



МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ
РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

Белорусский национальный технический
университет

Кафедра «Мосты и тоннели»

В.А. Ходяков

ИСПЫТАНИЕ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ

Варианты заданий и примеры расчёта

Минск
БНТУ
2021

Р е ц е н з е н т:
кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой
«Мосты и тоннели» Белорусского национального технического университета
В.А. Гречухин

Ходяков В. А.

Испытание строительных конструкций: варианты заданий и примеры расчёта / В. А. Ходяков. – Минск : БНТУ, 2021. – 44 с.

В пособии приведены индивидуальные задания для выполнения лабораторных работ по дисциплине «Строительные конструкции». Также приведены примеры обработки результатов испытаний и расчёта лабораторных работ. Пособие подготовлено в дополнение к основному учебно-методическому пособию «Испытание строительных конструкций» – опубликовано в Репозитории БНТУ.

© Ходяков Вячеслав Андреевич, 2021
© Белорусский национальный технический университет, 2021

От автора:

В 2010 году я, будучи студентом первого курса, начал получать высшее образование на кафедре «Мосты и тоннели» Факультета транспортных коммуникаций. Тогда на дне первокурсника, мне довелось иметь разговор с Пастушковым Геннадием Павловичем, который на тот момент являлся заведующим кафедрой. Тогда он мне рассказал, что корпус, в котором до последнего времени находились лаборатории нашей кафедры, частично закрыли на ремонт, но обещают к следующему лету закончить все работы и открыть. Но чуда не случилось.

В 2015 году, после получения высшего образования, я поступил по распределению на свою кафедру. Моими первыми преподаваемыми дисциплинами стали эти лабораторные работы по дисциплине «Строительные конструкции».

Через некоторое время Геннадий Павлович сказал мне: «Нужно восстанавливать проведение лабораторных работ с испытаниями конструкций, нечего ждать окончания ремонта, вот тебе материально ответственный, у него всё что нам удалось эвакуировать с лабораторий под замком на складе, начинайте разбираться со всем этим и вводить в учебный процесс». Серьёзности этих слов я тогда не осознал, как и тех что слышал от него ещё тогда, на дне первокурсника. Понимание ситуации пришло лишь тогда, когда я пару семестров провёл курс лабораторных работ. Тогда пришло осознание плачевности нашего положения, особенно вкупе с тем, что мне наконец стало понятно, почему я за 5 лет обучения так и не увидел, и не провёл ни одного даже самого простого испытания балки. Почему так получилось? – Ждали возвращения к жизни лабораторий после ремонта, верили в светлое будущее. Пока ждали, основная часть материально-технической базы лабораторий кафедры пришла в негодность от долгого хранения, другая часть была сломана при неумелом использовании.

Началась планомерная работа по реабилитации курса лабораторных работ. На протяжении двух лет собирались и реанимировались, испытательные установки и макеты, оборудование, датчики и приборы. Вместе с материальной частью по крупицам собиралась информация о том, как же проводились те лабораторные работы, когда лаборатория функционировала. Ведь с того времени прошло уже почти 10 лет, а те специалисты, которые этим занимались практически все уже не работают на кафедре.

Тем временем в 2019 году 15 корпус окончательно закрыли, а четыре находящихся там факультета «распихали» по другим корпусам с очередным обещанием вернуть 15 корпус к жизни ближайшим летом и что всё это ненадолго. Теперь факультет находился в шести разных корпусах.

Прошло уже 13 лет, а 15 корпус БНТУ до сих пор на ремонте. Ещё пару лет назад мне с восхищением рассказывали о легендарном 250-тонном прессе, единственном в Беларуси. Этот пресс находился в лаборатории нашей кафедры, он был законсервирован в одной из лабораторий и ждал окончания ремонта. Теперь о нём уже совсем забыли – не осталось ничего. Пишу всё это, вспоминаю и аж озноб пробирает...

Но тем не менее, нет худа без добра. С учётом уже имеющихся методических пособий, конспектов лабораторных работ по дисциплине «Строительные конструкции», других информационных источников, с учётом актуальных требований и на основе восстановленной материально-технической базы было написано и опубликовано в 2019 году учебно-методическое пособие «Испытание строительных конструкций».

На протяжении года «обкатки» лабораторных работ в учебно-методическом пособии были исправлены основные ошибки, внесены правки, на основании часто задаваемых студентами вопросов. Опубликованное ранее методическое пособие было обновлено с сохранением года публикации.

В качестве дополнения к основному методическому пособию были составлены проверенные практикой варианты заданий для выполнения тех лабораторных работ, которые являются обязательными для проведения, однако, пока не обеспечены материально-технической базой.

Именно эти варианты заданий и легли в основу данного пособия. Кроме того, во второй главе данного пособия приведены примеры обработки результатов испытаний и расчёта по каждой лабораторной работе.

Дополнения и пожелания по совершенствованию и развитию изложенного курса лабораторных работ читатели могут направлять на электронную почту автора: xva609@gmail.com. Благодарю за обратную связь!

СОДЕРЖАНИЕ

ВАРИАНТЫ ЗАДАНИЙ ДЛЯ ВЫПОЛНЕНИЯ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ 7

Лабораторная работа № 2

**Оценка надежности и достоверности
экспериментальных данных 8**

Лабораторная работа № 4

**Определение нормативных и
расчётных механических характеристик древесины 10**

Лабораторная работа № 6

**Определение механических характеристик
арматурных сталей. Классы арматурных сталей 13**

Лабораторная работа № 7

**Определение нормативных и расчётных
механических характеристик бетона 21**

Лабораторная работа № 8

**Испытание железобетонной балки на изгиб
с разрушением по сечению нормальному к продольной оси 23**

Лабораторная работа № 9

**Испытание железобетонной балки на изгиб
с разрушением по сечению наклонному к продольной оси 24**

ПРИМЕРЫ ОБРАБОТКИ РЕЗУЛЬТАТОВ ИСПЫТАНИЙ И РАСЧЁТОВ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ 25

Лабораторная работа № 2

**Оценка надежности и достоверности
экспериментальных данных 26**

Лабораторная работа № 3	
Испытание стальной балки на изгиб с учётом развития пластических деформаций.....	28
Лабораторная работа № 4	
Определение нормативных и расчётных механических характеристик древесины	30
Лабораторная работа № 5	
Испытание деревянной балки на изгиб.....	33
Лабораторная работа № 6	
Определение механических характеристик арматурных сталей. Классы арматурных сталей	36
Лабораторная работа № 7	
Определение нормативных и расчётных механических характеристик бетона	38
Лабораторная работа № 8	
Испытание железобетонной балки на изгиб с разрушением по сечению нормальному к продольной оси	41
Лабораторная работа № 9	
Испытание железобетонной балки на изгиб с разрушением по сечению наклонному к продольной оси.....	43

**ВАРИАНТЫ ЗАДАНИЙ
ДЛЯ ВЫПОЛНЕНИЯ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ**

Лабораторная работа № 2

ОЦЕНКА НАДЕЖНОСТИ И ДОСТОВЕРНОСТИ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ДАННЫХ

№ Варианта									
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
37,63	44,25	26,71	28,01	48,40	35,93	36,73	28,31	32,92	47,70
35,88	43,45	27,45	29,64	47,38	35,10	39,38	27,02	31,51	46,60
35,94	44,64	29,87	28,99	48,52	36,03	39,36	26,75	32,37	46,47
36,00	44,86	28,96	29,90	48,69	35,02	37,71	25,98	31,11	45,51
36,01	43,95	28,20	26,24	46,55	35,30	38,56	28,20	30,50	45,62
35,61	44,13	27,13	27,68	48,05	34,76	36,81	27,63	32,99	47,23
36,13	45,28	28,85	28,19	47,86	35,33	36,00	28,37	32,44	45,93
36,84	44,78	29,65	28,61	46,82	34,52	38,09	27,55	32,09	43,97
36,95	43,36	26,38	25,27	46,21	36,60	38,95	28,66	33,98	46,69
36,89	44,10	29,29	28,69	47,18	34,29	38,10	30,12	32,61	44,30

№ Варианта									
11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
30,90	24,29	37,69	27,26	30,67	28,23	31,88	36,70	39,53	32,84
30,18	27,24	38,61	28,31	30,21	30,11	30,91	36,08	38,88	33,89
28,84	24,44	38,44	28,19	29,23	29,23	32,68	36,80	40,53	35,17
28,71	27,38	36,26	28,04	29,71	28,91	31,89	34,49	39,35	33,54
28,25	26,60	38,60	28,14	28,39	27,63	31,23	34,94	39,56	32,00
30,17	23,68	36,61	27,65	27,89	28,98	30,86	37,08	41,06	33,21
27,05	25,24	36,63	26,35	28,26	29,80	33,56	37,02	40,13	33,75
30,66	24,16	36,28	27,35	29,80	29,25	31,34	34,03	40,31	33,97
29,33	25,09	36,26	29,02	30,79	28,35	31,31	36,18	40,35	34,55
29,50	24,06	37,38	28,05	29,27	28,46	31,45	35,85	39,67	34,01

№ Варианта									
21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
38,11	33,81	25,53	32,89	38,76	24,11	37,70	33,92	30,78	30,20
36,91	37,02	24,36	33,29	36,06	25,13	37,89	36,16	31,76	30,59
35,99	36,45	26,64	30,44	38,56	25,44	36,73	34,30	30,41	29,27
37,40	36,77	24,27	31,70	38,99	25,68	37,41	33,53	32,01	27,76
37,55	35,74	27,52	31,85	36,03	25,42	39,86	33,71	30,11	28,48
38,26	36,37	24,49	32,45	37,21	24,58	39,21	34,17	31,82	30,26
37,48	34,08	25,36	33,39	36,75	25,56	38,74	31,96	31,99	28,57
37,78	36,11	25,64	32,66	35,22	25,87	37,45	31,93	31,24	29,98
35,34	35,36	25,71	32,65	37,70	25,08	37,00	35,18	31,35	30,35
38,19	36,11	24,28	33,91	37,65	25,34	37,49	34,30	30,60	31,41

№ Варианта									
31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
47,56	41,65	37,09	26,62	39,57	48,94	34,35	49,96	50,17	25,60
49,20	42,91	40,21	23,24	36,94	46,45	33,00	49,05	50,40	25,62
46,49	41,86	38,14	23,88	37,16	48,29	33,15	49,74	48,44	26,59
47,17	43,77	38,97	26,15	34,94	49,46	31,98	49,81	51,74	24,44
47,99	41,92	38,85	26,22	36,72	50,15	31,87	49,44	50,53	25,61
49,78	43,31	37,19	25,25	37,74	46,33	32,35	50,26	51,98	27,45
49,84	41,92	38,70	24,42	36,10	47,23	32,68	49,92	50,04	26,52
48,66	41,99	39,51	25,18	38,97	49,38	32,37	48,76	50,42	26,92
48,08	41,05	36,61	25,69	37,37	46,08	31,55	49,10	51,07	25,45
48,48	42,43	38,98	24,57	38,25	50,01	32,29	48,77	52,45	28,57

№ Варианта									
41	42	43	44	45	46	47	48	49	50
42,73	27,70	32,98	37,04	36,17	44,82	29,42	29,70	24,70	33,08
41,82	25,44	35,31	34,92	36,20	44,89	32,12	32,04	25,17	35,25
41,04	28,19	36,38	36,92	35,74	46,39	30,19	27,60	25,42	33,42
41,44	28,18	34,65	36,98	34,17	47,31	31,74	29,84	23,36	32,52
40,58	28,33	34,75	36,81	35,73	45,19	31,69	31,26	26,76	32,38
43,53	28,17	35,62	37,34	33,75	46,47	30,81	31,12	25,12	34,04
42,94	29,20	36,68	37,78	34,65	46,01	31,52	32,95	24,85	34,42
43,05	29,60	34,21	37,51	32,52	46,97	31,27	31,59	26,30	34,14
41,24	29,08	35,03	37,76	34,82	45,88	31,52	29,63	25,61	32,86
41,41	28,15	35,08	37,74	33,94	46,85	31,97	30,61	26,49	34,90

№ Варианта									
51	52	53	54	55	56	57	58	59	60
24,64	42,22	37,50	40,22	38,55	41,66	36,48	37,81	26,55	42,47
25,39	45,00	39,04	39,21	37,46	43,46	35,76	41,41	26,04	43,17
25,55	43,46	38,45	39,44	38,34	41,95	32,75	42,44	29,54	42,25
24,76	44,74	36,57	41,70	37,90	40,92	35,75	41,99	26,56	40,77
25,05	45,14	36,23	40,70	39,37	43,07	36,44	40,28	27,10	42,03
24,02	44,11	38,11	40,68	35,63	41,96	37,11	41,51	27,80	42,13
25,45	43,97	38,36	40,80	39,25	42,32	34,94	39,79	29,06	41,70
24,84	43,06	37,32	39,39	37,62	42,77	36,54	41,53	28,71	41,67
25,55	43,26	36,33	40,05	39,60	40,39	34,86	39,41	29,03	41,56
24,40	42,53	36,41	40,04	37,75	40,55	36,80	40,41	27,32	42,81

Лабораторная работа № 4

ОПРЕДЕЛЕНИЕ НОРМАТИВНЫХ И РАСЧЁТНЫХ МЕХАНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ДРЕВЕСИНЫ

№ Вар.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Сжатие вдоль волокон. Определение прочности										
F _{max} , Н	14983	13313	16461	16596	11243	19417	13725	11019	16250	12925
Сжатие вдоль волокон. Определение модуля упругости										
F, Н	9035	9176	3744	7613	3832	5887	8192	7139	7623	5146
Δl, мм	0,047	0,052	0,019	0,038	0,021	0,027	0,044	0,043	0,037	0,027
Сжатие поперёк волокон. Определение прочности										
F _{max} , Н	4515	3345	5290	5573	3486	5887	3562	3483	4352	3640
Сжатие поперёк волокон. Определение модуля упругости										
F, Н	1915	1031	3024	2673	2182	2351	2162	1647	2210	1471
Δl, мм	0,185	0,095	0,276	0,230	0,256	0,160	0,221	0,185	0,173	0,143
Растяжение вдоль волокон. Определение прочности										
F _{max} , Н	5863	5890	6365	6579	5441	6946	5530	5894	6626	5670
Скалывание вдоль волокон. Определение прочности										
F _{max} , Н	5131	4528	5271	5466	3892	5323	4007	3540	5443	4081
Влажность древесины										
W, %	15,7	19,3	11,3	10,5	20,8	7,6	17,6	23,3	11	16,4

