

Ю. Б. Корчун^{1}, Е. Г. Бобылева¹*

Сравнение прочностных характеристик материалов для оптоволокна

¹ Сибирский государственный университет геосистем и технологий, г. Новосибирск, Российская Федерация.
*e-mail: d3k08@vk.com

Аннотация. В статье рассматривается опыт по определению прочности оптоволоконных материалов, сначала в полиимидном, а затем и в медном покрытиях, с целью выяснить какое из них прочнее. Для проведения эксперимента используется оптическое волокно производства Пермской научно-производственной приборостроительной компании (ПАО «ПНППК»). Для проведения испытаний используется разрывная машина MTSExceedE.42, на кабестанах которой, по очереди, вертикально, крепятся образцы оптического волокна и измеряется предел его прочностных характеристик методом одноосного растяжения. Кабестаны установлены в начальное положение (расстояние между кабестанами 500 мм), рабочая поверхность кабестана покрыта материалом с высоким коэффициентом трения для исключения проскальзывания (например, изолента). Измерения выполняются для трех скоростей: 50, 100 и 500 мм/мин. Результаты представлены в виде таблиц, расчетов и графиков.

Ключевые слова: оптоволокно, предел прочности, медное и полиимидное покрытие, разрывная машина

Y. B. Korchun^{1}, E. G. Bobyleva¹*

Comparison of strength characteristics of materials for optical fiber

¹ Siberian State University of Geosystems and Technologies, Novosibirsk, Russian Federation.
*e-mail: d3k08@vk.com

Annotation. The article discusses the experience of determining the strength of fiber optic materials, first in polyimide, and then in copper coatings, in order to find out which of these coatings is stronger. For the experiment, an optical fiber produced by the Perm Research and Production Instrument-Making Company (PNPPC PJSC) is used. For testing, a tensile machine MTSExceedE.42 is used, on the capstans of which, in turn, samples of optical fiber are attached vertically and the limit of its strength characteristics is measured by the uniaxial tension method. To do this, set the capstans to the initial position (the distance between the capstans is 500 mm) and cover the working surface of the capstan with a material with a high coefficient of friction to prevent slippage (for example, electrical tape). Measurements are made for three speeds such as 50, 100 and 500 mm/min. The results are presented in the form of tables, calculations and graphs.

Key words: optical fiber, tensile strength, copper and polyimide coating, tensile testing machine

Введение

Популярность оптическому волокну принесла его низкая стоимость и многофункциональность, именно поэтому в наше время особо актуальна тема его использования.

Цель работы: методом одноосного растяжения измерить предел прочности оптоволокон с разными покрытиями, такими как полиимидное и медное.

Для статистической оценки кратковременной прочности оптических волокон используется распределение Вейбулла, в которой предполагается, что вероятность разрушения определяется соотношением экспериментально определяемых параметров друг к другу.

Методы и материалы

Образец оптического волокна в акрилатном (полиимидном) покрытии вертикально закрепляется в кабестанх разрывной машины, затем образец фиксируется прижимными пластинами, после чего проводятся измерения на трех скоростях: 50, 100 и 500 мм/мин. по 10 – 15 образцов на каждую скорость. В результате измерений будут получены значения нагрузки F в Ньютонах и соответствующие им значения времени до разрыва $t(\sigma)$ для четырех скоростей нагружения. С помощью программы «Origin» строится график Вейбулла (рис.1).

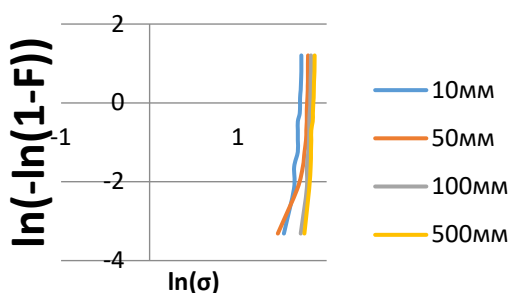


Рис. 1. График Вейбулла для всех скоростей нагружения оптоволокон в полиимидном покрытии

Результаты

Результаты испытаний и последующих расчетов для скоростей нагружения: 50 мм/мин (рис. 2); 100 мм/мин (рис. 3); 500 мм/мин (рис. 4).

