

УДК 677.1.017.35

ОЦЕНКА РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ОСТАТОЧНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ В ТКАНИ

С. Н. Титов

(Костромской государственный технологический университет)

Предложена гипотеза о характере распределения остаточных напряжений в ткани, приведены результаты ее экспериментальной оценки и сформулированы задачи по развитию этой гипотезы.

Известно, что при косом крае ткани результат отличается от исходного шаблона, ткань “ведет” как в долевом, так и поперечном направлениях. Л. В. Мориловой [1] выполнен простой эксперимент, заключающийся в разрезании на раскройном столе квадратного образца льняной ткани по диагонали. Углы ткани по линии разреза разошлись, линия разреза, вместо прямой линии, оказалась кривой. Однако, дальнейшего анализа обнаруженного явления проведено не было.

Нами был повторен этот эксперимент для хлопчатобумажных тканей полотняного переплетения – набивного ситца и сорочечного полотна. Разрезание производилось на ровной горизонтальной поверхности дисковым ножом. Фотографии результатов представлены на рис. 1 и 2. Здесь видно, что сорочечное полотно при его малом поверхностном заполнении (рис. 1) дает значительно меньшие искажения формы при косом крае по сравнению с более плотным набивным ситцем (рис. 2). Это сравнение заставляет предположить, что деформация вызвана снятием остаточных напряжений.



