

ТЕХНИЧЕСКИЙ ОТДЕЛ.

Этюды по механической технологии бумаги.

II. К теории дефибрирования.

Измельчение исходного сырья на волокна, или приготовление „бумажной массы“, при современном состоянии технологии есть неизбежная операция бумажного производства. Однако, ее нельзя признать совершенно необходимой: если бы „масса“ имелась в готовом виде в природе, то собственно производство бумаги, заключающееся в смешении компонентов, отливке смеси на сетке в форме тонкого слоя, обезвоживании, сушке и отделке продуктов, — такое производство могло бы существовать и без измельчительных отделений. Измельчение, таким образом, следует признать подготовительным процессом бумажного производства. За границей имеются специальные заводы, производящие полумассу из тряпки, которая затем поступает на бумажные фабрики, не имеющие своих подготовительных отделений.

Заводы механической древесной массы, химической древесной и соломенной целлюлозы могут рассматриваться, как предприятия по изготовлению бумажных полумасс, и бумажные фабрики, потребляющие и обращающие в бумагу их продукты, также могут не иметь при себе этих производств. Может быть для фабриканта, специалиста по бумаге, такое отделение производства масс от окончательной выделки бумаги представляет удобства. Бумажному мастеру эти разные волокнистые массы нужны, как краски на палитре художнику, чтобы составлять из них окончательный продукт нужной композиции; ему важно лишь качество масс, и вопрос об их происхождении в конце концов его не так уж интересует; терять же силы и время еще на их производство у себя заграничные бумажные фабрики, очевидно, не все считают выгодным.

Но если рассмотреть этот вопрос с точки зрения интересов общего народного и государственного хозяйства, то такое отделение производств полупродуктов от бумажных фабрик в высшей степени нецелесообразно. Здесь имеют место и лишние затраты средств на упаковку, хранение и транспорт; в целях сохранения полупродуктов и удешевления провоза их приходится на полумассных заводах высушивать и при-

водить в товарный вид, на что требуется лишний расход энергии (тепла и силы), затем на месте потребления, т.-е. на бумажной фабрике, сухие массы вновь необходимо размачивать и размельчать механически, что хотя и легче, но все же требует затраты лишней энергии и других средств и, кроме того, влечет за собой потерю волокна (слишком измельченного), а для механической древесной массы и ухудшение качества.

Ясно, что если предварительное измельчение сырья в волокнистую массу неизбежно, то его следует организовать при бумажной фабрике непосредственно. Таким образом, современное производство бумаги нераздельно связано с производством полумассы, а рациональная бумажная фабрика должна представлять в той или иной степени комбинат из подготовительных отделений и собственно производства бумаги.

Отсюда следует, что изучение технологии бумаги естественно начинать с этого подготовительного процесса измельчения на волокна или „дефибрирования“ в широком смысле (от fibre—волокно), хотя по существу дела он и не является необходимостью собственно бумажного производства, если не считать небольшого участия его в работе на товарных роллах.

Как было упомянуто, бумажные массы получают и механическим и химическим путем. Но и при последнем механическое измельчение к сожалению неизбежно играет немаловажную роль, хотя химическая энергия, как и тепловая, из всех видов энергии одни лишь способны воздействовать непосредственно на объект обработки и дать наибольший эффект использования, но для лучшего контакта необходима большая поверхность исходного материала, на что и требуется механическая, самая технически невыгодная работа. Механические операции неизбежны и в качестве дополнительных, корректирующих химическое размельчение: целлюлоза древесная после варки подвергается раздроблению в измельчителях (сепараторах, вернее дефибраторах).

Источником механической энергии, если не считать ветра, служит падение воды и, главным образом, топливо. Нередко приходится слышать, что водяная энергия это „даровая сила“. Правда, что расходы по эксплуатации гидросиловых станций ничтожны, в 3—4 раза меньше, чем теплосиловых, но, конечно, водяная энергия представляет собой абсолютную и потенциальную ценность для народного хозяйства, которую растрачивать зря так же нерационально, как и более ощутимо ценное топливо.

