

**ПРОГНОЗИРОВАНИЕ РАЗРЫВНОЙ НАГРУЗКИ  
НЕТКАНЫХ АГРОТЕКСТИЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ  
ПОСЛЕ ДЕЙСТВИЯ ЕСТЕСТВЕННОЙ СВЕТОПОГОДЫ  
В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ВРЕМЕНИ ДЕЙСТВИЯ  
ИСКУССТВЕННОЙ ИНСОЛЯЦИИ**

**PREDICTION OF THE BREAKING LOAD OF NON-WOVEN  
AGRO-TEXTILE MATERIALS AFTER EXPOSURE TO NATURAL LIGHT  
WEATHER DEPENDING ON THE TIME OF ARTIFICIAL INSOLATION**

*А.В. КУРДЕНКОВА, М.М. БОНДАРЧУК, Я.И. БУЛАНОВ, Е.В. ГРЯЗНОВА*  
A.V. KURDENKOVA, M.M. BONDARCHUK, YA.I. BULANOV, E.V. GRYAZNOVA

(Российский государственный университет им. А.Н. Косыгина (Технологии. Дизайн. Искусство))  
(The Kosygin State University of Russia)

E-mail: kurdenkova-av@rguk.ru

*Российский рынок нетканых агротехнических материалов имеет большой потенциал для дальнейшего развития. Нетканые агротехнические полотна используются в качестве укрывных материалов, поэтому основным фактором износа для них является действие светопогоды. Механические свойства нетканых агротехнических полотен определяют их надежность в процессе эксплуатации. Поэтому изучение и прогнозирование механических свойств после действия светопогоды является актуальной задачей при исследовании нетканых агротехнических материалов. Для прогнозирования свойств нетканых материалов целесообразно применять теорию подобия, так как ее теоремы устанавливают необходимые и достаточные условия подобия систем и возможность преобразования функциональной зависимости между физическими параметрами в критериальное уравнение. Вид критериального уравнения может быть получен методом анализа размерностей. В работе проведено исследование влияния искусственной и естественной светопогоды на разрывную нагрузку нетканых агротекстильных материалов. Установлена взаимосвязь между временем инсоляции в естественных и искусственных условиях. На основе теории подобия и анализа размерностей получена математическая модель, позволяющая прогнозировать разрывную нагрузку нетканых агротекстильных материалов после действия естественной светопогоды в зависимости от времени действия искусственной инсоляции.*

*The Russian market of nonwoven agricultural materials has great potential for further development. Non-woven agricultural fabrics are used as covering materials, so the main wear factor for them is the effect of light weather. The mechanical properties of non-woven agricultural fabrics determine their reliability during operation. Therefore, the study and prediction of mechanical properties after the action of light weather is an urgent task in the study of nonwoven agricultural materials. To predict the properties of nonwoven materials, it is advisable to apply the theory of similarity, since its theorems establish the necessary and sufficient conditions for the similarity of systems and the possibility of functional dependence transforming between physical parameters into a criterion equation. The form of the criterion*

*equation can be obtained by the analysis of dimensions. In the work, a study was made of the effect of artificial and natural light weather on the breaking load of non-woven agrotextile materials. The relationship between the time of insolation in natural and artificial conditions has been established. Based on the theory of similarity and analysis of dimensions, a mathematical model has been obtained that makes it possible to predict the breaking load of non-woven agrotextile materials after the action of natural light weather depending on the duration of artificial insolation.*

**Ключевые слова:** нетканые агротекстильные материалы, термоскрепленные нетканые материалы, разрывная нагрузка, естественная светопогода, искусственная светопогода, прогнозирование, теория подобия, метод анализа размерностей.

**Keywords:** nonwoven agrotextiles, thermally bonded nonwovens, breaking load, natural light weather, artificial light weather, prediction, similarity theory, dimensional analysis method.

В последние годы во всем мире растет озабоченность по поводу утилизации текстильных отходов. Так, их ежегодный мировой объем, включая нераспроданную одежду, по данным экспертов достигает 92 млн тонн, а к 2030 году ожидается 134 млн тонн. Наиболее эффективным способом обработки отходов является их переработка. Существующие на сегодняшний день в мире технологии теоретически позволяют переработать и использовать вторично до 95% текстильных отходов, однако фактически доля составляет не более 13 %, а в производстве одежды используется не более 1% вторичных материалов. В настоящее время большая часть вторичной переработки заключается в передаче обработанных отходов в другие отрасли промышленности и использовании при изготовлении менее дорогостоящей продукции, которая далее, как правило, переработке не подлежит.