Рис. 1. Набивной ситец

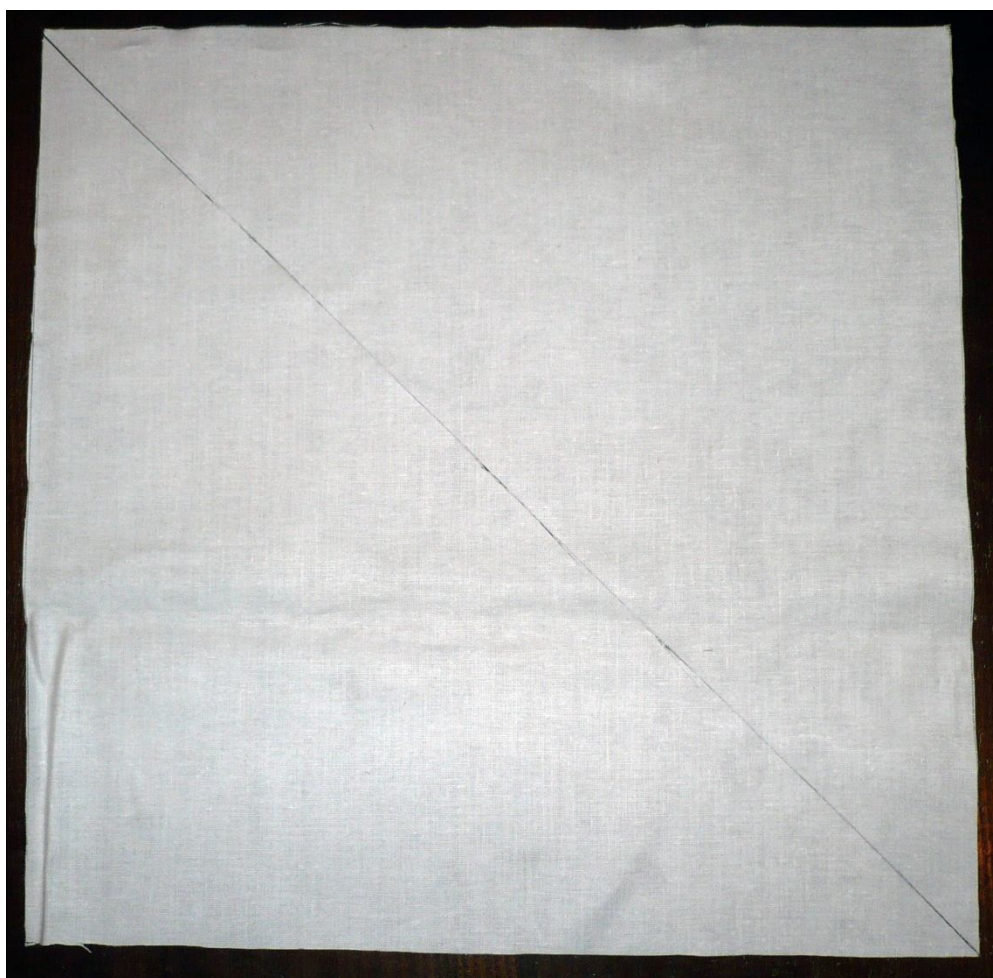


Рис. 2. Сорочечное полотно

Если бы эти напряжения были вызваны лишь процессами отделочного производства (например, правкой утка на сушильно-ширильном агрегате), то они должны быть достаточно равномерно распределенными как вдоль основы, так и вдоль утка. Равномерность (однородность) поля напряжений должна привести и к равномерности относительных деформаций, ими обусловленных. Одинаковые относительные деформации при равных исходных размерах должны привести и к равным суммарным абсолютным деформациям, что, в свою очередь, должно обеспечить сохранение формы линий края, приводя лишь к пропорциональному изменению размеров выкроек по сравнению с шаблонами.

Однако, как показывает практика, пропорциональность не соблюдается. Это значит, что остаточные напряжения распределены в ткани неравномерно – чем дальше от кромок, тем они больше. Следовательно, первопричиной такого распределения напряжений является процесс ткачества, где в процессе прибоя происходит уработка (усадка) нитей основы и утка, приводящая к тому, что в средней части ткани высота волн изгиба оказывается несколько больше, чем по краям. Это вызвано тем, что уток, будучи натянутым, вызывает поперечное смятие основных нитей, что постепенно, по мере работы станка, приводит к увеличению уработки основы в середине ткани и, как следствие, к росту натяжения основы в этой зоне. Последнее приводит к увеличению высоты волны изгиба утка и увеличению неравномерности его натяжения, а также – к возникновению кривизны уточных нитей (дуговому перекосу утка).

Действительно, если положить усадку ткани по утку равномерной в процессе ткачества, то смещение элементов ткани к ее середине будет прямо пропорционально расстоянию этих элементов

от середины ткани. Тогда напряжения поперечного смятия (сжатия) основных нитей и уравнивающие их напряжения растяжения уточных нитей будут определяться интегралом от прямой пропорциональной зависимости смещения. Интеграл от линейной зависимости – парабола, а от прямой пропорциональной – парабола, симметричная относительно середины.

Гипотеза о неравномерном распределении остаточных напряжений вдоль даже одной системы нитей уже позволяет объяснить искривление линий кроя, но ее требуется экспериментально проверить, хотя бы на качественном уровне.

Для этого от полульняного простынного полотна отрезали по всей его шине (150 см) полосу длиной около 20 см, к кромкам которой пришили рукавчики из льняного брезента, через один из которых образец подвесили на горизонтальную трубу диаметром 20 мм, а во второй рукавчик вставили круглый деревянный стержень такого же диаметра (масса – около 30 г). Последний предназначался для подвешивания к его концам грузов, обеспечивающих растяжение образца. На образец предварительно были нанесены метки, начиная от его середины, с шагом 5 см (крайние метки из-за швов оказались отстоящими от предыдущих на 4 см). Такие же метки были нанесены на узкую бумажную ленту, скрепленную с тканью в ее середине. К обоим концам мерной ленты были прикреплены небольшие грузики, обеспечивающие ее расправленное состояние. При этом верхний конец мерной ленты был перекинут через ту же трубу, на которой подвешен образец. Затем проводили фотографирование образца вместе с мерной лентой как до нагружения, так и при нагрузках 3, 6 и 9 кгс (30, 60 и 90 Н) и после разгружения, обеспечивая при этом выдержки по 5 минут.

В результате получена серия фотографий, одна из которых приведена на рис. 3, а укрупненный фрагмент – на рис. 4.

