



ХИМИЧЕСКАЯ ПЕРЕРАБОТКА ДРЕВЕСИНЫ

УДК 676.16.

**Ю.Д. Алашкевич, В.И. Ковалев, А.И. Невзоров,
В.П. Барановский, Г.С. Сакаш**

Алашкевич Юрий Давыдович родился в 1940 г., окончил в 1964 г. Сибирский технологический институт, доктор технических наук, профессор. Имеет 280 научных работ в области размола волокнистых материалов и в др. областях.



ЭФФЕКТ ТРАНСФОРМИРОВАНИЯ МАЛОСКОРОСТНОЙ СТРУИ СУСПЕНЗИИ В ВЫСОКОСКОРОСТНУЮ

Изложены теоретические предпосылки получения высокоскоростной струи, дана оценка силовых факторов при контакте высокоскоростной струи с неподвижной преградой.

Ключевые слова: волокнистая суспензия, малоскоростная струя, высокоскоростная струя, удар, поток, преграда.

Известно, что при получении бумаги основной операцией технологического процесса является предварительная обработка волокнистой массы (размол) перед напуском ее на сетку бумагоделательной машины. От качества размола зависит качество готовой бумаги. В существующих способах ножевого и безножевого размола присутствует гидродинамический эффект при течении волокнистой суспензии в рабочих органах размалывающей машины. При безножевом размолу волокна в установке «струя–преграда» этот эффект превалирует.

Цель настоящей работы – анализ эффективности трансформирования малоскоростной струи волокнистой суспензии в высокоскоростную для усиления воздействия на волокно в процессе его обработки.

Известно, что в момент удара фронта струи о неподвижную преграду количество выделяющейся энергии значительно выше, чем в процессе неразрывного контакта с преградой при непрерывном истечении [2, 3].

Глубокая степень разработки волокнистого полуфабриката, равномерно распределенного в струе суспензии, при ударе ее фронта о неподвижную преграду зависит от количества энергии, выделяющейся при ударе, скорости струи и числа ее соударений с преградой в единицу времени.

Более предпочтительна возможность трансформирования малоскоростной струи в высокоскоростную (кумулятивную) при малых энергозатратах. Например, такая струя появляется, когда фронт потока суспензии ударяется о преграду под определенным углом [2].

Рассмотрим взаимодействие высокоскоростной струи с преградой (см. рисунок). Струя 2 возникает при столкновении потока суспензии 1 и с

при ударе о преграду 4

$$P_{к.у} = \rho v_k v_{з.в}, \quad (8)$$

где ρ – плотность суспензии, кг/м³;

$v_{з.в}$ – скорость звука в воде, $v_{з.в} \approx 1500$ м/с.

7*

Подставляя в уравнение (6) значения угла λ в диапазоне от 4 ... 6 ° при скорости потока I от 1 м/с до сверхзвуковых, определяем скорость v_k вновь сформированной высокоскоростной струи 2.

Полученные значения v_k подставляем в уравнения (7) и (8) и определяем давление струи 2 на преграду 4 при непрерывном истечении $P_{к.и}$ и ударе о нее $P_{к.у}$ во всех диапазонах.

Чтобы сравнить силовые факторы, действующие при истечении и ударе струи 2 о преграду 4, определим соотношения $\frac{P_{к.у}}{P_y}$ и $\frac{P_{к.и}}{P_y}$ во всех диапазонах. Полученные результаты представим в виде таблицы.