В качестве иллюстрации большого значения механических процессов в бумажном производстве в таблице I¹⁾ приведено распределение энергии в ‰‰ по отделам и роду операций, составленное в 1918 г. на основании результатов специального обследования паросилового хозяйства одной русской бумажной фабрики, имеющей свои полупродуктовые отделения. За неимением точных тепловых балансов для подобных предприятий, в целях сравнения, в таблицу включены

¹⁾ См. стр. 196.

соответственные цифры, вычисленные по новейшим американским данным.

Не придавая этим числам значения норм, все же можно убедиться, что из всей энергии *brutto*, получаемой в топках паровых котлов, лишь от $\frac{1}{3}$ (с отоплением фабрики) до $\frac{1}{3}$ (без отопления) расходуется (включая соответствующие потери) на тепловые процессы (варку, сушку и пр.), а остальная, значительно большая часть предназначается для обращения в механическую работу. Из этой работы на всякого рода измельчение расходуется около $\frac{1}{2}$, на перемещение твердых и жидких тел, главным образом водоснабжение, — около $\frac{1}{4}$, собственно на производство и отделку бумаги $\frac{1}{16}$ и $\frac{3}{16}$ на разные нужды — ремонтные мастерские, котельные, силовую станцию, электрическое освещение и другие вспомогательные отделы.

Переходя от $\frac{\%}{\%}$, характеризующих большую роль механической энергии вообще и измельчение в частности внутри производственного предприятия, к абсолютным цифрам, необходимо отметить, что бумажная промышленность занимает одно из первых мест среди других отраслей, как в смысле расхода механической энергии на 100.000 руб. стоимости годовой продукции (табл. II), так и в отношении $\%$, который составляет расход на топливо от всех производственных расходов. (Табл. III).

Табл. II¹⁾.

Древесно-массная промышленность	480	HP
Бумажная	95	"
Металлообрабатывающая	80	"
Деревообрабатывающая	65	"
Целлюлозная	60	"
Текстильная	40	"
Химическая	40	"

Табл. III.

Кирпичное производство	26,4
Целлюлозное	21,7
Стекольное	19,5
Фарфоровое	18,8
Древомассное	15,7
Сух. перег. дерева	14,0
Комбинир. бумажн.	13,7
Сталелитейное	13,4
Бумажное	12,6
Чугуннолитейное	9,5
Текстильн. комбиниров.	5,4

Таблицы относятся к довоенному времени, когда стоимость 1-го пуда древесной массы была около 90 к., целлюлозы 1 р. 45 к. и бумаги 3 руб. 50 коп., при чем расход силы на 1 пуд в сутки выражается:

¹⁾ См. В. Н. Доливо-Добровольский. Справочник Отд. Хим. промышленности ВСНХ вып. 1 Бум. промышленность. Изд. 1922 г., стр. 22.

Таб. 1. Распределение энергии (брутто) по отделам и опера

РАСХОД ЭНЕРГИИ НА ДВИГА									
ОПЕРАЦИИ.	ОТДЕЛЫ.	% от % энергии	Производство						
			Дерво-подготов.	Древесно-матос.	Приготовление бисульфита.	Целлюлоз-ное.		Бумажное.	
						механ.	всей.	механ.	всей.
Измельчение	Механич.	65	95	73	36	—	68	—	
	Всей.	—	—	—	—	8	—	53	
Перемещение	Механич.	14	1/4	18	7	—	1 1/4	—	
	Всей.	—	—	—	—	1 1/2	—	1	
Очищение	Механич.	21	3 1/4	9	43	—	1 1/4	—	
	Всей.	—	—	—	—	9 1/2	—	1	
Формирование	Механич.	—	1 1/2	—	—	—	17 1/2	—	
	Всей.	—	—	—	14	3	—	13 1/2	
Отделка	Механич.	—	—	—	—	—	12	—	
	Всей.	—	—	—	—	—	—	9	
Разные	Механич.	—	—	—	—	—	—	—	
	Всей.	—	—	—	—	—	—	—	
ИТОГО.	Без тепловых процессов	Механич.	100	100	100	100	—	100	—
	На силу	Всей.	—	—	—	—	22	—	77 1/2
	На тепловые процессы	Всей.	—	—	—	—	78	—	22 1/2
	Всего	Всей.	—	—	—	—	100	—	100
ВСЕГО по отделам:	Без тепл.	6	33	3 1/2	7	—	50 1/2	—	
	С тепл.	4	24 1/2	2 1/2	—	21	—	48	
		—	—	—	—	—	—	—	

П р и м е ч а н и я: 1) Вычислено на основании данных статьи Q. W.
2) Вычислено по данным A. G. Darling and H. W.