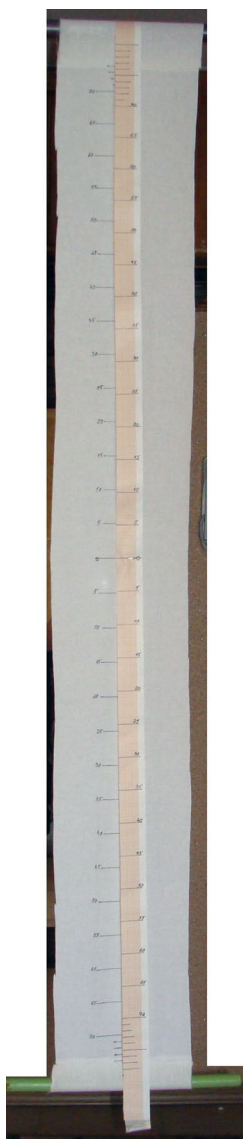


Рис. 3. Общий вид системы нагружения

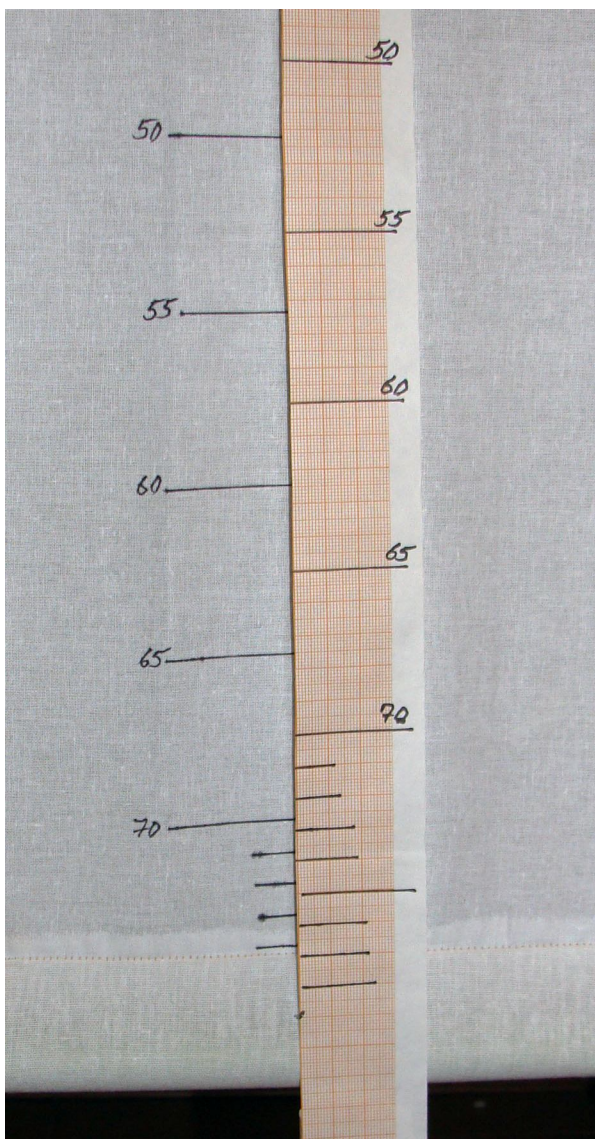


Рис. 4. Фрагмент системы измерения

Все фотографии общего вида были импортированы в AutoCAD (каждая в отдельный слой). В отдельных слоях, соответствующих мерной ленте и ткани, вручную в режиме *ortho* были проведены поверх меток на фотографиях отрезки полилиний и проставлены соответствующие числовые метки (рис. 5). После выключения слоев с

фотографиями расстояния между отрезками были средствами AutoCADa измерены (рис. 6), результаты сведены в таблицу MS Excel, средствами которой вычислены распределения относительных удлинений по интервалам (табл. 1).