№	F, H	t(σ),s	t(0.8σ),s	σ,МПа	№ min->max	σ,МПа min->max	t(σ),s min->max	t(0.8σ),s min->max	$\ln(\sigma) = \log(0,2\sigma / (t(\sigma) - t(0,8\sigma)))$	$\log(\sigma)$	k	$F = (k-1,5)/N$	$Yk = \ln(-\ln(1-F))$	σ, Gpa	$Xk = \ln(\sigma)$
1	73,43305	79,278	63,4224	5984	9	4259	77,514	62,0112	3,518057278	3,629286176	1				
2	73,37817	86,015	68,812	5979	10	5307	79,278	63,4224	3,603832528	3,724833962	2	0,03571429	-3,314075796	4,258789509	1,448985
3	72,64024	77,514	62,0112	5919	1	5648	80,213	64,1704	3,625830724	3,751924219	3	0,10714286	-2,177462963	5,306815174	1,668992
4	73,03313	85,213	68,1704	5951	5	5755	82,217	65,7736	3,62326162	3,760072011	4	0,17857143	-1,62602322	5,648384062	1,731369
5	70,62881	157,514	126,0112	5755	6	5852	84,015	67,212	3,621095172	3,767300751	5	0,25	-1,245899324	5,755353592	1,75013
6	72,47314	85,714	68,5712	5906	3	5880	85,213	68,1704	3,617031956	3,769386547	6	0,32142857	-0,947354424	5,851951938	1,766775
7	69,3161	101,114	80,8912	5648	2	5906	85,313	68,2504	3,618403171	3,771267152	7	0,39285714	-0,695166887	5,88012485	1,771578
8	52,26321	138,015	110,412	4259	7	5909	85,714	68,5712	3,61659414	3,771494636	8	0,46428571	-0,471357651	5,905642485	1,775908
9	72,51111	85,313	68,2504	5909	11	5919	86,015	68,812	3,615844444	3,772267384	9	0,53571429	-0,26493587	5,908736681	1,776432
10	73,24339	80,213	64,1704	5968	4	5951	87,514	70,0112	3,610683749	3,774610033	10	0,60714286	-0,067947806	5,919259559	1,778211
11	65,12442	87,514	70,0112	5307	13	5968	89,513	71,6104	3,602123682	3,775858547	11	0,67857143	0,12661497	5,951275192	1,783606
12	74,25483	82,217	65,7736	6051	14	5979	91,215	72,972	3,594741997	3,776656992	12	0,75	0,32663426	5,968408594	1,78648
13	73,48206	89,513	71,6104	5988	8	5984	101,114	80,8912	3,550321638	3,776981672	13	0,82142857	0,543931486	5,979391529	1,788319
14	71,81425	91,215	72,972	5852	15	5988	138,015	110,412	3,415496397	3,777271435	14	0,89285714	0,803611151	5,98386341	1,789066
15	72,15999	84,015	67,212	5880	12	6051	157,514	126,0112	3,362646866	3,781814797	15	0,96428571	1,2036341	5,987857204	1,789734