циям для комбинированной бумажной фабрики в $\frac{\text{°}}{\text{°}} \frac{\text{°}}{10}$.

ТЕПЛЫЕ ЦЕЛИ.										Тепловые процессы.		ИТОГО % от всей энергии.	
Основные.			Вспомогательные.							Производ.	Вспомогат.		
Всего.			Волокнистые.	Механич. мастерск.	Котельная.	Электричество.	Итого на силу.			Варка, сушка и пр.	Сверх того отопление фабрики.	Без отопления.	С отоплением.
Механическ.		Всей.					Меха-нич.	Всей.					
русск.	амер. 1)							русск.	амер. 2)				
75	75	—	—	—	—	—	46 $\frac{1}{2}$	—	—	—	—	—	
—	—	37 $\frac{1}{2}$	—	—	—	—	—	37 $\frac{1}{2}$	42 $\frac{1}{2}$	—	—	37 $\frac{1}{2}$	30
3	—	—	—	—	—	—	24	—	—	—	—	—	
—	—	1 $\frac{1}{2}$	6 $\frac{1}{2}$	—	11 $\frac{1}{2}$	—	—	19 $\frac{1}{2}$	19	—	—	19 $\frac{1}{2}$	15 $\frac{1}{2}$
6	11 $\frac{1}{2}$	—	—	—	—	—	3 $\frac{1}{2}$	—	—	—	—	—	
—	—	3	—	—	—	—	—	3	2 $\frac{1}{2}$	—	—	3	2
10	8 $\frac{1}{2}$	—	—	—	—	—	7	—	—	—	—	—	
—	—	5 $\frac{1}{2}$	—	—	—	—	—	5 $\frac{1}{2}$	5	—	—	5 $\frac{1}{2}$	4
6	14 $\frac{1}{2}$	—	—	—	—	—	3 $\frac{1}{2}$	—	—	—	—	—	
—	—	3	—	—	—	—	—	3	9	—	—	3	2 $\frac{1}{2}$
—	1 $\frac{1}{2}$	—	—	5 $\frac{1}{2}$	—	—	15 $\frac{1}{2}$	—	—	—	—	—	
—	—	—	—	—	—	7	—	12 $\frac{1}{2}$	3	19	27	31 $\frac{1}{2}$	10
100	100	—	—	—	—	—	100	—	—	—	—	100	—
—	—	50 $\frac{1}{2}$	6 $\frac{1}{2}$	5 $\frac{1}{2}$	11 $\frac{1}{2}$	7	—	81	81	—	—	100	64
—	—	49 $\frac{1}{2}$	—	—	—	—	—	19	19	—	—	27	15
—	—	100	—	—	—	—	—	100	100	—	—	127	100
100	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
100	100	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
—	50 $\frac{1}{2}$	6 $\frac{1}{2}$	5 $\frac{1}{2}$	5 $\frac{1}{2}$	11 $\frac{1}{2}$	7	—	—	—	19	—	100	—

Leeper—Electricity in the Paper Mill, „Paper“ 1922, № 7 стр. 24.
 Rogers—Power Used In Papermaking, id стр. 20.

Табл. IV.

1,0 НР	для	тряпичной полумассы.
1,3	„ „	бел. др.в. массы.
0,275	„ „	целлюлозы.
0,1	„ „	полумассы из бумажных обрезков.
0,61	„ „	бумаги.
1,43	„ „	из своих полупродуктов.

Полагая по табл. V расход энергии на тепловые процессы в килограммах пара на 1 пуд.¹⁾):

Табл. V.