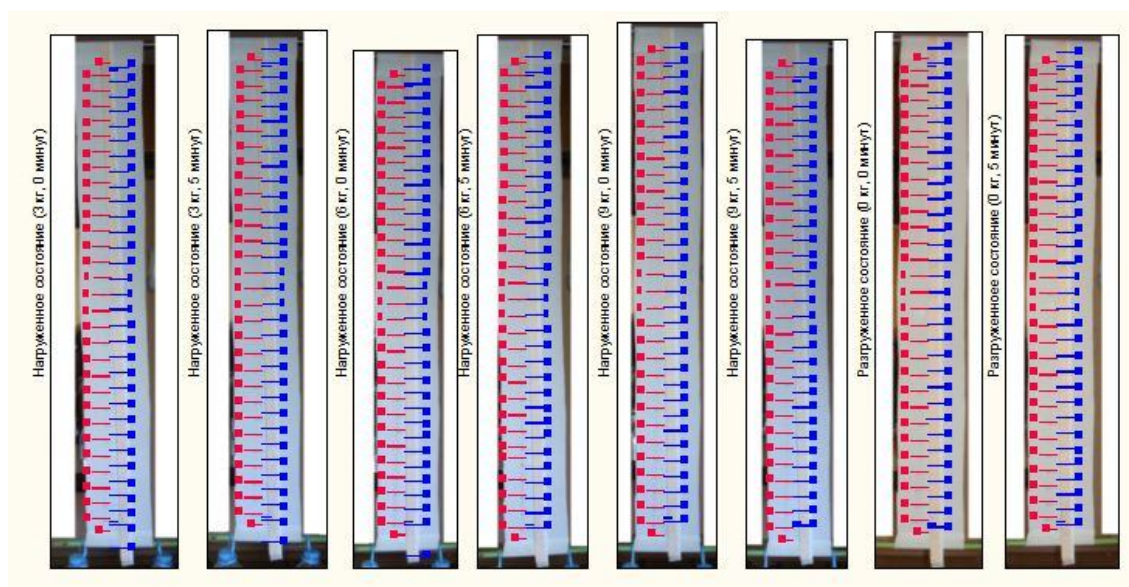


Рис. 5. Обработка серии фотографий в AutoCADe

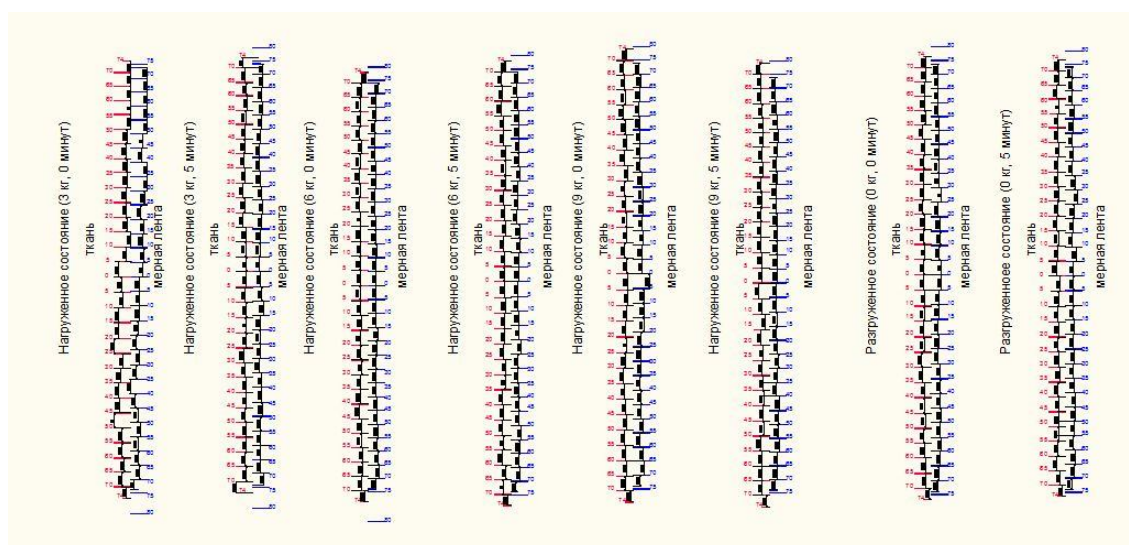


Рис. 6. Измерение расстояний между отрезками в AutoCADe

Естественно, что такая технология проведения измерений влечет за собой значительные погрешности, обусловленные, прежде всего присущей текстильным изделиям неравномерностью свойств, а также – субъективным человеческим фактором.