Рис.2. Результаты измерений 50 мм/мин

№	F, H	t(σ),s	t(0,8σ),s	σ,МПа	№ min->max	σ,МПа min->max	t(σ),s min->max	t(0,8σ),s min->max	t(σa)=log(0,2σ/t(σ)-t(0,8σ))	log(σ)	k	F=(k-1,5)/N	Yk=ln(-ln(1-F))	σ,ГПа	Xk=ln(σ)
1	74,58022	46,315	37,052	6077	13	5516	30,713	24,5704	4,032427929	3,741598909	1				
2	75,65463	38,813	31,0504	6165	6	5908	35,515	28,412	3,999167538	3,771428099	2	0,03571429	-3,314075796	5,51567806	1,707595
3	76,04409	39,713	31,7704	6197	4	5916	35,613	28,4904	3,998535154	3,771992473	3	0,10714286	-2,177462963	5,907831488	1,776279
4	75,69375	40,613	32,4904	6168	14	6010	37,713	30,1704	3,980550908	3,778890753	4	0,17857143	-1,62602322	5,915513822	1,777578
5	74,89586	43,212	34,5696	6103	15	6058	38,013	30,4104	3,980554057	3,782334957	5	0,25	-1,245899324	6,010225312	1,793462
6	72,5	40,414	32,3312	5908	5	6075	38,813	31,0504	3,972744021	3,78356998	6	0,32142857	-0,947354424	6,058079349	1,801393
7	75,38899	41,512	33,2096	6143	3	6077	39,315	31,452	3,967306756	3,783713771	7	0,39285714	-0,695166887	6,075331496	1,804237
8	67,68755	35,515	28,412	5516	1	6103	39,713	31,7704	3,964766438	3,785547897	8	0,46428571	-0,471357651	6,077343314	1,804568
9	73,75656	37,713	30,1704	6010	8	6143	39,815	31,852	3,966502576	3,788398031	9	0,53571429	-0,26493587	6,103063623	1,808791
10	74,34382	39,315	31,452	6058	2	6146	40,414	32,3312	3,960242706	3,788623308	10	0,60714286	-0,067947806	6,14324776	1,815354
11	75,42811	40,515	32,412	6146	11	6165	40,515	32,412	3,960461033	3,789925619	11	0,67857143	0,12661497	6,146435211	1,815872
12	75,95956	30,713	24,5704	6190	9	6168	40,613	32,4904	3,959636296	3,790150105	12	0,75	0,32663426	6,164894075	1,818871
13	72,59428	39,815	31,852	5916	12	6190	41,512	33,2096	3,951650095	3,791672513	13	0,82142857	0,543931486	6,168081526	1,819388
14	74,55553	38,013	30,4104	6075	10	6195	43,212	34,5696	3,934587674	3,792040809	14	0,89285714	0,803611151	6,189741519	1,822893
15	76,024	35,613	28,4904	6195	7	6197	46,315	37,052	3,904585156	3,792155561	15	0,96428571	1,2036341	6,194992842	1,823741

Рис. 3. Результаты измерений 100 мм/мин

№	F, H	t(σ),s	t(0,8σ),s	σ,МПа	№ min->max	σ,МПа min->max	t(σ),s min->max	t(0,8σ),s min->max	t(σa)=log(0,2σ/t(σ)-t(0,8σ))	log(σ)	k	F=(k-1,5)/N	Yk=ln(-ln(1-F))	σ,ГПа	Xk=ln(σ)
1	76,01136	7,967	6,3736	6194		5746	6,714	5,3712	4,710507571	3,759337672	1				
2	79,16016	7,615	6,092	6451		6070	7,217	5,7736	4,702951728	3,783157183	2	0,03571429	-3,314075796	5,74563022	1,74844
3	78,67364	7,713	6,1704	6411		6168	7,414	5,9312	4,698263305	3,790164638	3	0,10714286	-2,177462963	6,069559642	1,803286
4	78,4603	7,914	6,3312	6394		6194	7,414	5,9312	4,700067263	3,791968597	4	0,17857143	-1,62602322	6,16828793	1,819421
5	75,70	7,914	6,3312	6168		6211	7,516	6,0128	4,695343618	3,793179127	5	0,25	-1,245899324	6,193962855	1,823575
6	79,05543	8,216	6,5728	6442		6212	7,615	6,092	4,689727247	3,793245892	6	0,32142857	-0,947354424	6,211251683	1,826362
7	74,4847	8,013	6,4104	6070		6314	7,713	6,1704	4,691219669	3,80029174	7	0,39285714	-0,695166887	6,212206612	1,826516
8	77,67875	8,415	6,732	6330		6330	7,914	6,3312	4,681147518	3,801392316	8	0,46428571	-0,471357651	6,313813366	1,84274
9	76,23524	7,414	5,9312	6212		6346	7,914	6,3312	4,682271138	3,802515935	9	0,53571429	-0,26493587	6,329833927	1,845274
10	78,37213	8,613	6,8904	6386		6386	7,967	6,3736	4,682108183	3,80525175	10	0,60714286	-0,067947806	6,34623186	1,847861
11	77,87998	8,014	6,4112	6346		6394	8,013	6,4104	4,680096171	3,805740038	11	0,67857143	0,12661497	6,386335798	1,854161
12	77,48215	7,414	5,9312	6314		6411	8,014	6,4112	4,681221238	3,806919322	12	0,75	0,32663426	6,393520151	1,855285
13	70,51	6,714	5,3712	5746		6442	8,216	6,5728	4,672512625	3,809021784	13	0,82142857	0,543931486	6,41090472	1,858
14	79,33485	7,516	6,0128	6465		6451	8,415	6,732	4,662693867	3,809596735	14	0,89285714	0,803611151	6,442015781	1,862842
15	76,22353	7,217	5,7736	6211		6465	8,613	6,8904	4,653550886	3,810554078	15	0,96428571	1,2036341	6,450549844	1,864165