№ Вар.	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Сжатие вдоль волокон. Определение прочности										
F _{max} , Н	10078	13226	18341	16602	15564	15481	12540	11648	16471	15970
Сжатие вдоль волокон. Определение модуля упругости										
F, Н	4262	5525	5226	7860	4699	7419	8274	7905	8048	9317
Δl, мм	0,026	0,030	0,025	0,038	0,023	0,035	0,045	0,045	0,042	0,049
Сжатие поперёк волокон. Определение прочности										
F _{max} , Н	3204	4413	4922	4072	4627	5616	3511	3847	5248	5108
Сжатие поперёк волокон. Определение модуля упругости										
F, Н	2014	1795	3214	1471	2604	1189	1510	1509	2786	1531
Δl, мм	0,292	0,186	0,223	0,114	0,242	0,093	0,141	0,191	0,250	0,124
Растяжение вдоль волокон. Определение прочности										
F _{max} , Н	5136	6113	5965	6105	5958	6552	5957	5953	6448	6002
Скалывание вдоль волокон. Определение прочности										
F _{max} , Н	3189	4627	5315	4440	5406	5150	4260	3859	5143	4909
Влажность древесины										
W, %	25,7	18	9,9	12,9	12,7	10,9	18,1	22,2	12,5	13,3

№ Вар.	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
Сжатие вдоль волокон. Определение прочности										
F _{max} , Н	13231	13816	13495	12216	17619	17040	18317	14286	21608	18807
Сжатие вдоль волокон. Определение модуля упругости										
F, Н	3535	5173	7835	8365	3595	9403	7964	3283	3921	3986
Δl, мм	0,019	0,027	0,039	0,049	0,017	0,044	0,037	0,018	0,018	0,019
Сжатие поперёк волокон. Определение прочности										
F _{max} , Н	3897	4239	3696	3935	5930	5566	6418	4124	6135	4730
Сжатие поперёк волокон. Определение модуля упругости										
F, Н	2098	1270	1399	1869	2929	1396	2482	1666	1309	2952
Δl, мм	0,208	0,128	0,134	0,191	0,193	0,099	0,188	0,153	0,099	0,207
Растяжение вдоль волокон. Определение прочности										
F _{max} , Н	5433	5920	6006	5590	6917	6002	6387	6013	6575	6033
Скалывание вдоль волокон. Определение прочности										
F _{max} , Н	4457	3924	4029	4135	5318	5158	6238	4527	5455	5044
Влажность древесины										
W, %	19,5	17,4	15,9	22,2	8	9,3	7,2	17,1	6,9	8,8

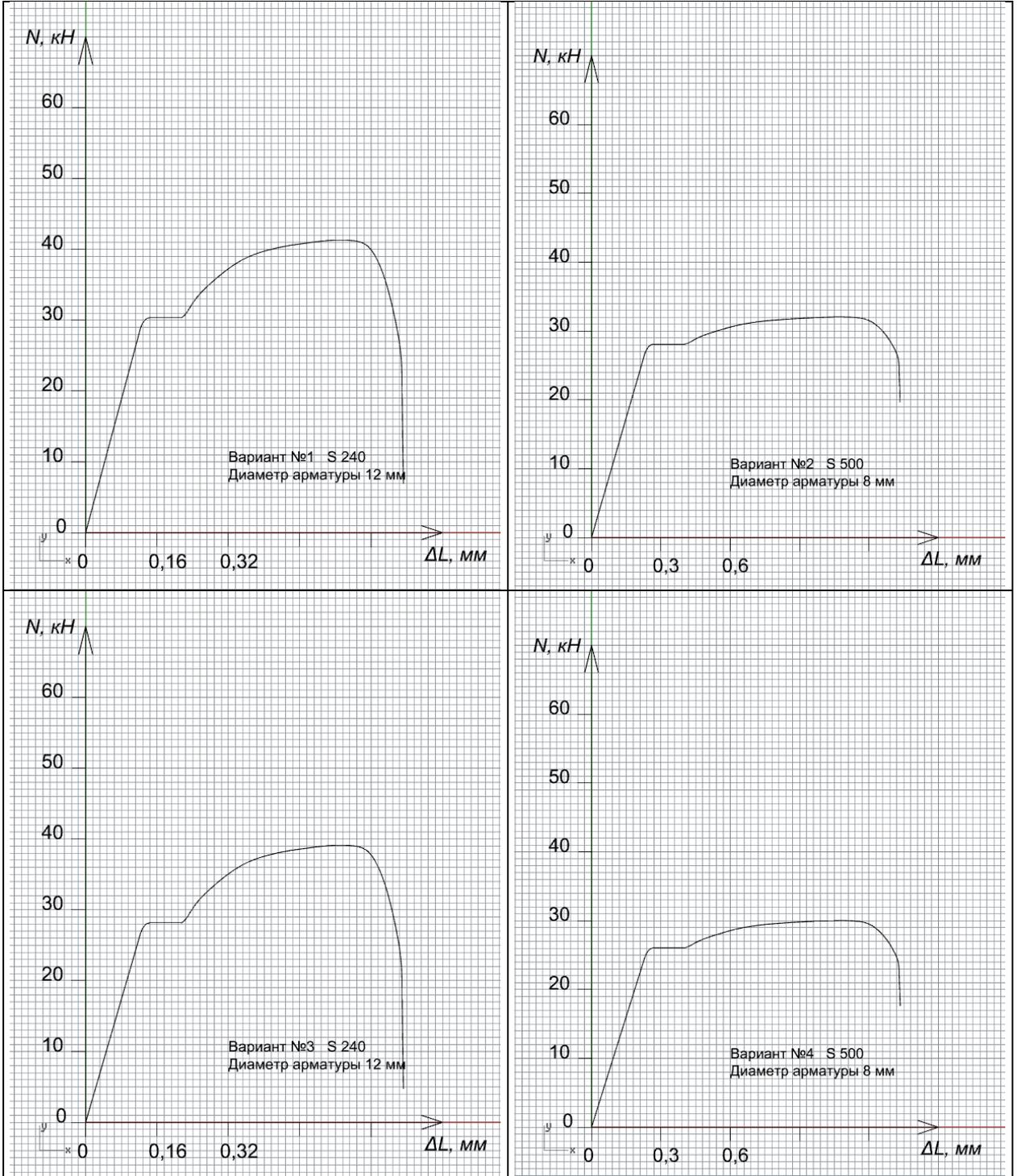
№ Вар.	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
Сжатие вдоль волокон. Определение прочности										
F _{max} , Н	19070	9686	10649	12298	12013	10224	11014	19626	12500	10714
Сжатие вдоль волокон. Определение модуля упругости										
F, Н	8849	7949	4379	8717	7434	6626	5061	6668	6443	6159
Δl, мм	0,043	0,046	0,027	0,045	0,040	0,041	0,028	0,031	0,036	0,035
Сжатие поперёк волокон. Определение прочности										
F _{max} , Н	5812	3201	3545	4227	3491	3219	3737	5355	3583	3517
Сжатие поперёк волокон. Определение модуля упругости										
F, Н	1532	1365	1771	1917	1588	868	1968	2534	1177	1886
Δl, мм	0,111	0,181	0,225	0,209	0,143	0,102	0,239	0,172	0,104	0,203
Растяжение вдоль волокон. Определение прочности										
F _{max} , Н	6798	5442	5568	5666	6200	5352	5553	6307	5541	5889
Скалывание вдоль волокон. Определение прочности										
F _{max} , Н	5966	3438	3715	4129	4191	3551	3782	5179	4028	3934
Влажность древесины										
W, %	8,5	25,2	25,5	17,9	17,8	27,1	21,5	8,4	17,4	23,4

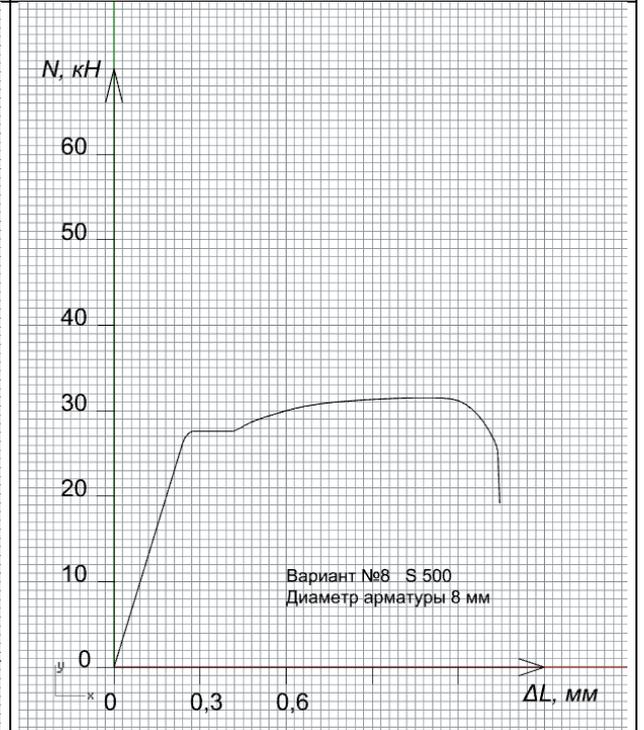
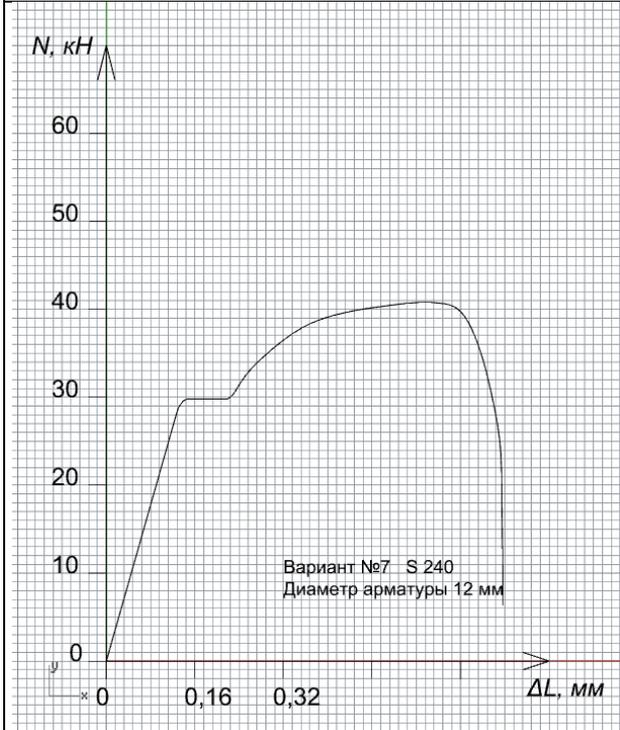
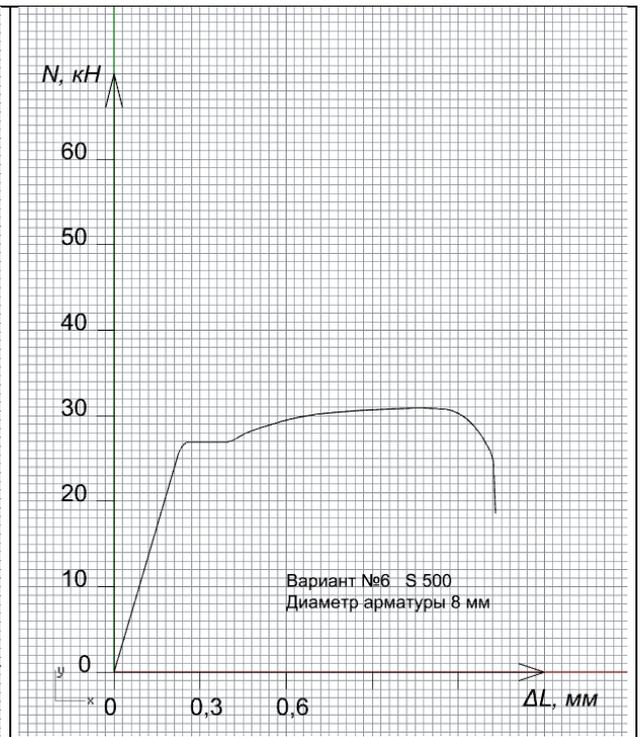
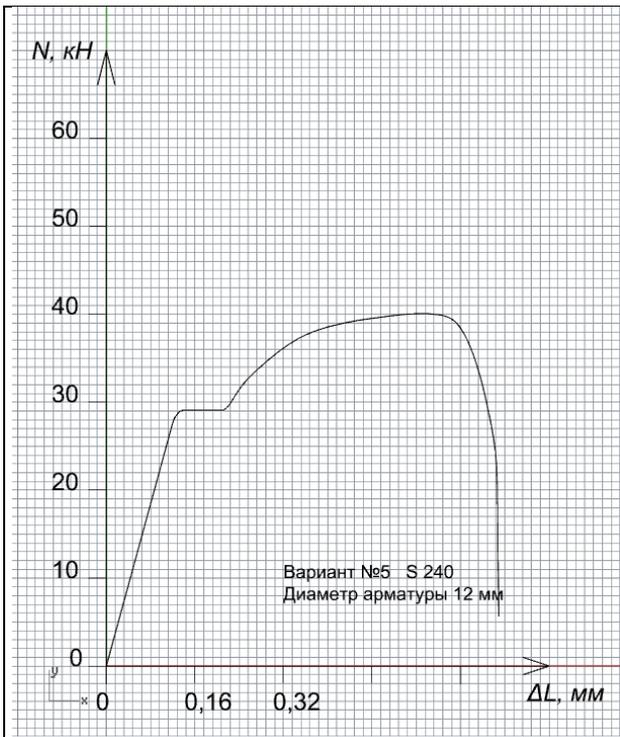
№ Вар.	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50
Сжатие вдоль волокон. Определение прочности										
F _{max} , Н	13725	13978	20098	11911	16412	10335	11230	21762	14885	11350
Сжатие вдоль волокон. Определение модуля упругости										
F, Н	8534	9341	6182	7053	7140	4308	3049	7202	5756	8837
Δl, мм	0,048	0,048	0,029	0,041	0,037	0,024	0,019	0,034	0,031	0,049
Сжатие поперёк волокон. Определение прочности										
F _{max} , Н	3913	3922	6222	3241	4261	3614	3054	5996	4779	4123
Сжатие поперёк волокон. Определение модуля упругости										
F, Н	998	2718	2648	1346	1244	1932	1195	2428	2308	803
Δl, мм	0,110	0,281	0,194	0,141	0,101	0,244	0,160	0,158	0,198	0,080
Растяжение вдоль волокон. Определение прочности										
F _{max} , Н	5833	5909	6289	5689	6087	5487	5552	6702	6482	6171
Скалывание вдоль волокон. Определение прочности										
F _{max} , Н	3955	4361	5986	4231	5502	3671	3848	6514	4459	4544
Влажность древесины										
W, %	17,6	14,9	7,4	23,1	13,2	22,8	24,4	6,3	13,2	19,6