Удар струи о преграду		$P_{к.и} / P_{к.у}$	Истечение струи $P_{к.и}, \text{кг/см}^2$	Скорость струи $v_1, \text{м/с}$
$v_k, \text{м/с}$	$P_{к.у}, \text{кг/см}^2$			
$\lambda = 4^\circ, \text{ctg } \lambda/2 = 28,640$				
28,6	429,6	0,0190933	8,202496	1
143,2	2148	0,0954667	205,0624	5
286,4	4296	0,1909333	820,2496	10
429,6	6444	0,2864	1845,5616	15
572,8	8592	0,3818667	3280,9984	20
859,2	12888	0,5728	7382,2464	30
1145,6	17184	0,7637333	13123,9936	40
1432,0	21480	0,9546667	20506,2400	50
1500	22500	1	22500	52,37
1718,4	25776	1,1456	29528,9856	60
2004,8	30072	1,3365333	40192,2304	70
2291,2	34368	1,5274667	52495,9744	80
2577,6	38664	1,7184	66440,2176	90
2864,0	42960	1,9093333	82024,9600	100
3150,4	47256	2,1002667	99250,2016	110
3436,8	51552	2,2912	118115,9424	120
3723,2	55848	2,4821333	138622,1824	130
4009,6	60144	2,6730667	160768,9216	140
4296,0	64440	2,864	184556,1600	150
8592,0	128880	5,728	738224,64	300
12888,0	193320	8,592	1661005,44	450
17184,0	257760	11,456	2952898,56	600
21480,0	322200	14,320	4613904,00	750
25776,0	386640	17,184	6644021,76	900

30072,0	451080	20,048	9043251,84	1050
34368,0	515520	22,912	11811594,24	1200
38664,0	579960	25,776	14949048,96	1350

Продолжение табл.

Удар струи о преграду		$P_{к.и} / P_{к.у}$	Истечение струи $P_{к.и}, \text{кг/см}^2$	Скорость струи $v_1, \text{м/с}$
$v_{к.}, \text{м/с}$	$P_{к.у}, \text{кг/см}^2$			
42960,0	644400	28,640	18455616,00	1500
47256,0	708840	31,504	22331295,36	1650

 $\lambda = 5^\circ, \text{ctg } \lambda/2 = 22,904$

22,90	343,6	0,0152693	5,24593216	1
114,52	1717,8	0,0763467	131,148304	5
229,04	3435,6	0,1526933	524,593216	10
343,56	5153,4	0,22904	1180,334736	15
458,08	6871,2	0,3053867	2098,372864	20
687,12	10306,8	0,45808	4721,338944	30
916,16	13742,4	0,6107733	8393,491456	40
1145,20	17178,0	0,7634667	13114,8304	50
1374,24	20613,6	0,91616	18885,35578	60

1500	22500	1	22500	65,49
------	-------	---	-------	-------

1603,28	24049,2	1,0688533	25705,06758	70
1832,32	27484,8	1,2215467	33573,96582	80
2061,36	30920,4	1,37424	42492,0505	90
2290,40	34356,0	1,5269333	52459,3216	100
2519,44	37791,6	1,6796267	63475,77914	110
2748,48	41227,2	1,83232	75541,4231	120
2977,52	44662,8	1,9850133	88656,2535	130
3206,56	48098,4	2,1377067	102820,2703	140
3435,60	51534,0	2,2904	118033,4736	150
6871,20	103068,0	4,5808	472133,8944	300
10306,80	154602,0	6,8712	1062301,262	450
13742,40	206136,0	9,1616	1888535,578	600
17178,00	257670,0	11,4520	2950836,840	750
20613,60	309204,0	13,7424	4249205,050	900
24049,20	360738,0	16,0328	5783640,206	1050
27484,80	412272,0	18,3232	7554142,310	1200
30920,40	463806,0	20,6136	9560711,362	1350
34356,00	515340,0	22,9040	11803347,360	1500
37791,60	566874,0	25,1944	14282050,310	1650

 $\lambda = 6^\circ, \text{ctg } \lambda/2 = 19,08$

19,1	286,2	0,01272	3,640464	1
95,4	1431,0	0,0636	91,0116	5
190,8	2862,0	0,1272	364,0464	10
286,2	4293,0	0,1908	819,1044	15
381,6	5724,0	0,2544	1456,1856	20
572,4	8586,0	0,3816	3276,4176	30

763,2	11448,0	0,5088	5824,7424	40
954,0	14310,0	0,6360	9101,1600	50
1144,8	17172,0	0,7632	13105,6704	60

Продолжение табл.