Рис. 4. Результаты измерений 500 мм/мин

Расчеты:

1 Рассчитали время достижения 80 % разрушающего напряжения по формуле

$$t(0,8\sigma) = 0,8 \cdot t(\sigma), \quad (1)$$

где $t(\sigma)$ – время до разрыва ОВ.

2 Вычислили значение разрушающего напряжения – предельная прочность (измеряемое в МПа) по формуле

$$\sigma = \frac{F}{\pi r^2}, \quad (2)$$

где F – значение нагрузки в Ньютонах; r – радиус кварцевого световода.

3 Рассчитали логарифм скорости изменения напряжения $\dot{\sigma}$ по формуле

$$\ln \{\dot{\sigma} = \ln \left(\frac{0,2\sigma}{t(\sigma) - t(0,8\sigma)} \right). \quad (3)$$

По формуле определяется параметр Вейбулла, который характеризуется тангенсом угла наклона прямой $Y = m * d * X$ и заносится в табл. 1 с остальными измерениями.

Таблица 1

Скорость нагружения, мкм/с	Параметр Вейбулла m_d	Предел прочности, Па
50	11,37966	5,81 ± 0,24
100	37,53195	6,07 ± 0,09
500	38,67587	6,29 ± 0,10

После чего повторяются все предыдущие действия, только уже с оптическим волокном в медном покрытии. Так же, с помощью программы получаем график Вейбулла (рис. 5).

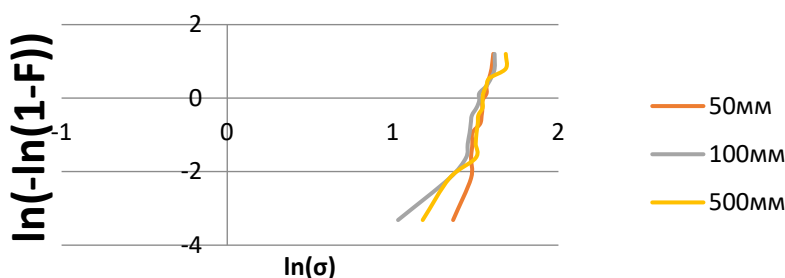


Рис. 5. Графики Вейбулла для всех скоростей нагружения оптоволокон в медном покрытии

Результаты испытаний и последующих расчетов для скоростей нагружения: 50 мм/мин (рис.6); 100 мм/мин (рис. 7); 500 мм/мин (рис. 8).