На варку тряпки.	18,9	кгр.
„ „ сульфитн. целлюлозы.	42,0	„
„ сушку бумаги	57,5	„
„ мелкие процессы.	2,5	„

И приняв среднюю композицию 100 пуд. бумаги из 53 пуд. целлюлозы, 43 пуд. др.в. массы, 9 пуд. тряпья и остальное—бум. срывки и обрезки, найдем, что на каждые 100 пуд. бумаги комбинированная бум. фабрика при нормальных условиях, т.е. исправности оборудования и полной нагрузке, должна потреблять до 200 пуд. 7000 калорийного топлива, при испльзовании отработанного пара.

Исходя из этой цифры, согласно с выводами табл. 1, приходится считать 1/5 отсюда на тепловые процессы, а половину остатка, именно 80 пудов на операции измельчения.

Предположив, что тем или иным способом удалось бы уменьшить расход силы на измельчение лишь на 1%, то при современной выработке в 3 милл. пудов в год это дало бы экономию топлива, достаточную для выработки 12.000 пуд. бумаги из своих полупродуктов, включая и их производство.

Для разрешения такой благодарной задачи, как экономия сил природы (исчислено, что при существующей тенденции истребления топлива всех его видов, имеющихся в распоряжении человечества, хватит лишь на 300 лет), всякое средство должно быть использовано. Практикам в этом смысле необходимо развить в себе взгляд на производственное предприятие, как на единый сложный механизм—аппарат, что далеко еще не имеет широкого распространения. Хотя ведь никому не приходит в голову рассматривать иначе как в целом конструктивное сочетание так назыв. „простых машин“ (рычаг, ворот) в сложный механизм, машину-орудие, автоматически производящее от одного привода самые причудливые изделия; однако, фабрика или завод, представляющие комбинацию машин-орудий и аппаратов, почему-то до сего времени не удостоиваются такого отношения. А между тем здесь,

¹⁾ По С. А. Фотиеву „Использов. отраб. пара в бум. произв.“. Писчебум. Дело № 3, 1915 г.

при рассмотрении предприятия в целом, обнаруживаются потрясающие вещи. Напр. оказывается, что из всей тепловой энергии брутто, получаемой в топках паровых котлов, до рабочего канта орудия, воздействующего на материал, доходит и претворяется в желаемый эффект лишь 5%, остальное исчезает бесследно (Из докл. проф. Н. Ф. Черновского, чит. в Центр. Физ. Педагог. Институте, Москва, в 1921 г.). Вот в чем заключается главная язва современной механизации. Полезная работа машин-орудий в некоторых производствах (прядильное) настолько несоизмеримо—мала сравнительно с потерями на вредные сопротивления, что без особой погрешности можно принять их коэффициент полезного действия равным нулю. Конечно, на помощь надо привлечь целесообразную реконструкцию машин, уменьшение трения, разных потерь, использование потерь энергии, рационализацию силовых станций и передач. Но, если это по тем или иным причинам, наименее средств, приходится отложить „в долгий ящик“, то правильная эксплуатация, даже при несовершенной конструкции машины, может дать заметный эффект. Ибо малая экономия в расходе полезной работы и сама по себе в несколько раз увеличивается по направлению к топке котла и, кроме того, в некоторой степени уменьшает и работу вредных сопротивлений, которые с известного момента могут рассматриваться как функции полезной работы.

Для указания правильных приемов эксплуатации, практику на помощь должна придти теория, которая имеет своей задачей установить пределы практических возможностей.

Теоретические идеальные пределы для затрат и результатов могут быть установлены экстраполяцией опытных данных, если таковые имеются и носят закономерный характер. Но опыт сам по себе требует некоторого предварительного плана, в основе коего заключаются уже интуитивные предпосылки, хотя бы самого общего характера, сделанные для самых упрощенных условий. Только такой метод—выделения из массы обстоятельств, сопровождающих явление в действительности, малого числа главных факторов—позволяет сделать сопоставление их в наглядной формуле, выражающей зависимость между ними—теоретические формулы. Далее целесообразно поставленный опыт, возможно близко воспроизводящий упрощенные условия формулы,—служит проверкой их правильности; при этом может обнаружиться слишком заметное влияние условий, отнесенных к второстепенным, и вообще—все необходимые поправки и дополнения. Более или менее удачным использованием указаний опыта теоретические формулы могут быть преобразованы в эмпирические, которые уже позволяют руководствоваться и при практической работе. Интуиция, необходимая для правильной удачной догадки при выделении главного, в свою очередь обычно не есть „откровение свыше“, а получается как результат внимательного наблюдения внешних фактов при тесном соприкосновении с действительностью.