Полная сводная таблица результатов измерений

Таблица 1

№	3 кг, 0 минут			3 кг, 5 минут			6 кг, 0 минут			6 кг, 5 минут			9 кг, 0 минут			9 кг, 5 минут			Разгружено 0 минут			Разгружено 5 минут		
	Эталон	Размер	Удл.%	Эталон	Размер	Удл.%	Эталон	Размер	Удл.%	Эталон	Размер	Удл.%	Эталон	Размер	Удл.%	Эталон	Размер	Удл.%	Эталон	Размер	Удл.%	Эталон	Размер	Удл.%
74	23,61	24,13	2,20	22,40	22,40	0,00	22,35	23,01	2,95	23,89	23,73	-0,67	22,98	24,09	4,83	22,05	24,12	9,39	22,42	24,05	7,27	22,93	25,05	9,25
70	29,36	29,43	0,24	28,98	31,47	8,59	28,98	30,96	6,83	29,63	31,16	5,16	29,14	31,03	6,49	29,58	30,47	3,01	29,79	30,61	2,75	28,68	30,19	5,26
65	29,36	31,23	6,37	29,81	28,15	-5,57	28,54	29,86	4,63	29,63	30,94	4,42	29,98	31,94	6,54	28,68	32,25	12,45	30,2	30,61	1,36	30,80	29,28	-4,94
60	30,04	29,00	-3,46	28,13	30,79	9,46	28,67	30,46	6,24	29,49	31,66	7,36	30,55	31,78	4,03	30,20	31,09	2,95	29,98	30,79	2,70	28,67	32,00	11,61
55	29,71	31,06	4,54	30,12	30,54	1,39	29,09	30,12	3,54	30,14	31,45	4,35	29,55	31,92	8,02	28,82	30,60	6,18	30,11	31,33	4,05	30,61	29,40	-3,95
50	30,00	30,63	2,10	30,22	31,46	4,10	29,41	29,82	1,39	29,92	31,88	6,55	29,91	32,13	7,42	29,69	31,42	5,83	29,04	30,66	5,58	30,30	31,81	4,98
45	30,67	32,63	6,39	29,62	31,68	6,95	29,20	31,47	7,77	30,53	32,06	5,01	30,99	32,73	5,61	30,35	31,91	5,14	32,04	31,64	-1,25	29,63	31,30	5,64
40	30,62	29,85	-2,51	29,95	30,36	1,37	29,19	30,93	5,96	30,76	31,85	3,54	30,65	33,31	8,68	29,94	32,13	7,31	30,41	32,66	7,40	30,64	31,47	2,71
35	30,04	31,69	5,49	31,62	32,86	3,92	29,38	31,19	6,16	30,14	32,09	6,47	30,79	32,24	4,71	29,85	32,35	8,38	31,1	31,71	1,96	30,79	31,35	1,82
30	30,38	32,63	7,41	29,14	30,38	4,26	29,58	30,99	4,77	30,38	32,56	7,18	30,93	33,10	7,02	30,70	32,26	5,08	31	32,23	3,97	31,16	31,72	1,80
25	31,28	31,51	0,74	31,57	32,41	2,66	29,80	31,00	4,03	30,45	32,41	6,44	30,78	32,77	6,47	29,05	31,94	9,95	30,87	31,49	2,01	30,38	31,25	2,86
20	30,82	31,64	2,66	30,78	31,19	1,33	29,81	31,74	6,47	31,41	32,72	4,17	31,10	33,20	6,75	30,53	32,85	7,60	30,89	33,35	7,96	29,74	32,06	7,80
15	30,01	31,73	5,73	29,55	30,38	2,81	29,46	31,54	7,06	30,38	32,78	7,90	31,10	33,40	7,40	30,05	31,38	4,43	30,38	31,61	4,05	31,84	32,13	0,91
10	31,34	31,87	1,69	30,31	33,22	9,60	29,97	30,90	3,10	31,26	32,26	3,20	31,06	33,22	6,95	30,24	33,22	9,85	31,68	32,3	1,96	30,02	32,25	7,43