Удар струи о преграду		$P_{к.и} / P_{к.у}$	Истечение струи $P_{к.и}$, кг/см ²	Скорость струи v_1 , м/с
v_k , м/с	$P_{к.у}$, кг/см ²			
1335,6	20034	0,8904	17838,2736	70
1500	22500	1	22500	76,61
1526,4	22896	1,0176	23298,9696	80
1717,2	25758	1,1448	29487,7584	90
1908,0	28620	1,2720	36404,6400	100
2098,8	31482	1,3992	44049,6144	110
2289,6	34344	1,5264	52422,6816	120
2480,4	37206	1,6536	61523,8416	130
2671,2	40068	1,7808	71353,0944	140
2862,0	42930	1,9080	81910,44	150
5724,0	85860	3,8160	327641,76	300
8586,0	128790	5,7240	737193,96	450
11448,0	171720	7,6320	1310567,04	600
14310,0	214650	9,5400	2047761,00	750
17172,0	257580	11,4480	2948775,84	900
20034,0	300510	13,3560	4013611,56	1050
22896,0	343440	15,2640	5242268,16	1200
25758,0	386370	17,1720	6634745,64	1350
28620,0	429300	19,0800	8191044,00	1500
31482,0	472230	20,9880	9911163,24	1650

Примечание. Затемнением выделены значения скорости v_k высокоскоростной струи 2, равные скорости распространения звука в воде $v_{з.в}$, с указанием соответствующей скорости потока 1.

Сравнительный анализ взаимодействия высокоскоростной струи 2 с преградой 4 при непрерывном истечении и ударе показал следующее.

Рассматривая зависимость величины давления, развивающегося при взаимодействии непрерывно истекающей струи 2 с неподвижной преградой 4, можно сделать вывод, что при скорости потока 120 м/с и углах $\lambda \leq 6^\circ$ гидродинамическое воздействие на волокна, распределенные в струе 2, интенсифицируется, поскольку $P_{к.и}$ в указанных выше диапазонах превышает предел прочности волокон.

При ударе струи 2 о преграду 4 этот результат при $\lambda \leq 6^\circ$ достигается уже при $v_1 = 10$ м/с, т.е. процесс интенсифицируется еще больше. Таким образом, высокоскоростная струя, формирующаяся при столкновении низкоскоростного потока суспензии с плоскостью, имеет энергию единицы объема во много раз большую энергии первичного потока.

Для примера рассчитаем силу P_v , воспринимаемую одним волокном, от давления, развивающегося в месте контакта струи 2 с преградой 4 (см. рисунок) при истечении $P_{к.и}$ и ударе $P_{к.у}$.

При $v = 120$ м/с и $\lambda = 4 \dots 6^\circ$:

$P_{к.и} = (11583,2 \dots 5140,9)$ МПа; $P_{к.у} = (5055,5 \dots 3367,9)$ МПа (см. таблицу).

На основании [1] сила

$$P_v = P f_v, \quad (9)$$

где $f_v = ab$ – площадь единичного волокна целлюлозы, м²;

a – длина волокна, м;

b – ширина волокна, м.

Исходя из [4], длина волокна $a = (0,05 \dots 3,00) \cdot 10^{-3}$ м, ширина $b = (0,001 \dots 0,070) \cdot 10^{-3}$ м.

Принимаем $a = 3 \cdot 10^{-3}$ м, $b = 5 \cdot 10^{-5}$ м.

Тогда $f = 3 \cdot 10^{-3} \cdot 5 \cdot 10^{-5} = 0,15 \cdot 10^{-6}$ м².

Подставляя заданные значения параметров, входящих в формулу (9), получаем искомые значения силы:

при истечении

$$P_v = (11583,2 \dots 5140,9) \cdot 10^6 \cdot 0,15 \cdot 10^{-6} = (1737,5 \dots 771,1) \text{ Н};$$

при ударе

$$P_v = (5055,5 \dots 3367,9) \cdot 10^6 \cdot 0,15 \cdot 10^{-6} = (758,3 \dots 505,2) \text{ Н}.$$

Величины этих сил превышают пределы прочности волокон, на основании чего можно предположить, что гидродинамическое воздействие на волокна, распределенные в струе 2 в момент контакта ее с преградой 4, интенсифицируется.