№	F, H	t(σ),s	t(0.8σ),s	σ,МПа	№ min->max	σ,МПа min->max	t(σ),s min->max	t(0.8σ),s min->max	(σ)=log(0,2σ/(t(σ)-t(0,8σ)))	log(σ)	k	F=(k-1,5)/N	Yk=ln(-ln(1-F))	σ,ГПа	Xk=ln(σ)
1	53,91101	80,628	64,5024	4393	9	3910	52,714	42,1712	3,648457051	3,592231778	1				
2	61,17701	59,515	47,612	4985	10	4357	53,814	43,0512	3,686442853	3,639186887	2	0,03571429	-3,314075796	3,910495391	1,363664
3	56,49363	52,714	42,1712	4604	1	4357	53,814	43,0512	3,686442853	3,639186887	3	0,10714286	-2,177462963	4,356993083	1,471782
4	60,51905	60,614	48,4912	4932	5	4393	56,513	45,2104	3,668770482	3,642767598	4	0,17857143	-1,62602322	4,356993083	1,471782
5	53,46835	53,814	43,0512	4357	6	4393	59,515	47,612	3,646292414	3,642767598	5	0,25	-1,245899324	4,393064681	1,480027
6	57,03038	56,513	45,2104	4647	3	4604	60,614	48,4912	3,658667887	3,66308957	6	0,32142857	-0,947354424	4,393064681	1,480027
7	57,26029	62,313	49,8504	4666	2	4647	62,313	49,8504	3,650768952	3,66719636	7	0,39285714	-0,695166887	4,603515075	1,52682
8	66,15034	65,113	52,0904	5390	7	4666	62,313	49,8504	3,652516243	3,668943651	8	0,46428571	-0,471357651	4,647253465	1,536276
9	47,989	83,915	67,132	3910	11	4666	65,113	52,0904	3,633427203	3,668943651	9	0,53571429	-0,26493587	4,665988364	1,5403
10	58,73977	73,913	59,1304	4787	4	4787	65,313	52,2504	3,643173949	3,680022355	10	0,60714286	-0,067947806	4,665988364	1,5403
11	59,66547	65,313	52,2504	4862	13	4787	73,913	59,1304	3,589452764	3,680022355	11	0,67857143	0,12661497	4,786547301	1,565809
12	53,46835	53,814	43,0512	4357	14	4862	73,913	59,1304	3,59624354	3,686813132	12	0,75	0,32663426	4,786547301	1,565809
13	57,26029	62,313	49,8504	4666	8	4932	80,628	64,5024	3,564647571	3,692982199	13	0,82142857	0,543931486	4,861979594	1,581446
14	58,73977	73,913	59,1304	4787	15	4985	80,628	64,5024	3,569343709	3,697678337	14	0,89285714	0,803611151	4,9315359	1,59565
15	53,91101	80,628	64,5024	4393	12	5390	83,915	67,132	3,585933852	3,731622205	15	0,96428571	1,2036341	4,985151221	1,606464

Рис. 6. Результаты измерений 50 мм/мин

№	F, H	t(σ),s	t(0.8σ),s	σ,МПа	№ min->max	σ,МПа min->max	t(σ),s min->max	t(0.8σ),s min->max	$\log(\sigma)=\log(0,2\sigma/t(\sigma)-t(0,8\sigma))$	log(σ)	k	F=(k-1,5)/N	Yk=ln(-ln(1-F))	σ,ГПа	Xk=ln(σ)
1	53,00809	27,616	22,0928	4319	13	2805	23,166	18,5328	3,861305609	3,448005417	1				
2	51,84384	28,514	22,8112	4225	6	3826	24,915	19,932	3,96442359	3,582733248	2	0,03571429	-3,314075796	2,805468634	1,031571
3	52,41445	28,514	22,8112	4271	4	4225	25,713	20,5704	3,993785779	3,625787267	3	0,10714286	-2,177462963	3,825896768	1,341793
4	53,76057	29,113	23,2904	4381	14	4271	26,513	21,2104	3,985233478	3,630541107	4	0,17857143	-1,62602322	4,22461627	1,440928
5	53,40873	26,515	21,212	4352	15	4319	26,513	21,2104	3,990124596	3,635432225	5	0,25	-1,245899324	4,271113448	1,451875
6	61,67222	32,213	25,7704	5026	5	4352	26,515	21,212	3,993361938	3,638702309	6	0,32142857	-0,947354424	4,319487537	1,463137
7	64,40027	41,113	32,8904	5248	3	4381	26,815	21,452	3,991327433	3,641553992	7	0,39285714	-0,695166887	4,352134505	1,470666
8	46,95082	23,166	18,5328	3826	1	4504	27,216	21,7728	3,996945217	3,653618256	8	0,46428571	-0,471357651	4,380805709	1,477233
9	34,42828	24,915	19,932	2805	8	4579	27,616	22,0928	3,997724241	3,660733753	9	0,53571429	-0,26493587	4,504206121	1,505012
10	56,18801	26,513	21,2104	4579	2	4579	28,514	22,8112	3,983826859	3,660733753	10	0,60714286	-0,067947806	4,578611057	1,521396
11	58,63528	27,216	21,7728	4778	11	4778	28,514	22,8112	4,002342178	3,679249072	11	0,67857143	0,12661497	4,578611057	1,521396
12	60,33928	26,815	21,452	4917	9	4917	29,113	23,2904	4,00575446	3,691690183	12	0,75	0,32663426	4,7780322	1,564029
13	55,27493	25,713	20,5704	4504	12	5026	32,213	25,7704	3,971299751	3,70117969	13	0,82142857	0,543931486	4,916886495	1,592676
14	56,18801	26,513	21,2104	4579	10	5026	32,213	25,7704	3,971299751	3,70117969	14	0,89285714	0,803611151	5,025504771	1,614526
15	61,67222	32,213	25,7704	5026	7	5248	41,113	32,8904	3,884149864	3,719977771	15	0,96428571	1,2036341	5,025504771	1,614526