Все текстильные материалы независимо от своего назначения в процессе эксплуатации подвергаются различным внешним воздействиям, в том числе и светопогоды, что особенно актуально для нетканых геотекстильных материалов при оценке их качества. Совершенствование качества требует, прежде всего, знания свойств самих текстильных материалов, умения правильно и объективно измерять, оценивать и

контролировать показатели качества. Следовательно, главной задачей для работников текстильной промышленности является повышение качества выпускаемой продукции на всех стадиях ее проектирования и производства, а также сохранение качества при эксплуатации [1...6].

В качестве объектов исследования были выбраны 15 образцов термоскрепленных нетканых материалов агротехнического назначения. Образцы были выработаны из полипропилена и отличались поверхностной плотностью, а также процентным содержанием светостабилизатора фирмы Clariant.

Испытания в естественных условиях проводят путем выдерживания пробы на крыше или специальной площадке, расположенных под углом 45° к горизонту в южном направлении.

Для инсоляции в искусственных условиях использовался прибор дневного света ПДС.

Для выявления соответствия времени действия светопогоды на нетканые материалы проведем расчет разрывной нагрузки с учетом длительности действия природных условий и светопогоды на приборе дневного света ПДС.

В качестве основных параметров, оказывающих влияние на разрывную нагрузку нетканых материалов после действия естественной светопогоды, выберем

$$P_p = \eta = f(P_{p \text{ исх}}, C, T(t), T_v, \rho_v, M')$$

где  $P_p$  – разрывная нагрузка нетканого полотна после действия естественной светопогоды, кгс;

$P_{\text{исх}}$  – разрывная нагрузка нетканого полотна до воздействия, кгс;

$T$  – длительность действия естественной светопогоды, мес.;

$t$  – длительность действия искусственной светопогоды, ч;

$C$  – количество светостабилизатора, %;

$T_v$  – линейная плотность волокна, текс:  
 $T_v = 0,24$  текс;

$\rho_v$  – плотность волокна,  $\text{г/см}^3$ :  
 $\rho_v = 0,92$   $\text{г/см}^3$ ;

$M'$  – поверхностная плотность нетканого полотна,  $\text{г/м}^2$ .

Для сравнения степени влияния естественной и искусственной светопогоды на нетканые материалы на приборе дневного света ПДС получены зависимости разрывной нагрузки от длительности действия инсоляции (рис. 1).

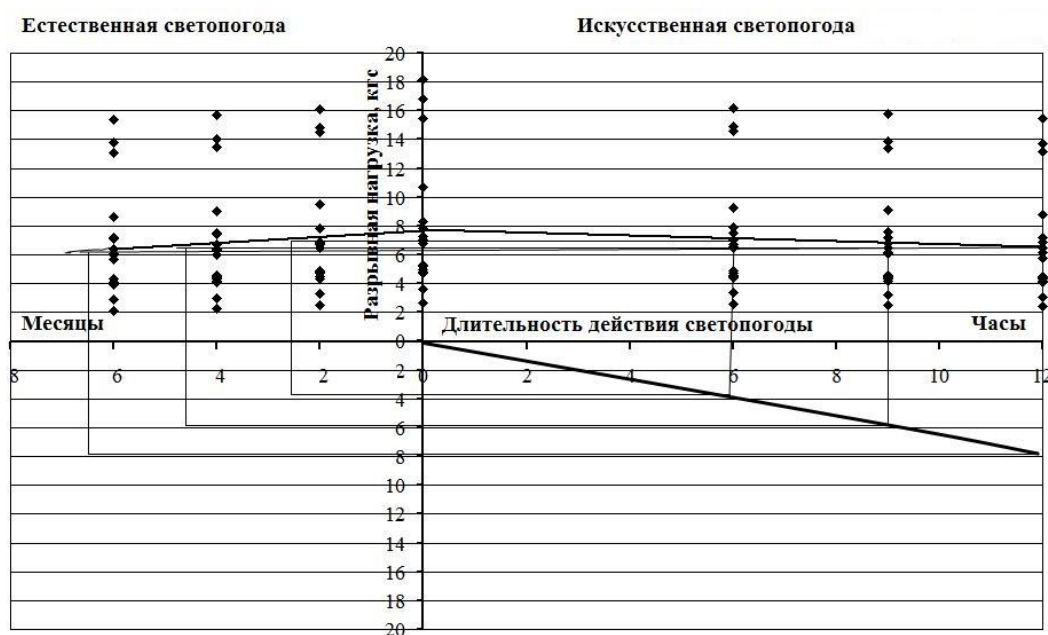


Рис. 1

Из графиков видно, что зависимость разрывной нагрузки нетканых материалов от длительности действия искусственной и естественной светопогоды с высокой степенью точности определяется линейной функцией следующего вида:

$$y = ax + b,$$

где  $y$  – разрывная нагрузка, кгс;  $x$  – длительность действия светопогоды, ч или мес.