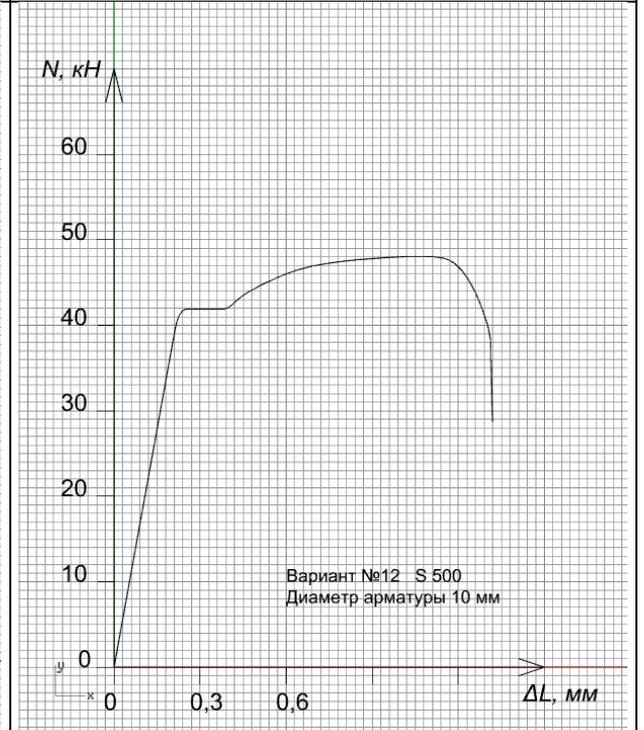
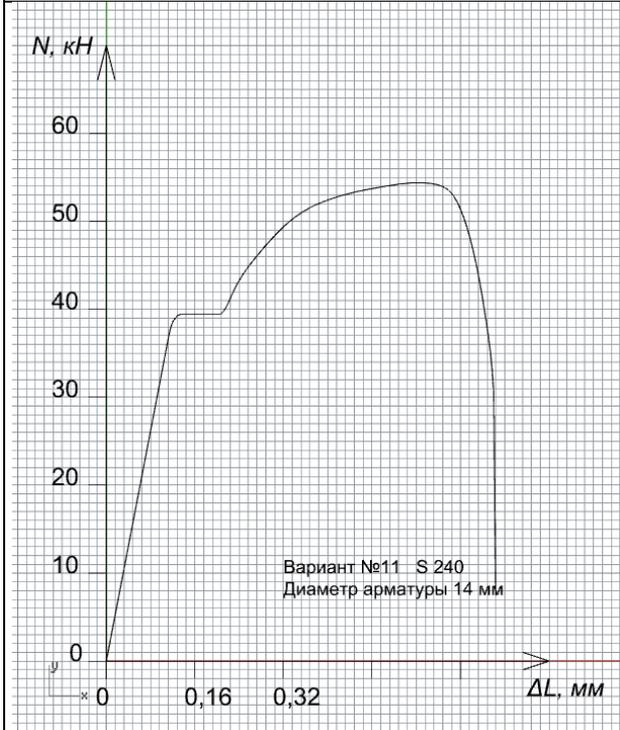
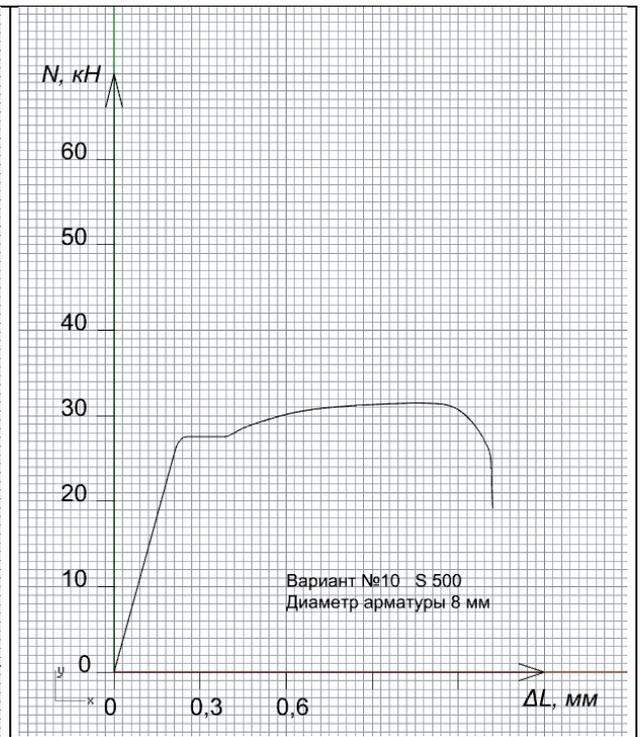
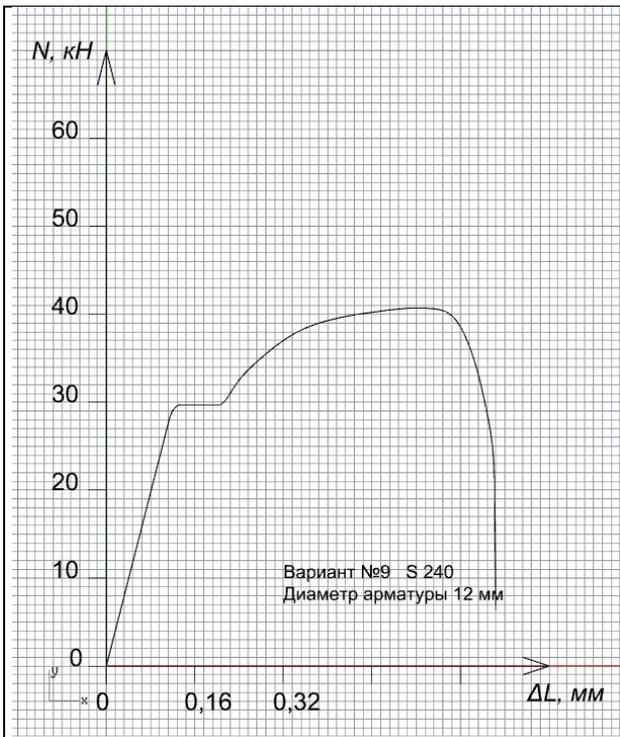
№ Вар.	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60
Сжатие вдоль волокон. Определение прочности										
F _{max} , Н	22165	11491	10497	21287	17917	11799	13131	13475	10959	11436
Сжатие вдоль волокон. Определение модуля упругости										
F, Н	10717	7606	4553	3809	9173	4040	5329	4746	2988	6782
Δl, мм	0,050	0,043	0,026	0,018	0,046	0,023	0,027	0,024	0,017	0,040
Сжатие поперёк волокон. Определение прочности										
F _{max} , Н	6418	4313	3362	6058	4601	3294	3813	4263	3765	3622
Сжатие поперёк волокон. Определение модуля упругости										
F, Н	2779	1009	1357	3352	2191	1906	1370	2008	1176	1688
Δl, мм	0,203	0,111	0,146	0,260	0,177	0,233	0,141	0,179	0,147	0,223
Растяжение вдоль волокон. Определение прочности										
F _{max} , Н	6780	5448	5396	6723	6384	5510	5807	6434	5883	5897
Скалывание вдоль волокон. Определение прочности										
F _{max} , Н	5481	4490	3728	6098	5381	3599	4680	4161	3480	3875
Влажность древесины										
W, %	6,4	19,2	23,2	7,2	11	20,9	16,7	15,2	23,5	24,6

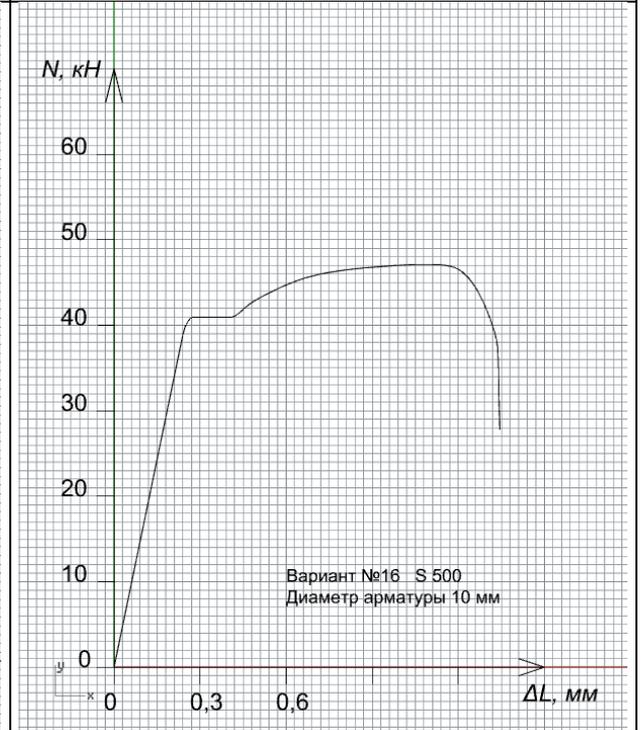
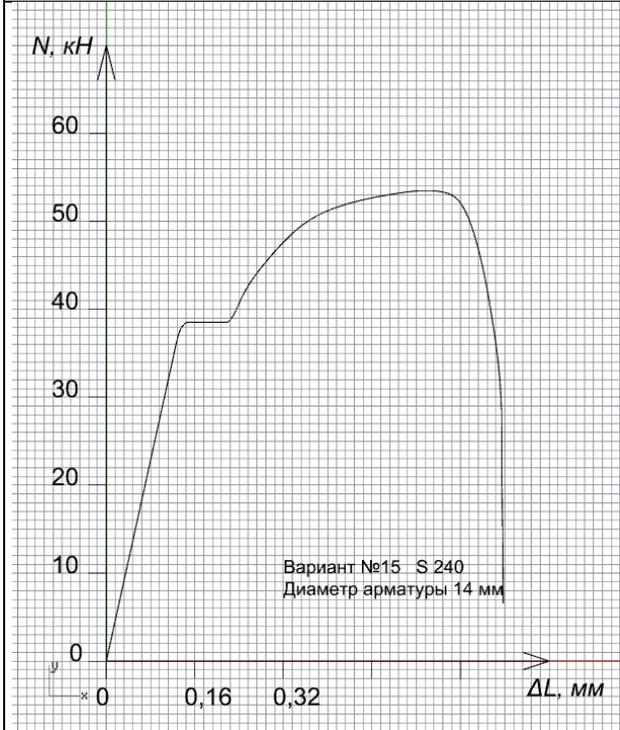
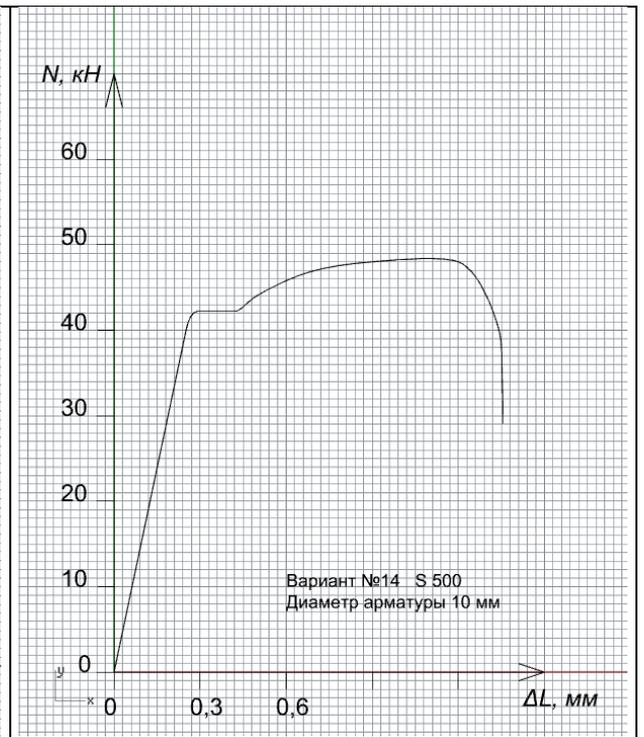
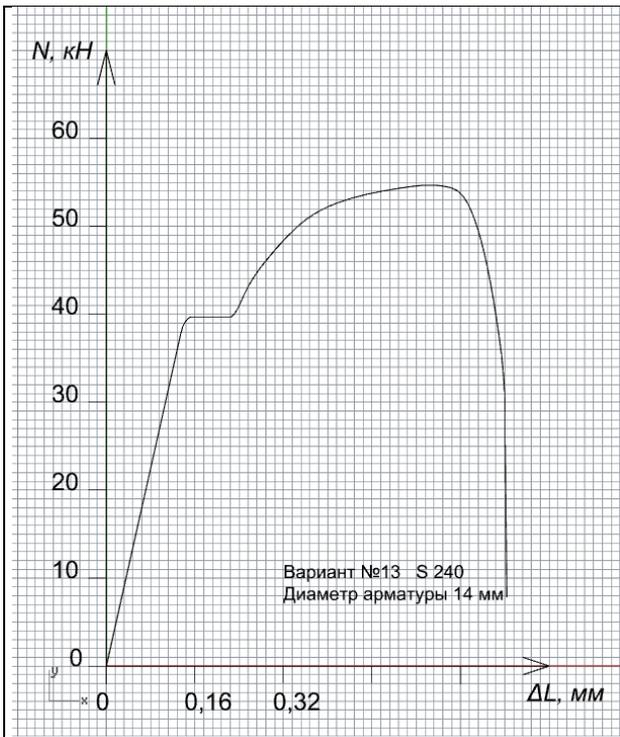
Лабораторная работа № 6