5	31,60	32,95	4,27	31,60	31,60	0,00	29,74	32,06	7,80	30,51	32,55	6,69	30,59	33,47	9,41	29,94	32,59	8,85	31,6	33,14	4,87	31,60	32,47	2,75
-5	32,28	32,90	1,92	31,55	33,63	6,59	29,93	32,02	6,98	31,55	34,42	9,10	31,55	34,25	8,56	30,56	34,21	11,94	31,55	33,15	5,07	30,84	32,28	4,67
-10	33,75	33,02	-2,16	31,22	32,05	2,66	29,83	31,92	7,01	31,22	33,45	7,14	31,22	34,17	9,45	31,22	32,88	5,32	31,22	33,45	7,14	31,94	33,75	5,67
-15	31,94	31,02	-2,88	30,57	32,03	4,78	29,34	31,68	7,98	30,57	32,48	6,25	30,57	33,52	9,65	30,57	32,23	5,43	32,17	32,49	0,99	30,57	32,20	5,33
-20	31,10	34,28	10,23	30,92	33,00	6,73	29,90	32,70	9,36	31,40	32,87	4,68	31,62	33,34	5,44	29,95	34,29	14,49	32,23	33,51	3,97	31,56	31,88	1,01
-25	31,16	32,08	2,95	31,28	32,03	2,40	29,91	30,84	3,11	30,62	33,16	8,30	31,54	34,00	7,80	29,62	32,20	8,71	30,93	32,84	6,18	31,23	32,20	3,11
-30	31,68	31,67	-0,03	30,39	31,22	2,73	29,91	31,60	5,65	29,94	32,67	9,12	30,73	32,94	7,19	31,22	32,19	3,11	31,54	31,53	-0,03	31,22	32,52	4,16
-35	31,29	31,24	-0,16	31,24	31,66	1,34	29,37	31,62	7,66	30,62	32,50	6,14	30,61	33,34	8,92	29,95	32,24	7,65	32,52	32,94	1,29	30,60	31,89	4,22
-40	29,78	32,48	9,07	30,30	32,38	6,86	29,68	31,04	4,58	30,92	32,17	4,04	30,90	33,40	8,09	29,19	32,74	12,16	31,13	32,42	4,14	30,60	31,33	2,39
-45	31,28	31,73	1,44	32,18	32,60	1,31	29,72	31,53	6,09	30,51	31,97	4,79	30,82	33,09	7,37	30,89	32,83	6,28	30,89	33,9	9,74	30,83	32,18	4,38
-50	31,10	32,00	2,89	29,89	31,97	6,96	29,42	31,55	7,24	30,72	33,13	7,85	30,64	32,69	6,69	29,62	31,23	5,44	31,12	31,98	2,76	30,87	31,89	3,30
-55	30,89	31,79	2,91	31,27	30,86	-1,31	29,13	30,93	6,18	29,66	31,70	6,88	30,21	32,81	8,61	29,57	32,61	10,28	32,16	31,3	-2,67	30,10	31,12	3,39
-60	30,91	32,71	5,82	30,56	32,22	5,43	28,68	30,34	5,79	29,55	32,06	8,49	30,66	32,07	4,60	29,56	32,13	8,69	29,66	31,81	7,25	31,13	31,81	2,18
-65	29,33	30,23	3,07	30,30	31,13	2,74	29,41	30,78	4,66	30,37	31,13	2,50	30,07	32,97	9,64	30,14	30,81	2,22	31,13	33,27	6,87	30,45	31,13	2,23
-70	30,44	31,34	2,96	29,99	32,06	6,90	28,27	29,99	6,08	29,49	32,00	8,51	29,73	31,31	5,31	28,75	31,27	8,77	31,28	31,71	1,37	29,99	31,34	4,50
-74	22,60	23,95	5,97	24,47	23,22	-5,11	22,89	23,75	3,76	23,04	23,29	1,09	22,92	24,77	8,07	22,09	24,98	13,08	23,59	24,01	1,78	23,88	23,94	0,25