Используя зависимости разрывной нагрузки нетканых материалов от длительности действия искусственной и естественной светопогоды, можно определить необходимое время испытаний в естественных

природных условиях и соответствующее им время на приборе дневного света ПДС.

При заданной разрывной нагрузке или разрывному удлинению, полученным после действия естественной светопогоды при различных интервалах времени, проводя прямые, получим разрывную нагрузку после действия светопогоды на приборе дневного света ПДС. Можно отметить, что результаты испытаний для каждого полотна соответствуют уравнениям прямой, однако эти функциональные зависимости имеют разные коэффициенты и графики находятся на расстоянии друг от друга. Для проведения расчетов получим уравнение прямой, соответствующее средним значениям разрыв-

ной нагрузки после действия естественной и искусственной светопогоды. Далее в расчетах используем усредненные зависимости разрывной нагрузки от длительности действия инсоляции. Проведя перпендикулярную прямую на ось, соответствующую длительности действия светопогоды, получим время действия светопогоды на приборе дневного света ПДС, необходимое для получения разрывной нагрузки, соответствующей действию естественной светопогоды. Далее строим зависимости полученного времени действия искусственной светопогоды при заданной разрывной нагрузке для естественных условий. Данная зависимость с высокой степенью точности определяется линейной функцией следующего вида:

$$T = 0,535 \cdot t + 0,101,$$

где  $t$  – время действия светопогоды на приборе дневного света ПДС, ч.

На прочность нетканых материалов будут оказывать влияние не только структур-

ные характеристики, но и процентное содержание светостабилизатора, который вводится в состав полимера, а также длительность действия светопогоды. Примем процентное содержание светостабилизатора и время инсоляции как изначально безразмерные величины. Применяя теорию подобия и анализа размерностей, получим  $\frac{CTT_B M'}{\rho_B}$ . Тогда с учетом полученного безразмерного комплекса функциональная зависимость для расчета разрывной нагрузки примет вид

$$P_{p \text{ расч}} = \frac{P_p}{P_{исх}} = f\left(\frac{CTT_B M'}{\rho_B}\right) = f\left(\frac{C(0,535t + 0,101)T_B M'}{\rho_B}\right).$$

Результаты расчета разрывной нагрузки нетканых материалов после действия естественной светопогоды с учетом длительности искусственной инсоляции приведены в табл. 1.

Т а б л и ц а 1

t, часы	T, месяцы	C, %	M', г/м <sup>2</sup>	$\frac{C \cdot T \cdot T_B \cdot M'}{\rho_B}$	P <sub>p</sub> , кгс	P <sub>исх</sub> , кгс	P <sub>p</sub> /P <sub>исх</sub>	P <sub>расч</sub> , кгс	Отклонение, %
0	0,10	2,0	43,0	3,365	8,3	8,3	1,000	8,3	0,35
6	3,31			96,470	7,8		0,940	7,4	5,60
9	4,92			189,574	7,5		0,904	7,3	3,11
12	6,52			282,678	7,2		0,867	7,2	0,01
0	0,10	2,5	41,4	4,050	7,8	7,8	1,000	7,7	0,96
6	3,31			116,100	6,9		0,885	6,9	0,33
9	4,92			228,150	6,7		0,859	6,8	1,30
12	6,52			340,200	6,4		0,821	6,7	5,06
0	0,10	3,0	36,9	4,332	6,8	6,8	1,000	6,7	1,19
6	3,31			124,177	6,3		0,926	6,0	5,05
9	4,92			244,021	6		0,882	5,9	1,60
12	6,52			363,866	5,7		0,838	5,8	2,61
0	0,10	1,5	29,6	1,737	5	5,0	1,000	5,1	1,87
6	3,31			49,805	4,8		0,960	4,5	5,53
9	4,92			97,873	4,6		0,920	4,5	2,71
12	6,52			145,941	4,1		0,820	4,4	8,13
0	0,10	2,0	77,7	6,081	15,5	15,5	1,000	15,1	2,30
6	3,31			174,318	14,5		0,935	13,5	7,02
9	4,92			342,556	13,5		0,871	13,3	1,43
12	6,52			510,793	13,1		0,845	13,2	0,62
0	0,10	1,5	89,7	5,265	16,8	16,8	1,000	16,5	1,83
6	3,31			150,930	14,8		0,881	14,7	0,79
9	4,92			296,595	14,0		0,833	14,5	3,51
12	6,52			442,260	13,8		0,821	14,4	4,03
0	0,10	3,0	112,3	13,183	18,2	18,2	1,000	17,3	4,78
6	3,31			377,914	16,1		0,885	15,4	4,17
9	4,92			742,645	15,7		0,863	15,2	3,01
12	6,52			1107,376	15,4		0,846	15,1	2,05