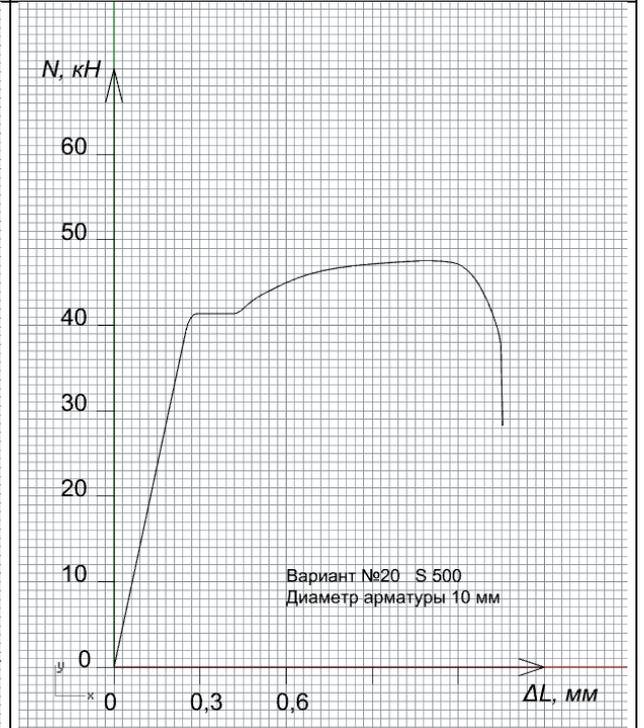
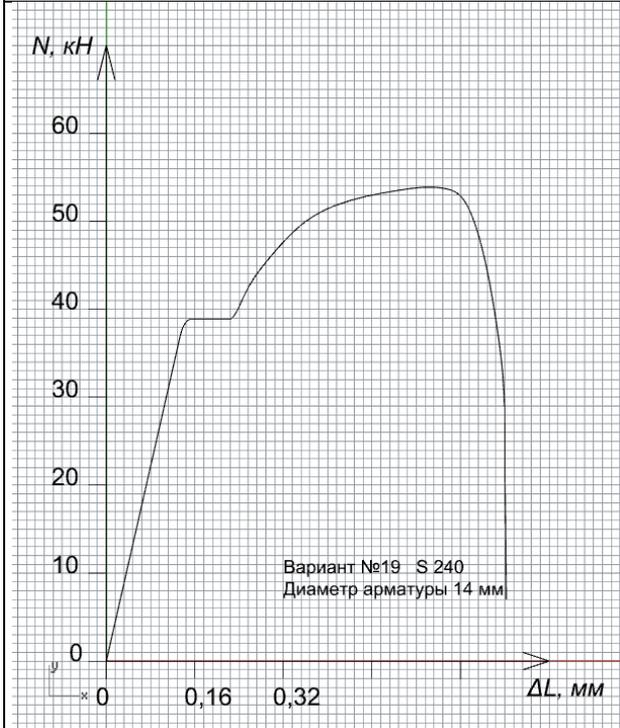
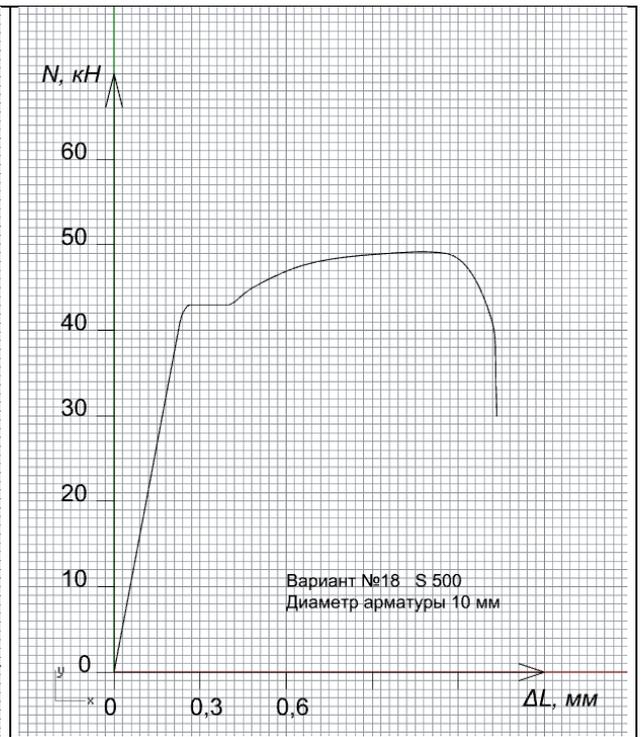
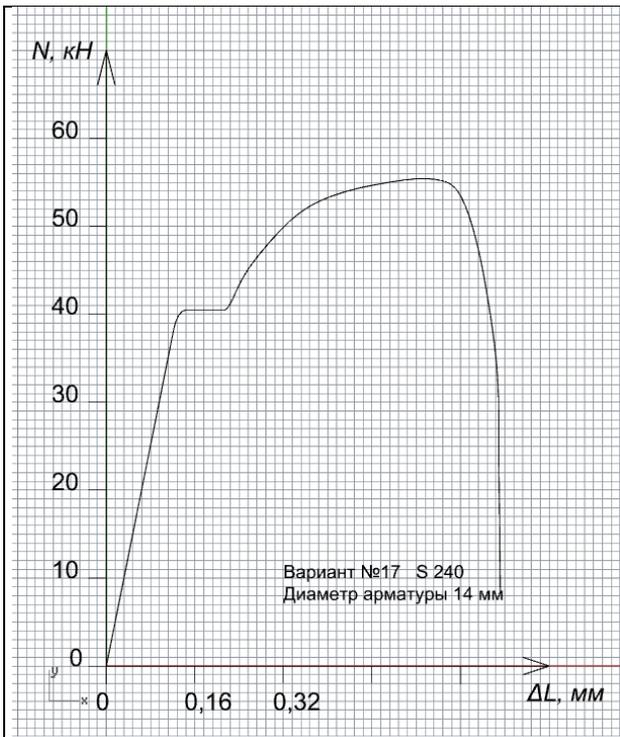
ОПРЕДЕЛЕНИЕ МЕХАНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК АРМАТУРНЫХ СТАЛЕЙ. КЛАССЫ АРМАТУРНЫХ СТАЛЕЙ

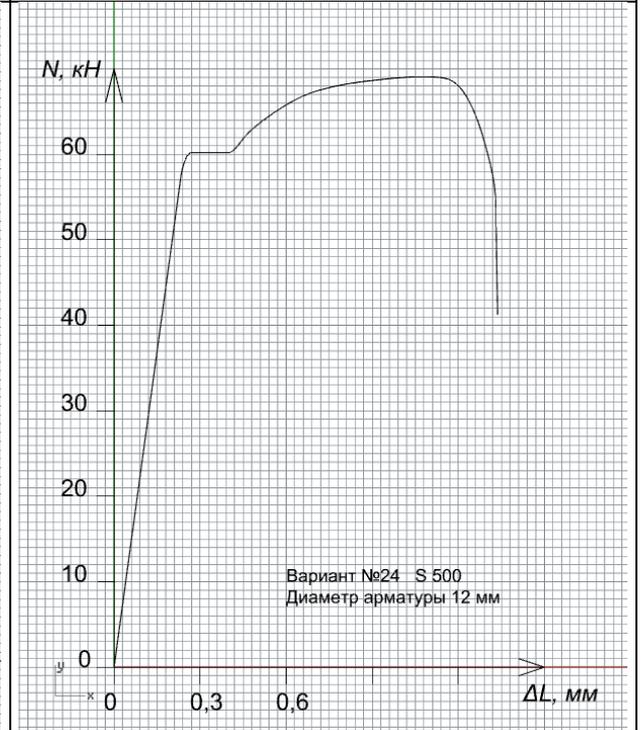
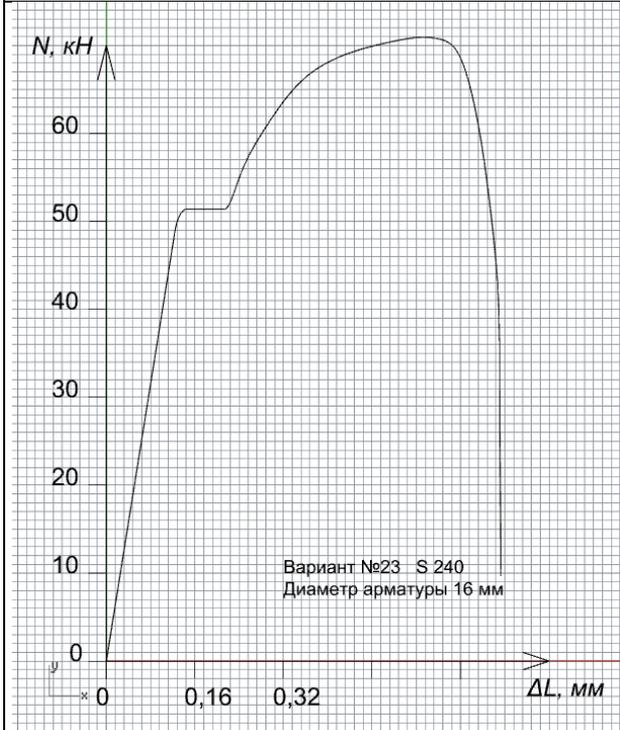
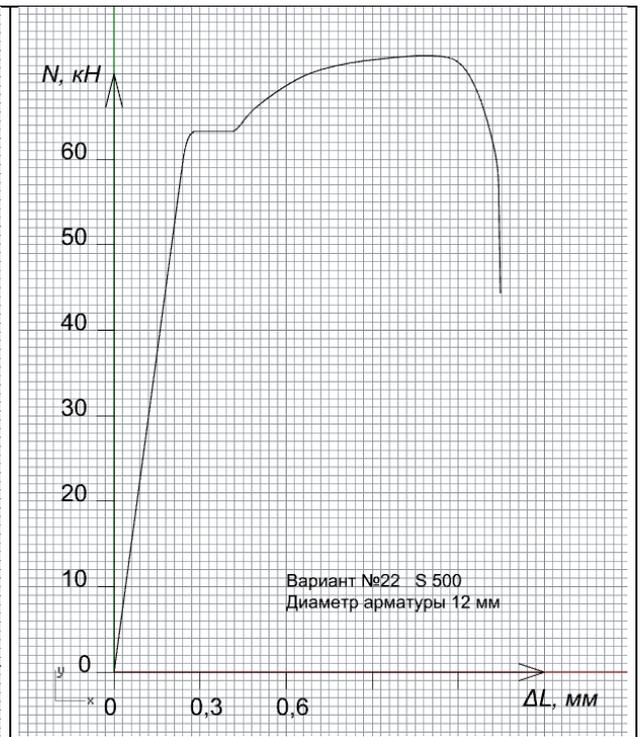
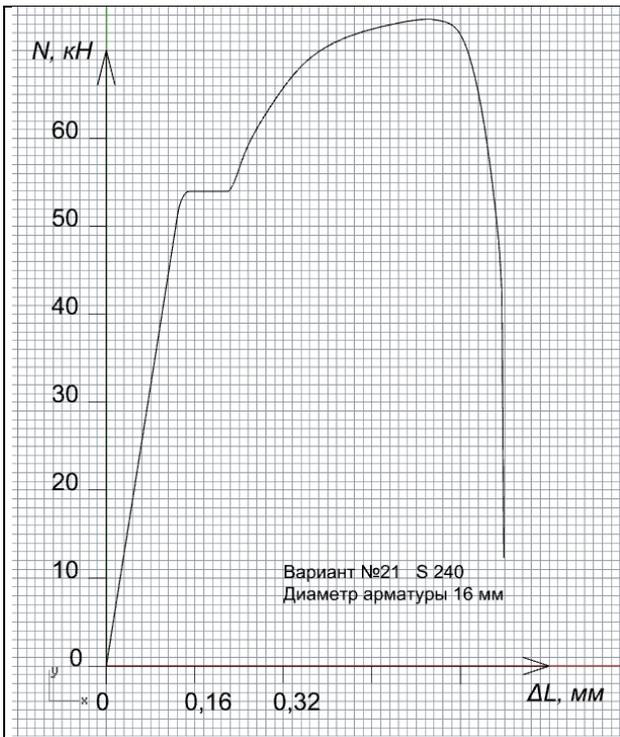