Эмпирический анализ накапливает эрудицию—запас знаний отдельных фактов,—развивая интуицию, догадку, и приводя к индуктивно-дедуктивному синтезу—обобщающим выводам; последние уточняют приемы эксперимента и определяют ему более целесообразное направление, и снова повторяется все сначала.

В чередовании этих двух методов и заключается медленный, но верный способ достижения истины.

Учитывая неизбежность процессов измельчения в производстве бумаги и первенствующую их роль в потреблении энергии, вполне целесообразно изучение теоретической технологии бумаги начать с рассмотрения этих процессов и в частности с дефибрирования (в узком смысле) дерева, т. е. получения механическим путем из него волокнистой бумажной массы—„механической древесной массы“. (Holzschliff, Holzstoff; Grinding pulp, Ground pulp; pâte mécanique). Механическая древесная масса в композиции современных бумаг занимает первое место. Мировое производство бумаги уже в 1915 г. достигало 10 милл. тонн. Если принять по Kirchner'у (Das Papier, II, стр. 20), что на изготовление их требуется полумассы франко ролл:

Тряпичной	18%
Соломен. целлюлозы	3%
Желто-соломен	13%
Древесной-целлюл	28%
Мех. древесной	36%
Бумажный брак	2%

то мировое производство механической древесной массы надо считать в 3,6 милл. тонн. Близкая цифра получается и у В. Н. Доливо-Добровольского (ор. cit. стр. 16), именно для 1908 г. по 8 главным странам 201,5 мил. пуд. или 3,3 мил. тонн. Если же основываться на новейшей американской статистике, (Paper, 1922) то оказывается, что „80—90%“ всей вырабатываемой в мире бумаги производится из дерева“, на что требуется от 4,5 до 5 милл. тонн механической древесной массы и от 3,5 до 4 милл. тонн древесной целлюлозы.

Причины такого колоссального применения древесины в качестве сырья для бумажных масс заключаются в наличии и доступности значительных запасов леса и в относительной несложности его переработки. Последнее особенно относится к производству механической древесной массы, и это в связи с развитием ежедневной прессы, требующей огромного количества дешевой бумаги, привело к тому, что скромное изобретение F. G. Keller'a (1848 г.)—„суррогат“ тряпичной полумассы, в виде измельченной с водой на жернове древесины, в настоящее время занял первое место среди основных материалов бумажного производства.

Первоначально механическая древесная масса вырабатывалась водяной силой. Но привычка к новому материалу несомненно дала импульс к чрезмерному увеличению его выработки и вызвала такое тех-

механически и экономически уродливое явление, как производство механической древесной массы паровой силой на отдельных специальных заводах, вырабатывающих ее в виде сушеной папки.

Это очень показательный пример недостаточности одной интуиции: изобретение было сделано „на ощупь“, практически опробовано, привнеслось, и дальше — работа „в темную“, без всякого отчета, насколько она целесообразна и рациональна.