0	0,10	1,5	29,0	1,702	4,7	4,7	1,000	4,8	1,94
6	3,31			48,796	4,4		0,936	4,3	3,06
9	4,92			95,889	4,1		0,872	4,2	2,67
12	6,52			142,983	3,9		0,830	4,2	6,93
0	0,10	2,0	29,2	2,285	4,8	4,8	1,000	4,8	0,94
6	3,31			65,510	4,5		0,938	4,3	4,14
9	4,92			128,734	4,3		0,896	4,3	1,00
12	6,52			191,958	4,0		0,833	4,2	5,43
0	0,10	2,5	30,0	2,935	5,2	5,2	1,000	5,2	0,10
6	3,31			84,130	4,9		0,942	4,6	5,42
9	4,92			165,326	4,5		0,865	4,6	1,64
12	6,52			246,522	4,3		0,827	4,5	5,37
0	0,10	2,0	38,9	3,044	7,3	7,3	1,000	7,3	0,02
6	3,31			87,271	6,8		0,932	6,5	4,44
9	4,92			171,498	6,4		0,877	6,4	0,20
12	6,52			255,725	6,1		0,836	6,4	4,15
0	0,10	2,5	41,8	4,089	8,3	8,3	1,000	8,2	1,00
6	3,31			117,222	7,8		0,940	7,3	6,21
9	4,92			230,354	7,4		0,892	7,2	2,43
12	6,52			343,487	7,1		0,855	7,2	0,74
0	0,10	2,0	29,1	2,277	4,8	4,8	1,000	4,8	0,95
6	3,31			65,285	4,5		0,938	4,3	4,13
9	4,92			128,293	4,2		0,875	4,3	1,37
12	6,52			191,301	3,9		0,813	4,2	8,15
0	0,10	3,5	30,6	4,191	5,0	5,0	1,000	4,9	1,08
6	3,31			120,138	4,7		0,940	4,4	6,31
9	4,92			236,086	4,5		0,900	4,3	3,42
12	6,52			352,033	4,3		0,860	4,3	0,12
0	0,10	3,5	37,6	5,150	7,0	7,0	1,000	6,9	1,75
6	3,31			147,621	6,5		0,929	6,1	5,80
9	4,92			290,092	6,3		0,900	6,0	4,08
12	6,52			432,563	6,0		0,857	6,0	0,23
0	0,10	1,5	60,0	3,522	10,7	10,7	1,000	10,6	0,50
6	3,31			100,957	9,5		0,888	9,5	0,23
9	4,92			198,391	9,0		0,841	9,4	3,94
12	6,52			295,826	8,6		0,804	9,3	7,75
0	0,10	1,5	42,0	2,465	5,3	5,3	1,000	5,3	0,69
6	3,31			70,670	4,9		0,925	4,8	3,04
9	4,92			138,874	4,4		0,830	4,7	6,56
12	6,52			207,078	4,3		0,811	4,6	8,02
0	0,10	1,5	30,0	1,761	3,6	3,6	1,000	3,7	1,82
6	3,31			50,478	3,3		0,917	3,3	1,11
9	4,92			99,196	3,1		0,861	3,2	3,89
12	6,52			147,913	3,0		0,833	3,2	6,35
0	0,10	1,5	17,0	0,998	2,7	2,7	1,000	2,8	3,77
6	3,31			28,604	2,5		0,926	2,5	0,23
9	4,92			56,211	2,4		0,889	2,5	2,57
12	6,52			83,817	2,3		0,852	2,4	6,03

Функциональная зависимость для расчета разрывной нагрузки после действия искусственной светопогоды имеет вид (рис. 2)

$$P_{\text{расч}} = \frac{P_p}{P_{\text{исх}}} = 1,024 \left( \frac{C(0,535t + 0,101)T_B M'}{\rho_B} \right)^{-0,0333}$$

Таким образом, итоговая формула для расчета разрывной нагрузки нетканых полотен имеет вид

$$P_{\text{расч}} = 1,024 P_{\text{исх}} \left( \frac{C(0,535t + 0,101)T_B M'}{\rho_B} \right)^{-0,0333}$$

Формула справедлива при условии

$$0,998 \leq \frac{C \cdot (2,075 \cdot T + 0,150) \cdot T_B \cdot M'}{\rho_B} \leq 1107,376.$$

Отклонение расчетных значений от экспериментальных не превышает 8,15%.