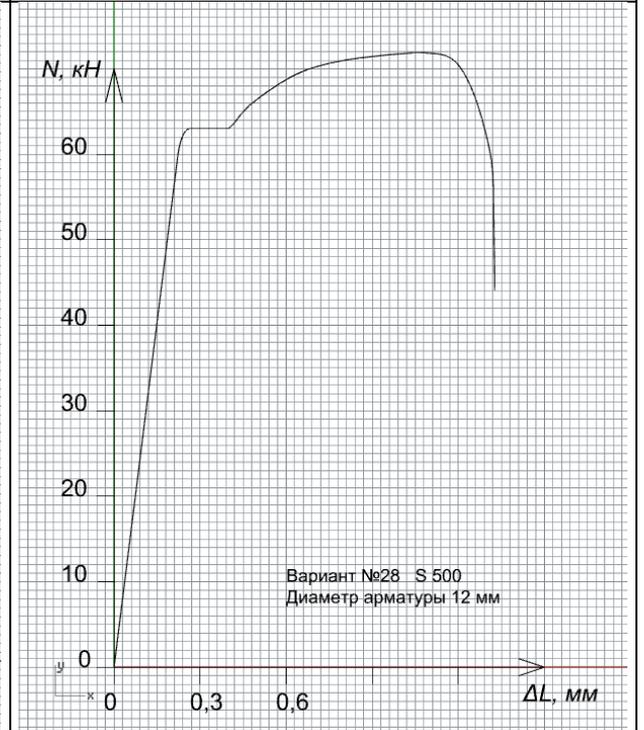
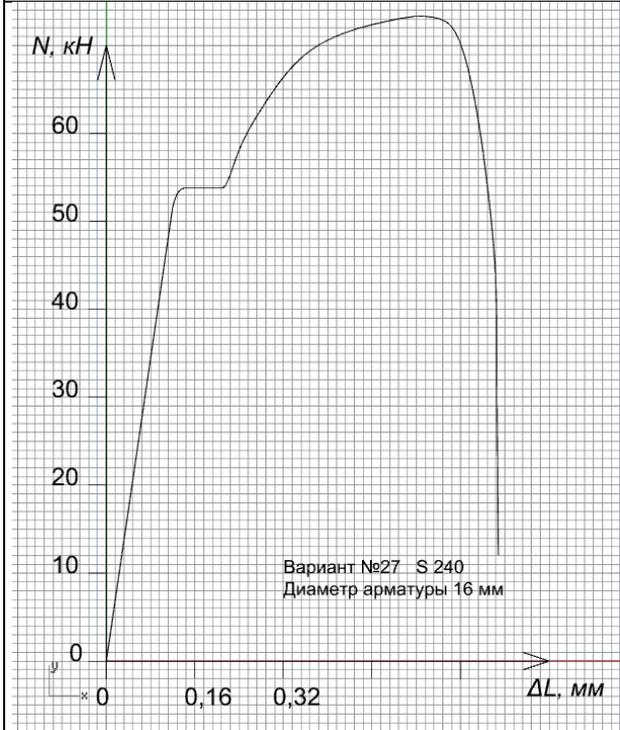
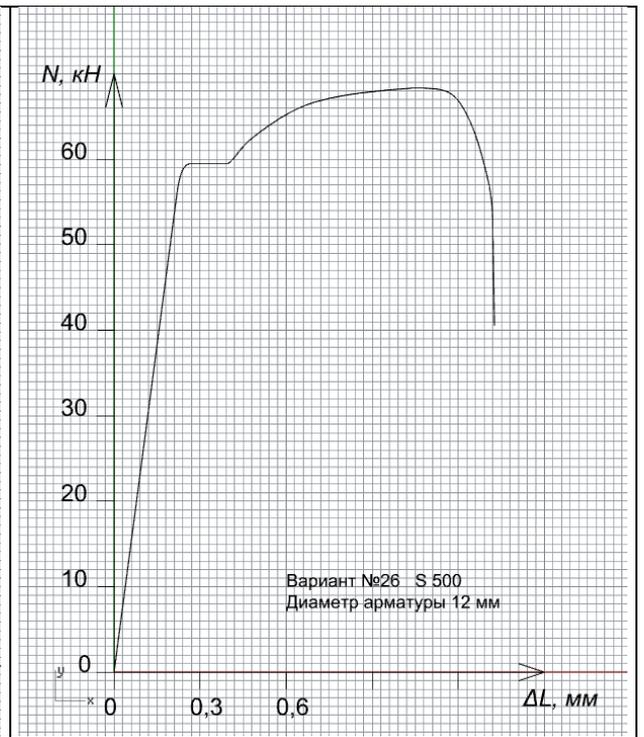
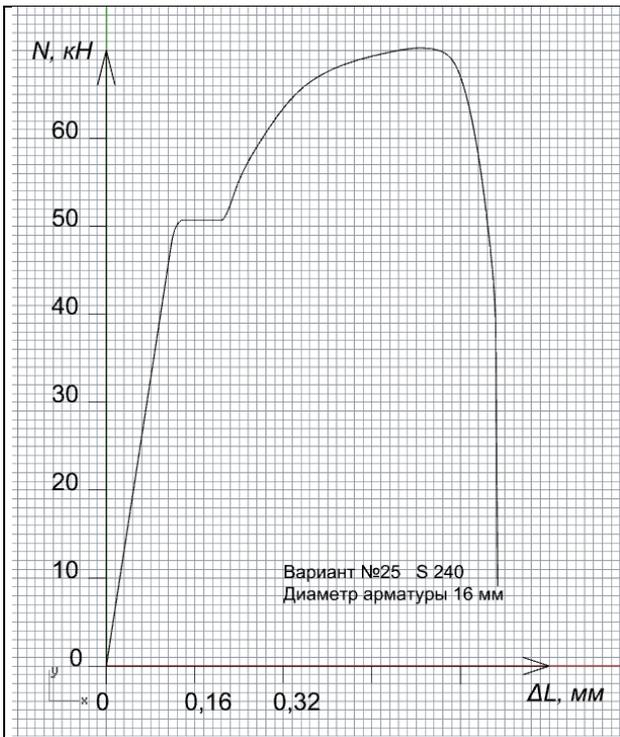


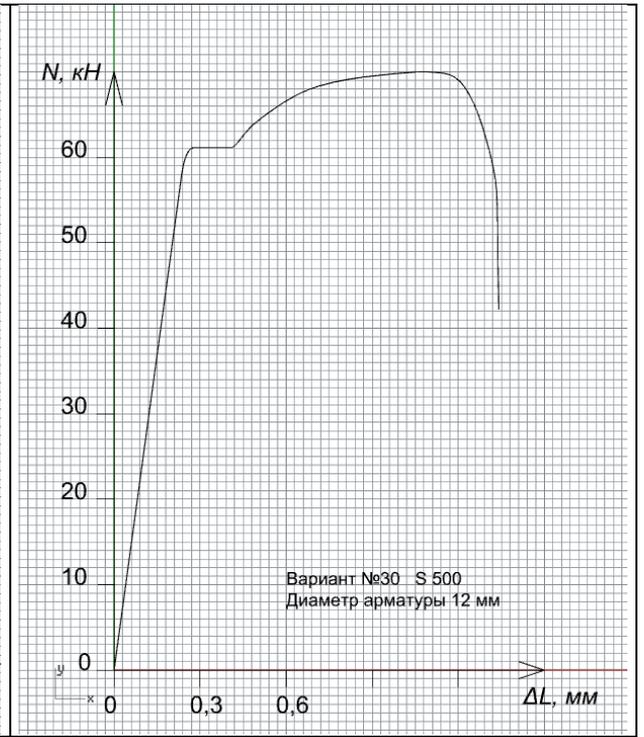
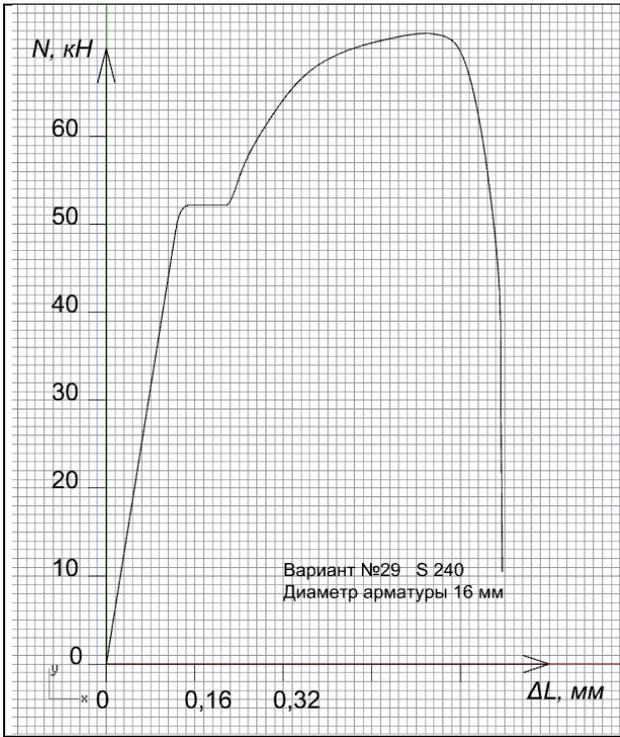












Лабораторная работа № 7

ОПРЕДЕЛЕНИЕ НОРМАТИВНЫХ И РАСЧЁТНЫХ МЕХАНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК БЕТОНА

10 результатов испытаний. Разрушающая нагрузка $N_{u,i}$ в кН.

№ Варианта									
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
422	487	386	391	266	312	409	401	465	500
423	498	385	403	283	296	411	383	465	500
397	488	387	395	251	299	397	406	442	509
413	526	353	400	273	305	417	397	474	496
404	500	372	401	285	311	402	409	464	516
414	503	363	400	293	317	406	394	460	499
402	478	363	418	274	321	410	414	456	513
412	515	379	430	242	280	426	393	458	514
412	492	369	416	266	309	412	391	464	495
402	507	372	414	274	308	415	412	461	499

№ Варианта									
11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
340	382	404	324	346	301	268	254	403	330
353	379	407	316	338	289	270	288	411	315
334	384	407	322	327	313	253	275	401	295
347	386	402	308	337	268	261	266	393	325
351	384	407	319	319	307	250	273	416	280
341	373	410	312	328	289	278	284	405	306
330	373	402	326	337	292	262	264	401	324
341	397	394	329	359	307	257	285	381	330
335	404	416	308	343	294	264	283	403	325
348	413	376	299	355	301	275	282	404	323

№ Варианта									
21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
491	346	413	491	515	335	302	332	336	269
481	352	412	500	515	337	303	330	356	259
492	381	425	485	517	350	313	327	344	253
485	348	431	493	529	335	315	334	340	268
496	352	428	484	503	341	312	333	354	261
488	348	412	477	502	350	309	322	347	269
479	336	428	490	517	362	319	343	341	258
511	353	410	503	515	370	312	353	330	265
495	347	407	480	521	341	299	319	352	264
478	343	431	493	512	342	306	330	332	267

10 результатов испытаний. Разрушающая нагрузка $N_{u,i}$ в кН.

№ Варианта									
31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
395	309	469	442	406	509	449	448	449	276
399	286	475	443	424	510	449	464	451	285
393	322	469	396	409	507	439	448	465	306
410	305	477	424	414	515	460	460	431	269
404	323	493	418	395	510	456	450	462	280
410	327	502	439	408	511	428	465	437	276
391	320	484	428	412	525	447	454	449	267
396	322	481	418	424	511	436	459	453	284
395	314	466	419	406	497	447	463	458	272
407	313	465	432	408	504	440	456	458	287

№ Варианта									
41	42	43	44	45	46	47	48	49	50
482	388	355	410	255	396	340	310	438	350
499	367	335	399	268	398	334	305	440	352
502	367	337	397	269	389	349	290	424	356
489	368	356	404	247	391	341	297	438	343
493	355	347	408	257	400	359	301	424	333
486	372	354	408	254	392	322	313	424	340
508	359	339	388	282	390	337	310	440	344
506	354	339	395	261	412	346	292	431	341
485	388	343	400	264	396	327	294	441	341
504	368	336	402	260	368	313	288	425	345

№ Варианта									
51	52	53	54	55	56	57	58	59	60
379	283	264	287	409	326	254	522	245	475
381	271	275	289	412	332	257	537	266	489
381	275	278	290	437	330	273	524	286	468
392	272	272	298	418	358	267	509	268	468
388	246	266	291	419	321	272	526	281	475
392	250	264	279	425	333	261	513	269	459
392	247	267	321	430	328	264	504	266	458
379	251	289	290	416	316	252	508	284	457
402	261	275	275	422	315	246	491	259	472
404	263	277	294	436	318	260	526	265	485

Лабораторная работа № 8

ИСПЫТАНИЕ ЖЕЛЕЗОБЕТОННОЙ БАЛКИ НА ИЗГИБ С РАЗРУШЕНИЕМ ПО СЕЧЕНИЮ НОРМАЛЬНОМУ К ПРОДОЛЬНОЙ ОСИ

Геометрические размеры и армирование балки

Наименование величины	Обозначение	Размерность	Численное значение
Высота сечения	h	мм	200
Ширина сечения	b	мм	100
Длина балки	l	мм	1200
Расчётный пролёт балки	l_0	мм	1000
Диаметр арматуры в растянутой зоне	\emptyset	мм	10
Площадь поперечного сечения арматуры в растянутой зоне	A_s	мм ²	78,9
Защитный слой арматуры в растянутой зоне	c	мм	30

Нагрузка для расчёта прогиба балки: $F = 10\,000\text{ Н}$

Модуль упругости арматуры E_s принимается по результатам расчёта ЛР №6

Предел текучести стали f_y принимается по результатам расчёта ЛР №6

Модуль упругости бетона E_{c0} принимается по результатам расчёта ЛР №7

Прочность бетона на растяжение f_{ctm} принимается по результатам расчёта ЛР №7

Прочность бетона на сжатие f_{cm} принимается по результатам расчёта ЛР №7

Лабораторная работа № 9

ИСПЫТАНИЕ ЖЕЛЕЗОБЕТОННОЙ БАЛКИ НА ИЗГИБ С РАЗРУШЕНИЕМ ПО СЕЧЕНИЮ НАКЛОННОМУ К ПРОДОЛЬНОЙ ОСИ

Геометрические размеры и армирование балки

Наименование величины	Обозначение	Размерность	Численное значение
Высота сечения	h	мм	200
Ширина сечения	b	мм	100
Длина балки	l	мм	1200
Расчётный пролёт балки	l_0	мм	1000
Защитный слой арматуры в растянутой зоне	c	мм	30
Диаметр вертикально установленной поперечной арматуры	\emptyset	мм	4
Площадь сечения поперечной арматуры	A_{sw}	мм ²	12,56
Продольный шаг поперечной арматуры	s	мм	100

Прочность бетона на растяжение f_{ctm} принимается по результатам расчёта ЛР №7

Предел текучести стали f_{yw} принимается по результатам расчёта ЛР №6

**ПРИМЕРЫ ОБРАБОТКИ РЕЗУЛЬТАТОВ ИСПЫТАНИЙ
И РАСЧЁТОВ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ**

Лабораторная работа № 2

ОЦЕНКА НАДЕЖНОСТИ И ДОСТОВЕРНОСТИ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ДАННЫХ

1) Среднее значение измеренной величины.