Замечено, что выдержка под нагрузкой незначительно изменяет деформацию. Поэтому данные были осреднены и сведены в таблицу 2

Результаты осреднения

Таблица 2

№	3 кг	6 кг	9 кг	Разгружено
74	1,10	1,14	7,11	8,26
70	4,42	6,00	4,75	4,01
65	0,40	4,52	9,49	-1,79
60	3,00	6,80	3,49	7,16
55	2,97	3,94	7,10	0,05
50	3,10	3,97	6,62	5,28
45	6,67	6,39	5,38	2,19
40	-0,57	4,75	8,00	5,05
35	4,71	6,32	6,54	1,89
30	5,83	5,97	6,05	2,88
25	1,70	5,23	8,21	2,44
20	2,00	5,32	7,18	7,88
15	4,27	7,48	5,91	2,48
10	5,65	3,15	8,40	4,69
5	2,14	7,24	9,13	3,81
-5	4,26	8,04	10,25	4,87
-10	0,25	7,07	7,38	6,40
-15	0,95	7,11	7,54	3,16
-20	8,48	7,02	9,97	2,49
-25	2,68	5,70	8,25	4,64
-30	1,35	7,38	5,15	2,07
-35	0,59	6,90	8,28	2,75
-40	7,97	4,31	10,13	3,26
-45	1,37	5,44	6,82	7,06
-50	4,93	7,54	6,06	3,03
-55	0,80	6,53	9,44	0,36
-60	5,63	7,14	6,65	4,72
-65	2,90	3,58	5,93	4,55
-70	4,93	7,30	7,04	2,94
-74	0,43	2,42	10,58	1,02
Среднее	3,16	5,72	7,43	3,65

Для исключения фактора неравномерности по относительно маленьким интервалам последние были укрупнены. Результаты представлены в таблице 3 и на рис. 7. Кривые на графиках построены путем аппроксимации данных табл. 3 осесимметричными параболами методом наименьших квадратов.

Таблица результатов по укрупненным интервалам

Таблица 3

№	3 кг	6 кг	9 кг	Разгружено
60...74	1,97	3,89	7,12	3,49
40...60	3,94	5,28	5,65	3,67
20...40	2,92	5,57	7,20	3,07
0...20	3,51	5,80	7,66	4,72
0...-20	3,48	7,31	8,78	4,23
-20...-40	3,15	6,07	7,95	3,18
-40...-60	3,18	6,66	7,24	3,79
-60...-74	2,76	4,43	7,85	2,84

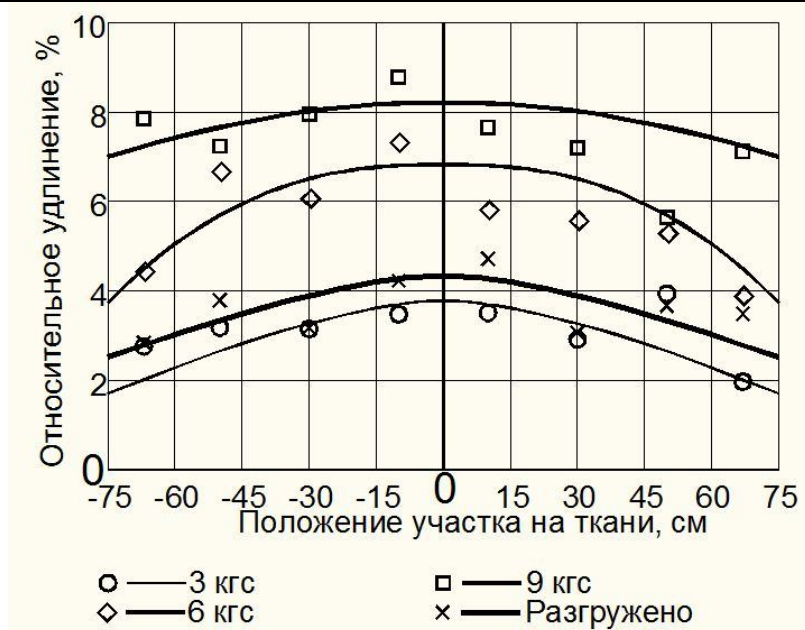


Рис. 7. Распределение деформаций по ширине ткани

Из результатов видно, что практически во всех случаях деформация регулярно убывает от середины к краям, что подтверждает предложенную гипотезу.

Выводы:

1. Первопричиной неравномерности деформации ткани при раскрое можно считать процессы, происходящие при формировании ткани на ткацком станке.
2. Внутренние напряжения в ткани распределены неравномерно, их уровень имеет максимум в середине ткани.
3. Для более полного анализа характера распределения напряжений требуется разработка соответствующей математической модели и ее количественная оценка с помощью измерительной аппаратуры, исключающей влияние человеческого фактора.

Литература

1. **Морилова Л. В. Разработка методов оценки и прогнозирования изменения линейных размеров льняных тканей в деталях одежды косого кроя** / Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук – Кострома: КГТУ, 2008 – 125 с.

S. N. Titov