,007268156	2,49749E-05	0,006677763	0,001112883	0,005196537
0,95	0	0,003668038	1,2618E-05	0,003370056	0,00056169	0,002622484
1	0	0	0	0	0	0

Координата, м	0.6,с	0.7,с	0.8,с	0.9,с	1.0,с
0	0	0	0	0	0
0,05	-0,017514476	0,016983518	-0,015141119	0,012182165	-0,008381606
0,1	-0,035411316	0,034339242	-0,030616662	0,02463725	-0,016956445
0,15	-0,054072865	0,052439345	-0,046760995	0,03763809	-0,025917631
0,2	-0,073881433	0,071655935	-0,063908373	0,051457343	-0,03545804
0,25	-0,09521928	0,092361021	-0,082392873	0,066367398	-0,045770183
0,3	-0,114653462	0,111220228	-0,099231871	0,079953723	-0,055171851
0,35	-0,128750945	0,124899005	-0,111442438	0,089801314	-0,061980196
0,4	-0,137893707	0,133768843	-0,119357742	0,096181166	-0,066385826
0,45	-0,142463602	0,138201001	-0,123310543	0,099363642	-0,06857849
0,5	-0,142842348	0,138566486	-0,123633157	0,099618427	-0,068747013
0,55	-0,139411524	0,135236043	-0,120657445	0,097214508	-0,067079267
0,6	-0,132552567	0,128580162	-0,114714812	0,092420168	-0,063762168
0,65	-0,12264678	0,118969074	-0,106136216	0,085503006	-0,058981696
0,7	-0,110075333	0,106772771	-0,095252189	0,076729969	-0,052922944
0,75	-0,09521928	0,092361021	-0,082392873	0,066367398	-0,045770183
0,8	-0,078459562	0,076103391	-0,067888055	0,054681097	-0,037706948
0,85	-0,060177029	0,058369275	-0,052067218	0,041936398	-0,028916131
0,9	-0,040752456	0,039527923	-0,035259592	0,028398248	-0,019580103
0,95	-0,020566555	0,019948476	-0,017794217	0,014331299	-0,009880829
1	0	0	0	0	0

Таб.5. Скорости балки по расчетам в Python

Координата,м	0, с	0.1, с	0.2, с	0.3, с	0.4, с	0.5,с
0	0	0	0	0	0	0
0,05	0	0,058951866	-0,111014245	0,152369288	-0,180185551	0,192802096
0,1	0	0,119186329	-0,224447808	0,308068801	-0,364326539	0,389863059
0,15	0	0,181985973	-0,342719941	0,47042857	-0,55637799	0,595441034
0,2	0	0,248633361	-0,468249768	0,642778242	-0,760294098	0,8137927
0,25	0	0,320411022	-0,603456217	0,828446872	-0,980027787	1,0491725
0,3	0	0,385780925	-0,726596208	0,997554543	-1,180178069	1,263599034
0,35	0	0,433204979	-0,815926316	1,120220307	-1,325341737	1,419086993
0,4	0	0,463965534	-0,873864439	1,199770139	-1,419465094	1,519879169
0,45	0	0,47934486	-0,902828009	1,23952862	-1,46649145	1,570213087
0,5	0	0,480625138	-0,905233958	1,242818839	-1,470360907	1,574320619
0,55	0	0,469088464	-0,883498704	1,21296234	-1,435010246	1,536427799
0,6	0	0,44601684	-0,840038145	1,153279118	-1,364372921	1,460754801
0,65	0	0,412692182	-0,777267676	1,067087657	-1,262379138	1,351516082
0,7	0	0,370396325	-0,69760221	0,957705004	-1,132956008	1,212920654
0,75	0	0,320411022	-0,603456217	0,828446872	-0,980027787	1,0491725
0,8	0	0,264017962	-0,497243766	0,682627782	-0,807516159	0,86447108
0,85	0	0,202498769	-0,381378581	0,52356122	-0,619340589	0,663011945
0,9	0	0,137135023	-0,258274102	0,354559822	-0,419418711	0,448987427
0,95	0	0,069208262	-0,13034355	0,178935569	-0,211666755	0,226587384
1	0	0	0	0	0	0

Координата, м	0.6,с	0.7,с	0.8,с	0.9,с	1.0,с
0	0	0	0	0	0
0,05	-0,54352494	1,132899374	-1,610771845	1,943953974	-2,111879392
0,1	-1,098975476	2,290611422	-3,256880009	3,930703256	-4,270504684
0,15	-1,678276026	3,497946841	-4,973657388	6,00303741	-6,52261282
0,2	-2,293348624	4,77971233	-6,796429946	8,203734397	-8,914922633
0,25	-2,956111673	6,160708482	-8,760513074	10,57555445	-11,4941253
0,3	-3,559801591	7,418572912	-10,54952879	12,73610279	-13,84381897
0,35	-3,997648437	8,330932559	-11,84708062	14,30295361	-15,54755339
0,4	-4,28155166	8,922556192	-12,6884288	15,31877476	-16,65187559
0,45	-4,423402133	9,218198185	-13,10880866	15,8261923	-17,20326736
0,5	-4,435081539	9,242597478	-13,14342875	15,86778745	-17,24814058
0,55	-4,32846206	9,020477059	-12,82747	15,48609515	-16,83283486
0,6	-4,115406347	8,57654391	-12,19608561	14,72360385	-16,00361731
0,65	-3,807767746	7,93548939	-11,28440171	13,62275665	-14,80668424
0,7	-3,417390752	7,121989998	-10,12751868	12,22595351	-13,28816467
0,75	-2,956111673	6,160708482	-8,760513074	10,57555445	-11,4941253
0,8	-2,435759463	5,076295244	-7,218440056	8,713883673	-9,470576932
0,85	-1,868156717	3,89339001	-5,536336292	6,683234363	-7,26348197
0,9	-1,265120789	2,636623704	-3,7492232	4,525874164	-4,918762965
0,95	-0,638465013	1,3306205	-1,892110502	2,284051119	-2,482311888
1	0	0	0	0	0

Таб.6. Ускорения балки по расчетам в Python