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} = 44,28$$

2) Среднеквадратическое отклонение.

x_i	44,25	43,45	44,64	44,86	43,95	44,13	45,28	44,78	43,36	44,10
Δx_i	-0,03	-0,83	0,36	0,58	-0,33	-0,15	1,00	0,50	-0,92	-0,18
Δx_i^2	0,0009	0,6889	0,1296	0,3364	0,1089	0,0225	1,0000	0,2500	0,8464	0,0324

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\Delta x_i^2)}{n-1}} = \sqrt{\frac{3,416}{10-1}} = 0,616$$

3) Строим гистограмму и полигон распределения результатов измерений.

Исходные данные для построения гистограммы распределения

Интервалы в общем виде	от $\bar{x} - 3s$ до $\bar{x} - 2s$	от $\bar{x} - 2s$ до $\bar{x} - s$	от $\bar{x} - s$ до \bar{x}	от \bar{x} до $\bar{x} + s$	от $\bar{x} + s$ до $\bar{x} + 2s$	от $\bar{x} + 2s$ до $\bar{x} + 3s$
Численные значения интервалов	42,432 43,048	43,048 43,664	43,664 44,280	44,280 44,896	44,896 45,512	45,512 46,128
Количество значений попавших в интервалы, n_x	0	2	4	3	1	0

4) Выявляем 5% недостоверных значений.

$$(\bar{x} - s \cdot \tau_\alpha) \leq x_i \leq (\bar{x} + s \cdot \tau_\alpha)$$

$$(44,28 - 0,616 \cdot 2,29) \leq x_i \leq (44,28 + 0,616 \cdot 2,29)$$

$$42,87 \leq x_i \leq 45,69$$

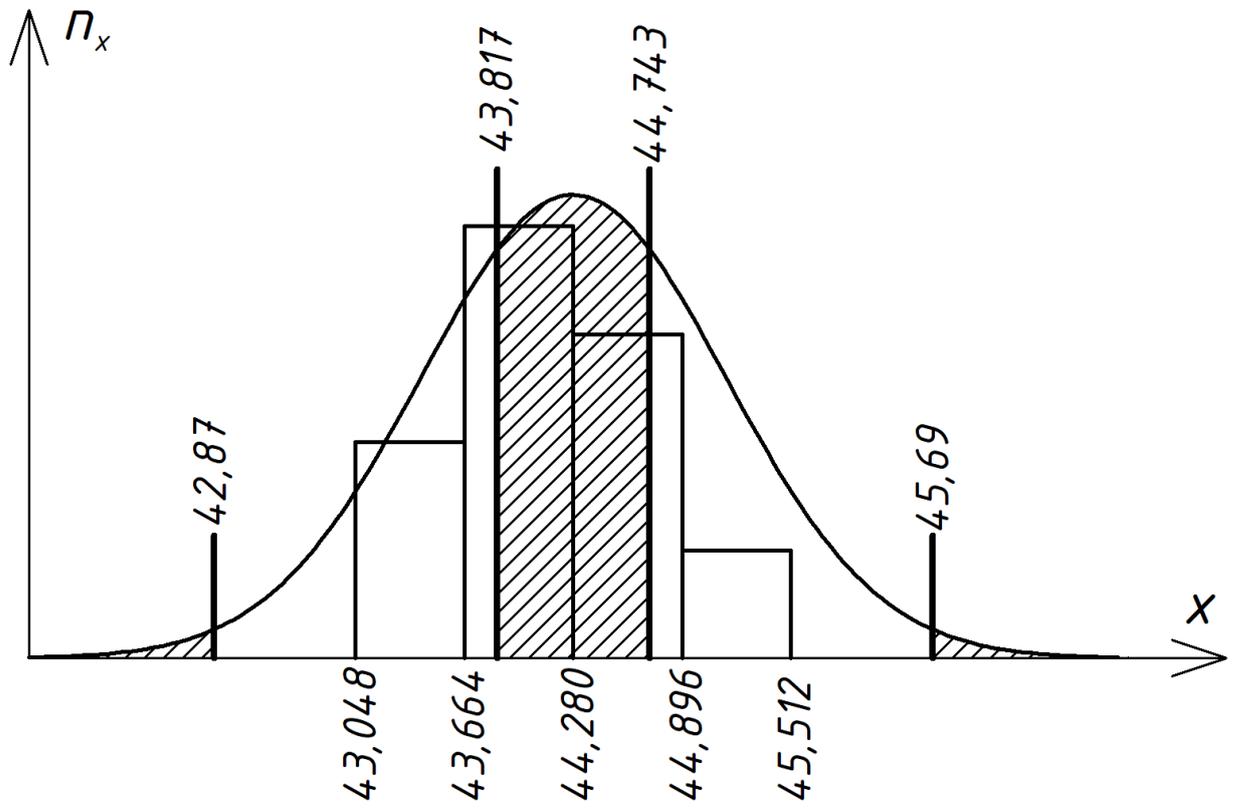
5) Оценка сходимости расчётного и опытного значений при доверительной вероятности $P = 95\%$.

$$m_M = \frac{s}{\sqrt{n-1}} = \frac{0,616}{\sqrt{10-1}} = 0,205$$

$$(\bar{x} - t_\alpha \cdot m_M) \leq M_{col} \leq (\bar{x} + t_\alpha \cdot m_M)$$

$$(44,28 - 2,26 \cdot 0,205) \leq M_{col} \leq (44,28 + 2,26 \cdot 0,205)$$

$$43,817 \leq M_{col} \leq 44,743$$



Лабораторная работа № 3

ИСПЫТАНИЕ СТАЛЬНОЙ БАЛКИ НА ИЗГИБ С УЧЁТОМ РАЗВИТИЯ ПЛАСТИЧЕСКИХ ДЕФОРМАЦИЙ

Результаты измерений

Измерение	Показания по ИЧ	Измерение	Показания по ИДЦ	
			T1 низ	T2 верх
до нагружения, ϑ_0 , мм	3,17	до нагружения, ЕОД ₀	11230	12370
после нагружения, ϑ_1 , мм	5,00	после нагружения, ЕОД ₁	11300	12300
прогиб $\vartheta_{оп} = \vartheta_1 - \vartheta_0$, мм	1,83	$\Delta\text{ЕОД} = \text{ЕОД}_1 - \text{ЕОД}_0$	70	-70
геометрические параметры балки, мм	l_0	1000	относительная деформация «волокон», мкм/м	63,63
	b	39,1		
	h	6,9		
нагрузка, кг	P	2,426	механические напряжения, $\sigma_{оп}$, МПа	13,36

Относительная деформация.

$$\varepsilon = \Delta\text{ЕОД} \cdot S = 70 \cdot 0,909 = 63,63 \text{ мкм/м}$$

Опытное значение механического напряжения.

$$\sigma_{оп} = \varepsilon \cdot E = (63,63 / 1\,000\,000) \cdot 210\,000 = 13,36 \text{ МПа}$$

Определение расчётных значений и сравнение их с опытными

1) Расчётное значение прогиба.

$$\vartheta_p = \frac{23}{648} \cdot \frac{F \cdot l_0^3}{2 \cdot E \cdot J} = \frac{23}{648} \cdot \frac{2,426 \cdot 9,81 \cdot 1000^3}{2 \cdot 210\,000 \cdot 1070,4} = 1,88 \text{ мм}$$

где $J = \frac{b \cdot h^3}{12} = \frac{39,1 \cdot 6,9^3}{12} = 1070,4 \text{ мм}^4$.

2) Относительное расхождение расчётного и опытного значений прогиба.

$$\Delta\vartheta = \frac{\vartheta_p - \vartheta_{оп}}{\vartheta_p} \cdot 100 = \frac{1,88 - 1,83}{1,88} \cdot 100 = 2,66 \%$$

3) Расчётного значения механического напряжения.

$$\sigma_p = \frac{M}{W} = \frac{F \cdot l_0}{6 \cdot W} = \frac{2,426 \cdot 9,81 \cdot 1000}{6 \cdot 310,26} = 12,78 \text{ МПа}$$

где $W = \frac{b \cdot h^2}{6} = \frac{39,1 \cdot 6,9^2}{6} = 310,26 \text{ мм}^3$.

4) Относительное расхождение расчётного и опытного значений напряжений.

$$\Delta\sigma = \frac{\sigma_p - \sigma_{оп}}{\sigma_p} \cdot 100 = \frac{12,78 - 13,36}{12,78} \cdot 100 = -4,54 \%$$

Определение критических нагрузок для стадий НДС

1) Критическая нагрузка I - II стадия НДС.

$$P_{el} = \frac{6 \cdot M_{el}}{l_0} = \frac{6 \cdot (f_y \cdot W)}{l_0} = \frac{6 \cdot (235 \cdot 310,26)}{1000} = 437,5 \text{ Н} = 44,6 \text{ кг}$$

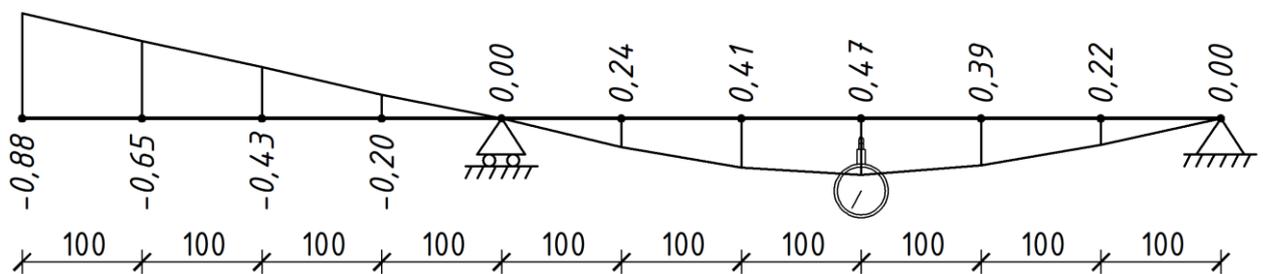
2) Критическая нагрузка II стадия НДС.

$$P_{el-pl} = \frac{6 \cdot M_{el-pl}}{l_0} = \frac{6 \cdot (f_y \cdot W \cdot k_1)}{l_0} = \frac{6 \cdot (235 \cdot 310,26 \cdot 1,15)}{1000} = 503,1 \text{ Н} = 51,3 \text{ кг}$$

3) Критическая нагрузка III стадия НДС.

$$P_{pl} = \frac{6 \cdot M_{pl}}{l_0} = \frac{6 \cdot (f_y \cdot W \cdot 1,5)}{l_0} = \frac{6 \cdot (235 \cdot 310,26 \cdot 1,5)}{1000} = 656,2 \text{ Н} = 66,9 \text{ кг}$$

Построение опытной линии влияния



Линия влияния прогиба точки в центре правого пролёта. Нагрузка 2,426 кг

Лабораторная работа № 4

ОПРЕДЕЛЕНИЕ НОРМАТИВНЫХ И РАСЧЁТНЫХ МЕХАНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ДРЕВЕСИНЫ

Сжатие вдоль волокон. Определение прочности	
F _{max} , Н	13399
Сжатие вдоль волокон. Определение модуля упругости	
F, Н	4420
Δl, мм	0,023
Сжатие поперёк волокон. Определение прочности	
F _{max} , Н	3963
Сжатие поперёк волокон. Определение модуля упругости	
F, Н	1160
Δl, мм	0,128
Растяжение вдоль волокон. Определение прочности	
F _{max} , Н	5530
Скалывание вдоль волокон. Определение прочности	
F _{max} , Н	4777
Влажность древесины	
W, %	17,6

Испытание древесины на сжатие вдоль волокон

$$R_{сж1} = \frac{F_u}{a \cdot b} = \frac{13399}{20 \cdot 20} = 33,5 \text{ МПа}$$

$$E_{сж1} = \frac{F \cdot l}{a \cdot b \cdot \Delta l} = \frac{4420 \cdot 20}{20 \cdot 20 \cdot 0,023} = 9609 \text{ МПа}$$

Испытание древесины на сжатие поперёк волокон

$$R_{сж2} = \frac{F_u}{a \cdot b} = \frac{3963}{20 \cdot 30} = 6,6 \text{ МПа}$$

$$E_{сж2} = \frac{F \cdot l}{a \cdot b \cdot \Delta l} = \frac{1160 \cdot 20}{20 \cdot 30 \cdot 0,128} = 302,1 \text{ МПа}$$

Испытание древесины на растяжение вдоль волокон

$$R_p = \frac{F_u}{a \cdot b} = \frac{5530}{4 \cdot 20} = 69,1 \text{ МПа}$$

Испытание древесины на скалывание вдоль волокон

$$R_{\text{ск}} = \frac{F_u}{b \cdot l} = \frac{4777}{20 \cdot 30} = 7,96 \text{ МПа}$$

Приведение модуля упругости и предела прочности к нормальной влажности.

$$R_{12} = R_W \cdot [1 + \alpha \cdot (W - 12)], \text{ МПа}$$

$$R_{\text{сж1 } 12} = 33,5 \cdot [1 + 0,04 \cdot (17,6 - 12)] = 41 \text{ МПа}$$

$$R_{\text{сж2 } 12} = 6,6 \cdot [1 + 0,035 \cdot (17,6 - 12)] = 7,9 \text{ МПа}$$

$$R_{\text{р } 12} = 69,1 \cdot [1 + 0,01 \cdot (17,6 - 12)], = 72 \text{ МПа}$$

$$R_{\text{ск } 12} = 7,96 \cdot [1 + 0,03 \cdot (17,6 - 12)] = 9,3 \text{ МПа}$$

$$E_{12} = \frac{E_W}{[1 - \alpha \cdot (W - 12)]}, \text{ МПа}$$

$$E_{\text{сж1 } 12} = \frac{9609}{[1 - 0,012 \cdot (17,6 - 12)]} = 10301 \text{ МПа}$$

$$E_{\text{сж2 } 12} = \frac{302,1}{[1 - 0,033 \cdot (17,6 - 12)]} = 371 \text{ МПа}$$