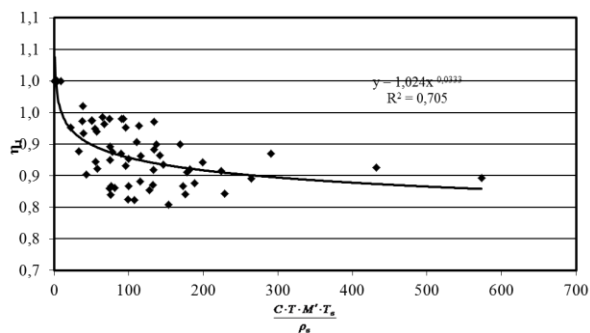


Рис. 2

## ВЫВОДЫ

Применение теории подобия и анализа размерностей позволяет получить математическую модель для расчета разрывной нагрузки нетканых агротекстильных полотен после действия естественной светопогоды в зависимости от времени действия искусственной инсоляции и параметров строения образцов. Данная формула показывает достаточно высокую точность расчетов.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Есиркепова А.М., Дуйсембекова Г.Р., Сабенова Б.Н., Балабекова Д.Б., Кудайбергенова З.У. Современные тенденции и перспективы развития мирового производства и потребления нетканых материалов // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. 2020. № 3 (387). С. 75...83.

2. Лысова М.А., Онипченко Н.А., Грузинцева Н.А., Гусев Б.Н. Построение методики оценки результативности системы менеджмента качества предприятия по производству геотекстильных полотен // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. 2023. № 1 (403). С. 32...40.

3. Шустов Ю.С., Курденкова А.В., Люкшинова И.В., Бызова Е.В. Прогнозирование нагрузки при прорезании термоскрепленных нетканых материалов после искусственной инсоляции // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. 2012. № 5 (341). С. 23...25.

4. Лысова М.А., Грузинцева Н.А., Гойс Т.О., Гусев Б.Н. Прогнозирование нормативных значений показателей качества нетканых геотекстильных полотен // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. 2022. № 4 (400). С. 47...51.

5. Кенжибаева Г.С., Сулейменова Т.Н., Иманкулова М.Н., Дайрабай Д.Д., Нышанбаева Ж.У., Сихимбаева М.Т. Математическое моделирование влияния технологических параметров на процесс изготовления нетканого полотна // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. 2022. № 2 (398). С. 109...114.

6. Дёмкина А.В., Курденкова А.В., Шустов Ю.С., Воробьева Н.А. Исследование механических свойств иглопробивных геотекстильных нетканых полотен // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. 2013. № 2 (344). С. 33...35.

## REFERENCES

1. Esirkepova A.M., Duisembekova G.R., Sabenova B.N., Balabekova D.B., Kudaibergenova Z.U. Modern trends and prospects for the development of world production and consumption of non-woven materials // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. 2020. No. 3 (387). Pp. 75-83.

2. Lysova M.A., Onipchenko N.A., Gruzintseva N.A., Gusev B.N. Construction of a methodology for assessing the effectiveness of the quality management system of an enterprise for the production of geotextile fabrics // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. 2023. No. 1 (403). Pp. 32-40.

3. Shustov Yu.S., Kurdenkova A.V., Lyukshinova I.V., Byzova E.V. Forecasting the load during cutting of thermally bonded non-woven materials after artificial insolation // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. 2012. No. 5 (341). Pp. 23-25.

4. Lysova M.A., Gruzintseva N.A., Gois T.O., Gusev B.N. Forecasting of normative values of indicators of quality of non-woven geotextile fabrics // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. 2022. No. 4 (400). Pp. 47-51.

5. Kenzhibaeva G.S., Suleimenova T.N., Imankulova M.N., Dairabai D.D., Nyshanbaeva Zh.U., Sihimbaeva M.T. Mathematical modeling of the influence of technological parameters on the process of manufacturing non-woven fabric // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. 2022. No. 2 (398). Pp. 109-114.

6. Demkina A.V., Kurdenkova A.V., Shustov Yu.S., Vorobieva N.A. Study of the mechanical properties of needle-punched geotextile non-woven fabrics // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. 2013. No. 2 (344). Pp. 33-35.

Рекомендована организационным комитетом IV Международного научно-практического симпозиума «Технический текстиль России: нетканые материалы, сырье, реинжиниринг». Поступила 07.03.23.