Из этого следует, что высокоскоростная струя 2, формирующаяся при столкновении низкоскоростного потока 1 с плоскостью преграды 3, имеет по сравнению с ним во много раз большую энергию единицы своего объема.

В реальных условиях различные участки струи 2 движутся с различными скоростями, потому что при столкновении фронта потока 1 с преградой 3 отдельные точки приобретают неодинаковые скорости и при охлопывании фронта угол λ между ним и плоскостью 3 может непрерывно изменяться. Это может привести к разрыву струи 2 на части.

Из формулы (6) следует, что при неограниченном уменьшении угла λ можно формировать струю 2 сколь угодно большой скорости. Реально при малых углах λ скорость струи 2 перестает возрастать и плотность ее энергии резко снижается [3].

Это объясняется тем, что конструктивное выполнение устройств, предназначенных для формирования отраженных струй, не полностью соответствует схеме, положенной в основу теории. Кроме того, не исключается существование ограничений, которые пока еще не введены в гидродинамическую теорию описанного здесь эффекта.

Особенность работы высокоскоростной струи 2 заключается в том что при скоростях, превышающих звуковую ($v_0 > 1500$ м/с), соответствующие значения давлений, возникающих в месте контакта с преградой, при истечении $P_{к.и}$ выше, чем при ударе $P_{к.у}$.

Полученные результаты расчета значений скоростей могут быть значительно скорректированы при экспериментальной проверке, поскольку в расчете не учитывается влияние концентрации волокнистой суспензии и ее реологические свойства. При этом изменяются значения силовых факторов.

Возможность использования работы отраженной высокоскоростной струи 2 при столкновении ее с преградой 4 позволит значительно интенсифицировать гидравлическое воздействие на волокна, распределенные в ней, по сравнению с воздействием потока 1 при его столкновении с преградой 3.

На основании вышеизложенного можно сделать следующие выводы:

для повышения эффективности воздействия на волокно необходимо обеспечить дискретность работы струи и ее фокусировку;

создать механизм преобразования непрерывно истекающей струи в частотно-пульсирующую (с учетом сохранения производительности установки и энергозатрат);

для повышения эффективности гидродинамического воздействия на волокнистый полуфабрикат следует рассмотреть вопрос о придании преградам 3 и 4 встречных высокочастотных возвратно-поступательных колебательных перемещений.

Эти задачи в настоящее время решаются на базе гидродинамической установки «струя–преграда», разработанной под руководством профессора Ю.Д. Алашкевича в лаборатории кафедры МаПТСибГТУ и предназначенной для массового безножевого размола низко- и среднеконцентрированных волокнистых суспензий.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Алашкевич Ю.Д. Основы теории гидродинамической обработки волокнистых материалов в размольных машинах: реф. дис. ... докт. техн. наук. / Ю.Д. Алашкевич. – Красноярск, 1986. – 45 с.
2. Майер В.В. Кумулятивный эффект в простых опытах / В.В. Майер. – М.: Наука, 1983. – С. 12–34.
3. Слободецкий И.Ш. Задачи по физике / И.Ш. Слободецкий, Л.Г. Асламазов. – М.: Наука, 1980. – С. 47–50.
4. Фляте Д.М. Свойства бумаги / Д.М. Фляте. – М.: Лесн. пром-сть, 1976. – 648 с.
5. Энциклопедический справочник машиностроения. Т. 1. – М.: ГНТИ, 1948. – 456 с.

Сибирский государственный
технологический университет

Поступила 29.10.04

*Yu.D. Alashkevich, V.I. Kovalev, A.I. Nevzorov,
V.P. Baranovsky, G.S. Sakash*

Transformation Effect of Low-speed Suspension Jet

into High-speed Jet

Theoretical prerequisites of producing high-speed jet are stated, power factors estimate is provided at high-speed jet contact with stationery barrier.