Расчётные сопротивления древесины.

$$R_d = k_{\text{mod}} \cdot \frac{R_k}{\gamma_m}, \text{ МПа}$$

$$R_{\text{сж1 } d} = 0,55 \cdot \frac{41}{1,22} = 18,5 \text{ МПа}$$

$$R_{\text{сж2 } d} = 0,55 \cdot \frac{7,9}{1,25} = 3,5 \text{ МПа}$$

$$R_{\text{р } d} = 0,55 \cdot \frac{72}{1,40} = 28,3 \text{ МПа}$$

$$R_{\text{ск}d} = 0,55 \cdot \frac{9,3}{1,30} = 3,9 \text{ МПа}$$

Расчётные модули упругости.

$$E_d = \frac{E}{\gamma_m}, \text{ МПа}$$

$$E_{\text{сж}1d} = \frac{11301}{1,22} = 9263 \text{ МПа}$$

$$E_{\text{сж}2d} = \frac{371}{1,25} = 297 \text{ МПа}$$

Лабораторная работа № 5

ИСПЫТАНИЕ ДЕРЕВЯННОЙ БАЛКИ НА ИЗГИБ

Проведение испытания

Результаты измерений

Измерение	Показания по ИЧ		Измерение	Показания по ИДЦ	
	Б1	Б2		Б1	Б2
до нагружения, ϑ_0 , мм	1,24	3,64	до нагружения, $ЕОД_0$	5 300	3 040
после нагружения, ϑ_1 , мм	1,90	4,22	после нагружения, $ЕОД_1$	5 120	3 200
прогиб $\vartheta_{оп} = \vartheta_1 - \vartheta_0$, мм	0,66	0,58	$\Delta ЕОД = ЕОД_1 - ЕОД_0$	180	160
модуль упругости, $Е_{оп}$, МПа	14 681	496	относительная деформация волокон, мкм/м	163,62	145,44
			механические напряжения, $\sigma_{оп}$, МПа	2,4	0,072

Характеристика	Б1	Б2	
геометрические параметры балки, мм	l_0	650	540
	b	29,9	35,2
	h	17,8	18,2
нагрузка, кг	P	2,426	0,158

Относительные деформации.

$$\varepsilon = \Delta ЕОД \cdot S, \text{ мкм/м}$$

$$\varepsilon^{Б1} = 180 \cdot 0,909 = 163,62 \text{ мкм/м}$$

$$\varepsilon^{Б2} = 160 \cdot 0,909 = 145,44 \text{ мкм/м}$$

Опытное значение модулей упругости.

$$E_{оп} = \frac{F \cdot l_0^3}{48 \cdot \vartheta_{оп} \cdot J}, \text{ МПа}$$

$$E_{оп}^{Б1} = \frac{2,426 \cdot 9,81 \cdot 650^3}{48 \cdot 0,66 \cdot 14\,052} = 14\,682 \text{ МПа}$$

$$E_{оп}^{Б2} = \frac{0,158 \cdot 9,81 \cdot 540^3}{48 \cdot 0,58 \cdot 17\,684} = 496 \text{ МПа}$$

где $J^{Б1} = \frac{29,9 \cdot 17,8^3}{12} = 14\,052 \text{ мм}^4$ $J^{Б2} = \frac{35,2 \cdot 18,2^3}{12} = 17\,684 \text{ мм}^4$

Опытные значения механических напряжений.

$$\sigma_{\text{оп}} = \varepsilon \cdot E_{\text{оп}}, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{\text{оп}}^{\text{Б1}} = 163,62 \cdot 14\,682 = 2,40 \text{ МПа}$$

$$\sigma_{\text{оп}}^{\text{Б2}} = 145,44 \cdot 496 = 0,072 \text{ МПа}$$

Определение расчётных значений и сравнение их с опытными

1) Расчётные значения прогиба.

$$\vartheta_p = \frac{F \cdot l_0^3}{48 \cdot E_p \cdot J}, \text{ мм}$$

$$\vartheta_p^{\text{Б1}} = \frac{2,426 \cdot 9,81 \cdot 650^3}{48 \cdot 10\,000 \cdot 14\,052} = 0,97 \text{ мм}$$

$$\vartheta_p^{\text{Б2}} = \frac{0,158 \cdot 9,81 \cdot 540^3}{48 \cdot 400 \cdot 17\,684} = 0,72 \text{ мм}$$

2) Относительные расхождения расчётного и опытного значений прогиба.

$$\Delta\vartheta = \frac{\vartheta_p - \vartheta_{\text{оп}}}{\vartheta_p} \cdot 100, \%$$

$$\Delta\vartheta^{\text{Б1}} = \frac{0,97 - 0,66}{0,97} \cdot 100 = 32 \%$$

$$\Delta\vartheta^{\text{Б2}} = \frac{0,72 - 0,58}{0,72} \cdot 100 = 19 \%$$

3) Расчётные значения механических напряжений.

$$\sigma_p = \frac{M}{W} = \frac{F \cdot l_0}{4 \cdot W}, \text{ МПа}$$

$$\sigma_p^{\text{Б1}} = \frac{2,426 \cdot 9,81 \cdot 650}{4 \cdot 1\,579} = 2,45 \text{ МПа}$$

$$\sigma_p^{\text{Б2}} = \frac{0,158 \cdot 9,81 \cdot 540}{4 \cdot 1\,943} = 0,108 \text{ МПа}$$

где $W_{Б1} = \frac{29,9 \cdot 17,8^2}{6} = 1\,579 \text{ мм}^3$ $W_{Б2} = \frac{35,2 \cdot 18,2^2}{6} = 1\,943 \text{ мм}^3$

4) Относительные расхождения расчётного и опытного значений напряжений.

$$\Delta\sigma = \frac{\sigma_p - \sigma_{оп}}{\sigma_p} \cdot 100, \%$$

$$\Delta\sigma^{Б1} = \frac{2,45 - 2,40}{2,45} \cdot 100 = 2 \%$$

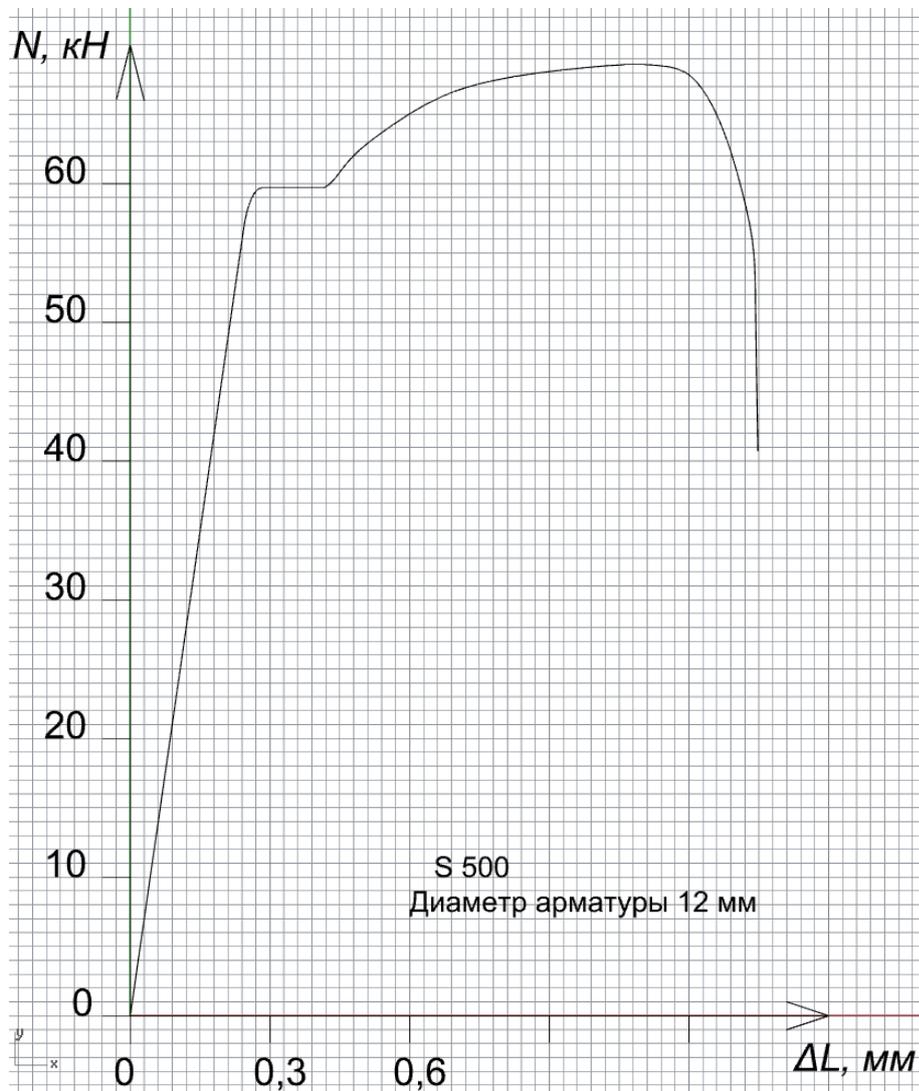
$$\Delta\sigma^{Б2} = \frac{0,108 - 0,072}{0,108} \cdot 100 = 33 \%$$

Величину критической нагрузки для балки Б1.

$$P_{el-pl} = \frac{4 \cdot (R_{сж} \cdot W)}{l_0} = \frac{4 \cdot (33,5 \cdot 1\,579)}{650} = 325,5 \text{ Н} = 33,2 \text{ кг}$$

Лабораторная работа № 6

ОПРЕДЕЛЕНИЕ МЕХАНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК АРМАТУРНЫХ СТАЛЕЙ. КЛАССЫ АРМАТУРНЫХ СТАЛЕЙ



Обработка результатов испытания

Предел упругости.

$$f_{el} = \frac{N_{el}}{A_s} = \frac{57 * 4}{12 * 12 * 3,14} = 504 \text{ МПа}$$

Предел текучести.

$$f_y = \frac{N_y}{A_s} = \frac{60 * 4}{12 * 12 * 3,14} = 531 \text{ МПа}$$

Временное сопротивление.

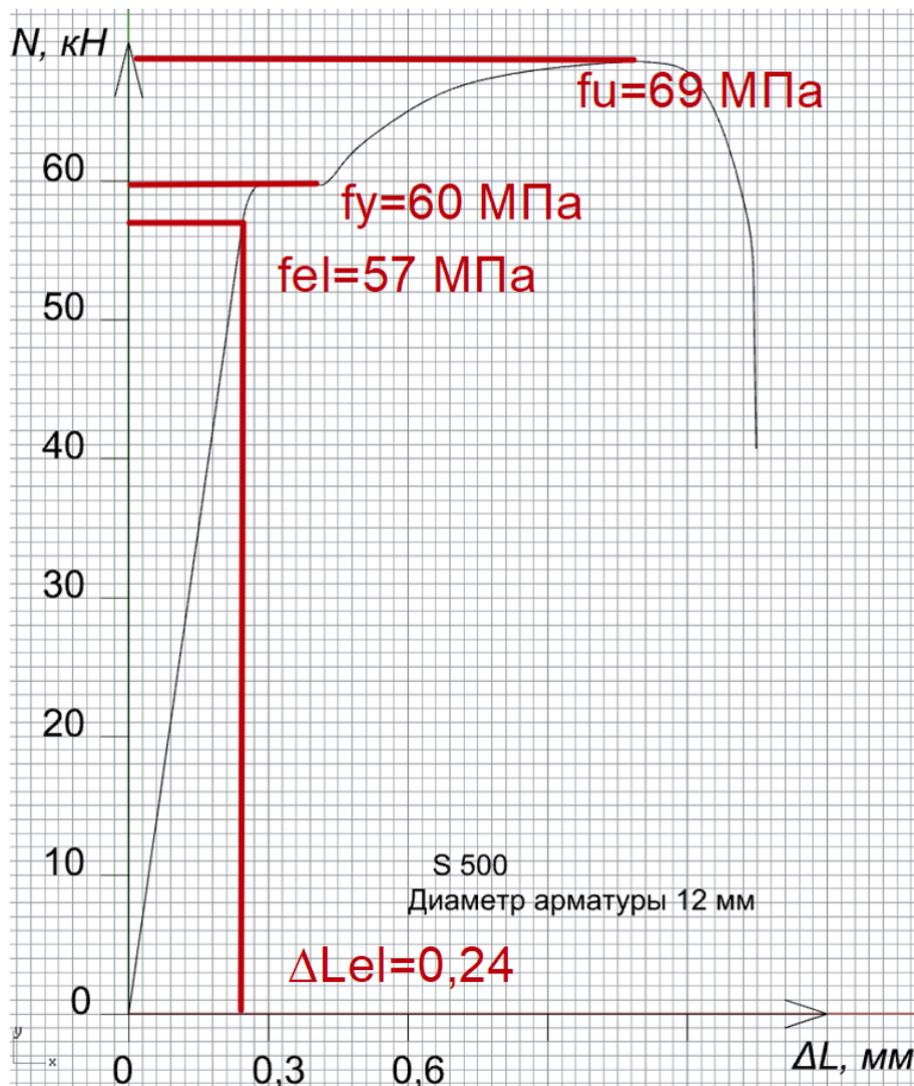
$$f_u = \frac{N_u}{A_s} = \frac{69 * 4}{12 * 12 * 3,14} = 610 \text{ МПа}$$

Расчетное сопротивление арматуры.

$$f_{yd} = \frac{f_y}{\gamma_s} = \frac{531}{1,15} = 446 \text{ МПа}$$

Модуль упругости арматурной стали.

$$E_s = \frac{f_{el}}{\varepsilon_{el}} = \frac{504}{0,24/0,1} = 210 \text{ 000 МПа}$$



Лабораторная работа № 7

ОПРЕДЕЛЕНИЕ НОРМАТИВНЫХ И РАСЧЁТНЫХ МЕХАНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК БЕТОНА

№ исп.	кН	МПа	$\Delta f_{c,cube i}$	$\Delta f_{c,cube i}^2$
1	470	44,65	1,9665	3,867122
2	440	41,80	-0,8835	0,780572
3	450	42,75	0,0665	0,004422
4	454	43,13	0,4465	0,199362
5	448	42,56	-0,1235	0,015252
6	434	41,23	-1,4535	2,112662
7	450	42,75	0,0665	0,004422
8	443	42,09	-0,5985	0,358202
9	448	42,56	-0,1235	0,015252
10	456	43,32	0,6365	0,405132

Определение прочностных характеристик бетона

Прочности образцов.

$$f_{c,cube i} = \alpha \cdot \frac{N_{u,i}}{A} = 0,95 \cdot \frac{470}{100 * 100} = 44,65 \text{ МПа}$$

Среднее значение кубиковой прочности.

$$f_{cm,cube} = \frac{\sum_{i=1}^n f_{c,cube i}}{n} = 42,684 \text{ МПа}$$

Среднеквадратическое отклонение.