Рис. 7. Результаты измерений 100 мм/мин

№	F, H	t(σ),s	t(0.8σ),s	σ,МПа	№ min->max	σ,МПа min->max	t(σ),s min->max	t(0.8σ),s min->max	$\log(\sigma)=\log(0,2\sigma/t(\sigma)-t(0,8\sigma))$	log(σ)	k	F=(k-1,5)/N	Yk=ln(-ln(1-F))	σ,ГПа	Xk=ln(σ)
1	39,96811	3,613	2,8904	3257		3257	3,166	2,5328	4,790443984	3,512803695	1				
2	59,80336	5,114	4,0912	4873		3826	3,613	2,8904	4,803016546	3,582733248	2	0,03571429	-3,314075796	3,256894533	1,180774
3	65,99844	5,913	4,7304	5378		4484	4,813	3,8504	4,747447469	3,651712099	3	0,10714286	-2,177462963	3,825896768	1,341793
4	57,57284	5,215	4,172	4691		4484	5,113	4,0904	4,721187564	3,651712099	4	0,17857143	-1,62602322	4,484480078	1,500623
5	55,68463	4,813	3,8504	4538		4504	5,113	4,0904	4,723093721	3,653618256	5	0,25	-1,245899324	4,484480078	1,500623
6	57,31678	5,214	4,1712	4671		4538	5,113	4,0904	4,726300876	3,656825412	6	0,32142857	-0,947354424	4,504206121	1,505012
7	55,03285	5,113	4,0904	4484		4555	5,114	4,0912	4,727837828	3,658447288	7	0,39285714	-0,695166887	4,537591668	1,512396
8	68,06166	8,913	7,1304	5546		4671	5,214	4,1712	4,730352111	3,669371906	8	0,46428571	-0,471357651	4,554569024	1,516131
9	55,89297	5,113	4,0904	4555		4671	5,214	4,1712	4,730352111	3,669371906	9	0,53571429	-0,26493587	4,670591734	1,541286
10	58,63528	7,216	5,7728	4778		4691	5,215	4,172	4,732204654	3,671307729	10	0,60714286	-0,067947806	4,670591734	1,541286
11	46,95082	3,166	2,5328	3826		4778	5,712999	4,570399	4,700536149	3,679249072	11	0,67857143	0,12661497	4,691456885	1,545743
12	55,27493	5,712999	4,570399	4504		4873	5,913	4,7304	4,694159069	3,687815705	12	0,75	0,32663426	4,7780322	1,564029
13	55,03285	5,113	4,0904	4484		5378	5,913	4,7304	4,73696715	3,730623787	13	0,82142857	0,543931486	4,873216493	1,583754
14	65,99844	5,913	4,7304	5378		5378	7,216	5,7728	4,650478537	3,730623787	14	0,89285714	0,803611151	5,37803701	1,682323
15	57,31678	5,214	4,1712	4671		5546	8,913	7,1304	4,572119973	3,743992635	15	0,96428571	1,2036341	5,37803701	1,682323

Рис. 8. Результаты измерений 500 мм/мин

Расчеты:

Рассчитали время достижения 80 % разрушающего напряжения; вычислили значение разрушающего напряжения – предельная прочность (измеряемое в мпа); рассчитали логарифм скорости изменения напряжения – $\dot{\sigma}$.

Занесены результаты измерения и расчеты в табл. 2.