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\Delta f_{c,cube i}^2)}{n - 1}} = \sqrt{\frac{7,7624}{10 - 1}} = 0,929 \text{ МПа}$$

исходные данные для построения гистограммы распределения

Интервалы в общем виде	от $f_{cm,cube} - 2s$ до $f_{cm,cube} - s$	от $f_{cm,cube} - s$ до $f_{cm,cube}$	от $f_{cm,cube}$ до $f_{cm,cube} + s$	от $f_{cm,cube} + s$ до $f_{cm,cube} + 2s$
Численные значения интервалов	40,826 41,755	41,755 42,684	42,684 43,613	43,613 44,542
Количество значений попавших в интервалы, n_x	2	4	3	1

Коэффициент вариации.

$$V = \frac{s}{f_{cm,cube}} = \frac{0,929}{42,684} = 0,0217646$$

Гарантированная кубковая прочность бетона.

$$f_{c,cube}^G = f_{cm,cube} \cdot (1 - t_\alpha V) = \\ = 42,684 \cdot (1 - 1,645 \cdot 0,0217646) = 41,156 \text{ МПа}$$

где t_α – при доверительной вероятности $P = 95\%$ принимаем $t_\alpha = 1,645$.

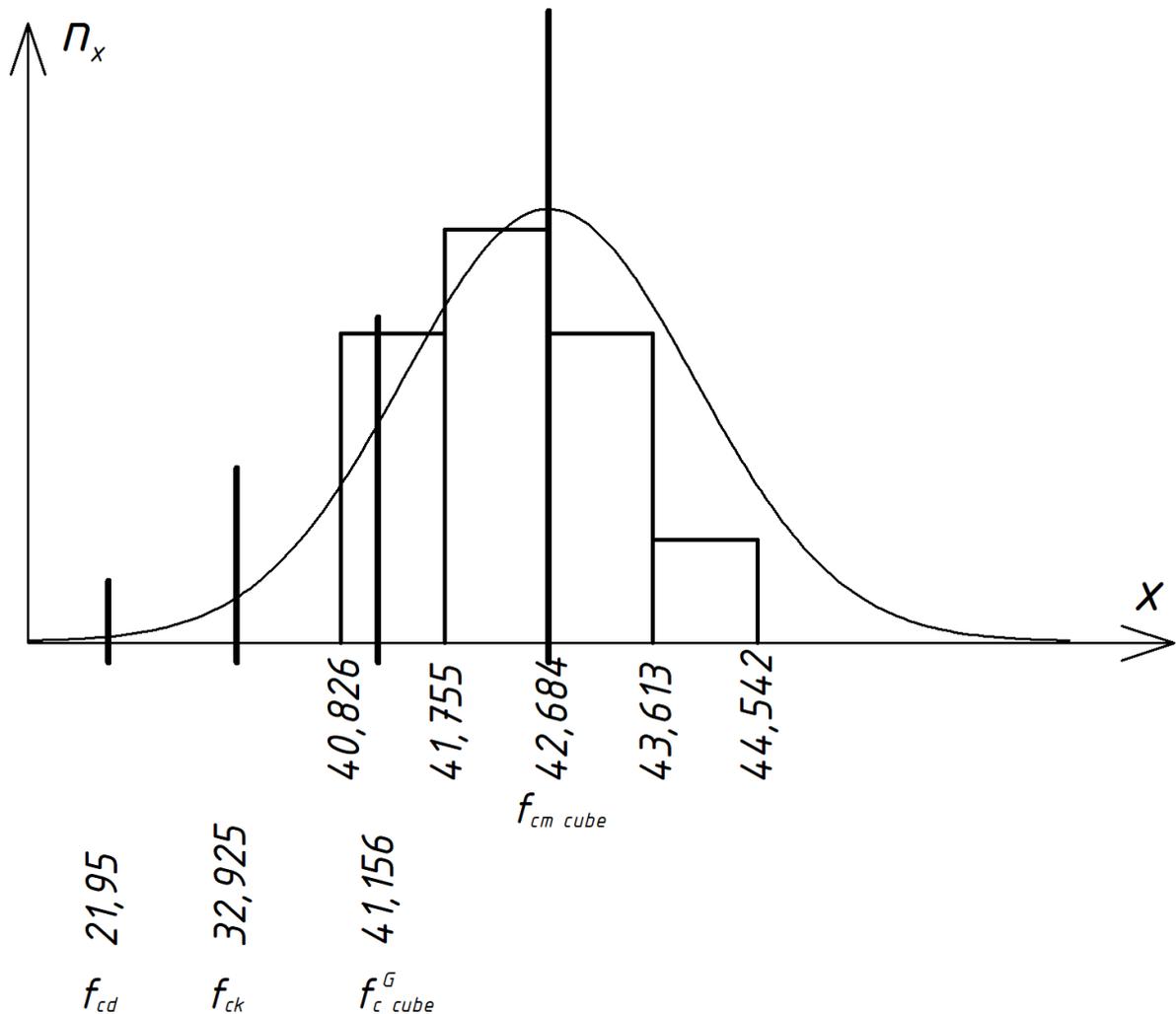
Нормативная призмная прочность бетона:

$$f_{ck} = f_{c,cube}^G \cdot 0,8 = 41,156 \cdot 0,8 = 32,925 \text{ МПа}$$

По результатам расчёта определяем класс бетона $Cf_{ck}/f_{c,cube}^G = C32/41$.

Расчётная прочность бетона.

$$f_{cd} = \frac{f_{ck}}{\gamma_c} = \frac{32,925}{1,5} = 21,95 \text{ МПа}$$



Средняя прочность бетона на растяжение при изгибе.

$$f_{ctm} = 0,23 \cdot \sqrt[3]{f_{cm,cube}^2} = 0,23 \cdot \sqrt[3]{42,684^2} = 2,81 \text{ МПа}$$

Определение жёсткостных характеристик бетона

Начальный модуль упругости.

$$E_{c0} = 43000 \cdot \frac{f_{cm,cube}}{21 + f_{cm,cube}} = 43000 \cdot \frac{42,684}{21 + 42,684} = 28\,821 \text{ МПа}$$

Лабораторная работа № 8

ИСПЫТАНИЕ ЖЕЛЕЗОБЕТОННОЙ БАЛКИ НА ИЗГИБ С РАЗРУШЕНИЕМ ПО СЕЧЕНИЮ НОРМАЛЬНОМУ К ПРОДОЛЬНОЙ ОСИ

Проведение испытания

Геометрические размеры и армирование балки

Наименование величины	Обозначение	Размерность	Численное значение
Высота сечения	h	мм	200
Ширина сечения	b	мм	100
Длина балки	l	мм	1200
Расчётный пролёт балки	l_0	мм	1000
Диаметр арматуры в растянутой зоне	\varnothing	мм	10
Площадь поперечного сечения арматуры в растянутой зоне	A_s	мм ²	78,9
Защитный слой арматуры в растянутой зоне	c	мм	30

Нагрузка для расчёта прогиба балки: $F = 10\,000\text{ Н}$

Определение расчётных значений прогибов и критических изгибающих моментов

Коэффициент приведения площади сечения.

$$\alpha = \frac{E_s}{E_{c0}} = \frac{210000}{28821} = 7,286$$

Расстояние от верхней грани балки до центра тяжести приведённого сечения.

$$\begin{aligned} x_1 &= \frac{0,5 \cdot b \cdot h^2 + \alpha \cdot A_s \cdot d}{b \cdot h + A_s} = \frac{0,5 \cdot 100 \cdot 200^2 + 7,286 \cdot 78,9 \cdot 170}{100 \cdot 200 + 78,9} = \\ &= \frac{2000000 + 97727}{20079} = 104,5 \text{ мм} \end{aligned}$$

Рассчитываем приведённый к одному материалу момент инерции сечения балки.

$$\begin{aligned} I_{red} &= \frac{b \cdot h^3}{12} + b \cdot h \cdot (x_1 - 0,5 \cdot h)^2 + \alpha \cdot A_s \cdot (d - x_1)^2 = \\ &= \frac{100 \cdot 200^3}{12} + 100 \cdot 200 \cdot (104,5 - 0,5 \cdot 200)^2 + 7,286 \cdot 78,9 \cdot \\ &\cdot (170 - 104,5)^2 = 66\,666\,667 + 405\,000 + 2\,466\,316 = \\ &= 69\,537\,983 \text{ мм}^4 \end{aligned}$$

Расчётный прогиб балки.

$$\vartheta_p = s \cdot \frac{M \cdot l_0^2}{0,85 \cdot E_{c0} \cdot I_{red}} = \frac{23}{216} \cdot \frac{1\,667\,000 \cdot 1000^2}{0,85 \cdot 28821 \cdot 69\,537\,983} = 0,1042 \text{ мм}$$

где $M = \frac{F \cdot l_0}{3 \cdot 2} = \frac{10\,000 \cdot 1}{3 \cdot 2} 1667, \text{ Н} \cdot \text{м}.$

Момент сопротивления приведенного сечения.

$$W_{red} = \frac{I_{red}}{h - x_1} = \frac{69\,537\,983}{200 - 104,5} = 728\,146 \text{ мм}^3$$

Упруго-пластический момент сопротивления.

$$W_{pl} = 1,75 \cdot W_{red} = 1,75 \cdot 728\,146 = 1\,274\,256 \text{ мм}^3$$

Расчётный изгибающий момент образования трещин в растянутой зоне бетона.

$$M_{cr,p} = f_{ctm} \cdot W_{pl} = 2,81 \cdot 1\,274\,256 = 3\,580\,659 \text{ Н} \cdot \text{мм}$$

Высота сжатой зоны бетона.

$$x = \frac{f_y \cdot A_s}{f_{cm} \cdot b} = \frac{531 \cdot 78,9}{42,684 \cdot 100} = 9,82 \text{ мм}$$

Расчётный изгибающий момент разрушения балки.

$$\begin{aligned} M_{u,p} &= f_{cm} \cdot b \cdot x \cdot \left(d - \frac{x}{2}\right) = 42,684 \cdot 100 \cdot 9,82 \cdot \left(170 - \frac{9,82}{2}\right) = \\ &= 6\,919\,861 \text{ Н} \cdot \text{мм} \end{aligned}$$

Значения критических нагрузок в килограммах.

$$F_{cr,p} = \frac{M_{cr,p} \cdot 6}{l_0} = \frac{3\,580\,659 \cdot 6}{1000} = 21\,484 \text{ Н} = 2\,190 \text{ кг}$$

$$F_{u,p} = \frac{M_{u,p} \cdot 6}{l_0} = \frac{6\,919\,861 \cdot 6}{1000} = 41\,519 \text{ Н} = 4\,232 \text{ кг}$$

Лабораторная работа № 9

ИСПЫТАНИЕ ЖЕЛЕЗОБЕТОННОЙ БАЛКИ НА ИЗГИБ С РАЗРУШЕНИЕМ ПО СЕЧЕНИЮ НАКЛОННОМУ К ПРОДОЛЬНОЙ ОСИ

Проведение испытания

Геометрические размеры и армирование балки

Наименование величины	Обозначение	Размерность	Численное значение
Высота сечения	h	мм	200
Ширина сечения	b	мм	100
Длина балки	l	мм	1200
Расчётный пролёт балки	l_0	мм	1000
Защитный слой арматуры в растянутой зоне	c	мм	30
Диаметр вертикально установленной поперечной арматуры	\emptyset	мм	4
Площадь сечения поперечной арматуры	A_{sw}	мм ²	12,56
Продольный шаг поперечной арматуры	s	мм	100

Определение расчётного значения разрушающей нагрузки

Расчётное разрушающее поперечное усилие.

$$V_p = V_{cd} + V_{sw} = 64,97 + 33,35 = 98,32 \text{ кН}$$

Предельное разрушающее усилие по бетону.

$$V_{cd} = \frac{2 \cdot f_{ctm} \cdot b \cdot d^2}{l_{inc}} = \frac{2 \cdot 2,81 \cdot 100 \cdot 170^2}{250} = 64,97 \text{ кН}$$

Максимальное распределённое усилие вертикальной поперечной арматуры.

$$v_{sw} = \frac{2 \cdot f_{yw} \cdot A_{sw}}{s} = \frac{2 \cdot 531 \cdot 12,56}{100} = 133,4 \text{ Н/мм}$$

Длина проекции наиболее опасного сечения.

$$l_{inc,cr} = \sqrt{\frac{2 \cdot f_{ctm} \cdot b \cdot d^2}{v_{sw}}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 2,81 \cdot 100 \cdot 170^2}{133,4}} = 348,9 \text{ мм}$$

Принимаем 250 мм, т.к. $l_{inc,cr} > l_{inc}$

Предельное разрушающее усилие в поперечной арматуре.

$$V_{sw} = v_{sw} \cdot l_{inc,cr} = 133,4 \cdot 250 = 33,35 \text{ кН}$$

Величина разрушающей нагрузки в килограммах.

$$F_{u,p} = V_p \cdot 2 = 98,32 \cdot 2 = 196,64 \text{ кН} = 20\,045 \text{ кг}$$