Таблица 2

Скорость нагружения, мкм/с	Параметр Вейбулла m_d	Предел прочности, ГПа
50	18,640	4,63 ± 0,18
100	7,811	4,46 ± 0,32
500	9,219	4,64 ± 0,31

Заключение

Из проведенного опыта следует, что оптическое волокно в полиимидном покрытии крепче, чем в медном.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Кувшинский В.В. Фрезерование. – Свердловск: Машгиз, 1958. – 410 с.
2. Коваленко А.В. Точность обработки на станках и стандарты. – М.: Машиностроение, 1992. – 160 с.
3. Старков В.К. Обработка резанием. Управление стабильностью и качеством в автоматизированном производстве. – М.: Машиностроение, 1989. – 296 с.
4. Хае Г.Л. Прочность режущего инструмента. М., Маш., 1975. – 168 с.
5. Вульф А.М. Резание металлов. Л., Маш., 1973. – 496 с.
6. Горелов В.М. Резание металлов. – М.: Машиностроение, 1966. – 205 с.
7. Драгун А.П. Режущий инструмент. – Л.: Лениздат, 1986. – 271 с.
8. Износ и стойкость инструмента [Электронный ресурс] – Режим доступа: https://studopedia.ru/3_5945_iznos-i-stoykost-instrumentov.html – Загл. с экрана.
9. Филоненко С.Н. Резание металлов. – Киев: Техника, 1975. – 232 с.
10. Орнис Н.М. Основы механической обработки металлов. – М., Маш., 1968. – 230 с.
11. Аршинов В.А., Алексеев Г.А. Резание металлов и режущий инструмент. – М., Маш., 1976. – 440 с.
12. Каневский Г.Н., Шварев А.С. Методика автоматизированного прогнозирования расхода режущего инструмента для станков с ЧПУ// Машиностроение и транспорт: теория, технологии, производство. – Труды НГТУ им. Р.Е. Алексеева N2 (117), 2017. – С. 133-141.
13. Рыжкин А.А. Обработка материалов резанием: учебное пособие/А.А. Рыжкин, К.Г. Шучев, М.М. Климов. – Ростов на Дону: Феникс, 2008. – 411 с. – (Высшее образование).
14. Волович В.А. Нормирование расхода режущего инструмента в машиностроении: Справочник/В.А. Волович, А.Ф. Керженцев, И.Г. Филатов. – Минск: Белорусь, 1989. – 176 с.
15. Бериллов Д.П. Количественная оценка проектных решений на ранних стадиях проектирования технологических процессов/ Выпускная квалификационная работа по направлению 12.03.01 Приборостроение, Новосибирск, СГУГиТ, 2017. – 64 с.
16. Коротков А.А. Разработка методики инструментального обеспечения современного технологического процесса механической обработки / Выпускная квалификационная работа по направлению 12.03.01 Приборостроение, Новосибирск, СГУГиТ, 2019. – 40 с.
17. Ахумов А.В. Организация и планирование машиностроительного производства. Справочник. - Л., Маш., 1972. – 208 с.
18. Нормативы времени и режимов резания для нормирования работ на фрезерных станках с ЧПУ и типа «обрабатывающий центр». Мелкосерийное и единичное производства. – М., ВНИИТЭМР, 1986. – 151 с.
19. Общемашиностроительные нормативы времени и режимов резания для нормирования работ, выполняемых на универсальных и многоцелевых станках с числовым программным управлением. Часть II. Нормативы режимов резания. – М.: Экономика, 1990. – 472 с.
20. Экономика и организация производства в дипломных проектах: учебное пособие для машиностроительных вузов/К.М. Великанов, Э.Г. Васильева, В.Ф. Власов и др.; Под общ. ред. К.М. Великанова. – Л.: Маш., 1986. – 285 с.
21. Бурков, В. Д. Физико-технологические основы волоконно-оптической техники : уч. пособие / В. Д. Бурков, Г. А. Иванов. – Москва : Издательство Московского государственного университета леса, 2007. – 295 с. – Текст : непосредственный.
22. Азанова, И. С. Фотоника и оптоинформатика : лабораторный практикум лаборатории УОЦ ПНППК / И. С. Азанова, Г. Н. Вотинов, В. С. Кирчанов. – Пермь : Пермский Националь-

ный исследовательский политехнический университет, 2021. – 75 с. – Текст : непосредственный.

23. Попов, С.М., Воробьев, И.Л., Иванов, Г.А., Исаев, В.А., Чаморовский, Ю. К. “Высокотемпературные оптические волокна с покрытием из металла” / материалы 8 Межд. науч.-техн. конференции «Квантовая Электроника». – Минск : 2010. – 122 с. – Текст : непосредственный.

© Ю. Б. Корчун, Е. Г. Бобылева, 2023