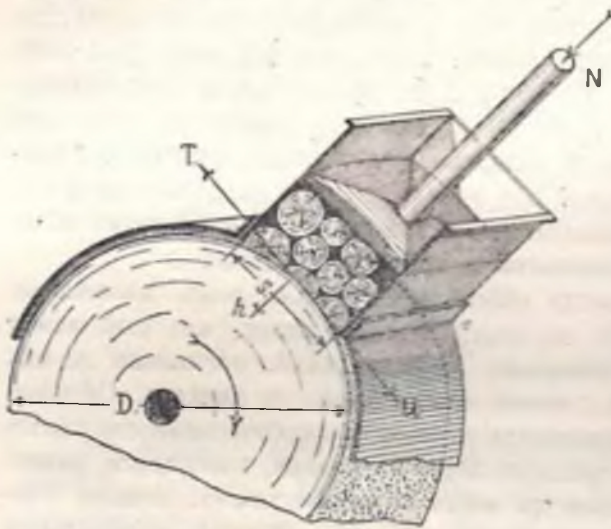
Естественно, что внимание теоретика-технолога устремляется на этот продукт, количество и качество коего требуют ныне не только большой затраты механической энергии, но и топлива, одной из важнейших материальных ценностей человечества. Является острая потребность, если уже и не исправления содеянных раньше ошибок, то хотя бы предупреждения их повторения в будущем и указания пути для наиболее правильной постановки дела механического производства древесной массы. Опытное исследование этого вопроса имеет уже свою историю. Назовем работы Kirchner'a с его лабораторным дефибрером, труды Канадской лаборатории и др. Получен обширный цифровой материал, собраны большие и полезные для практики замечания и наблюдения, изобретены приборы для оценки степени размельчения и т. д. Но при ближайшем ознакомлении с результатами опытов легко обнаружить в них и несогласованность и даже противоречивость.

Так бывает всегда, когда опыт имеет целью лишь накопление фактов, но еще не ведется по определенному плану, который может дать только теория. Теоретических же обобщений, насколько до сих пор удалось ознакомиться с новой литературой, не имеется. Объяснение этого, повидимому, заключается отчасти в многочисленности обстоятельств, участвующих в процессе дефибрирования, кажущихся равноценными и дающих уравнение со многими неизвестными, отчасти в отсутствии той или иной руководящей рабочей гипотезы, необходимой для упорядочения и сортировки этих обстоятельств.

Идея обратимой трансформации энергии в форму (см. этюд 1) кажется здесь вполне применимой и дающей возможность при целом ряде допущений, ограничений и упрощений, как это всегда неизбежно для теории, вывести аналитическую зависимость между главными факторами и результатами процесса дефибрирования.

Дефибрирование (в узком смысле) есть главная операция производства механической древесной массы. Она имеет целью измельчение целых агрегатов древесины на массу волокнообразных частиц, требуемых для выработки бумаги размеров. Машина, выполняющая эту операцию, называется дефибрер; орудием здесь служит цилиндрический камень из песчаника диаметром около 1,5 м. и шириной до 1,2 м., вращающийся на горизонтальной, реже на вертикальной оси. Цилиндрическая поверхность камня является рабочей, воздействующей поверхностью, роль подносящей поверхности исполняют сами измельчаемые куски дерева. Дерево, так наз. б а л а н с ы, круглый лес от 10 до 25

см. в диаметре, очищенное от сучьев, коры и лубяного слоя вручную или на специальных корообдирочных машинах, распиленное на поленья длиной соответственно ширине камня, загружается в чугун. коробки J (фиг. 3), укрепленные к станине дефибрера и снабженные приспособлением N для продвижения и надавливания дров к поверхности камня. При вращении жернова выступающие на рабочей его поверхности зерна кварца процарапывают прижатые к ней в коробках поленья, отдирая и соскабливая затем пучки естественных древесинных волокон; причем камень в той или иной степени смачивается водой, размягчающей древесину и предупреждающей ее возгорание. В результате операции и получается, собственно говоря, готовая древесная масса, в виде более или менее густой кашицы, но обычно состоящей



Фиг. 3.

из очень разнородных по форме и размерам частиц от мелкой древесной пыли до крупных щепок, отчасти совершенно негодных для изготовления бумаги. Для качественного исправления полученной массы служат последующие корректирующие и дополнительные операции—сортировка годных частиц и раффинирование (повторное доизмельчение) непригодных, при чем отсортированная часть массы в дальнейшем обращается в товарный вид удалением

воды и, в случае надобности, формованием на папочной машине и иногда сушкой. Из этого беглого перечня операций древесного производства легко убедиться, что центральным его моментом является именно дефибрирование. Современные американские заводы древесной массы ставят себе целью получение вполне готовой бумажной массы из дерева только при помощи дефибрера без перечисленных выше операций. Европейская промышленность консервативно придерживается все же этой схемы производства, предложенной еще Voelter'ом, первым реализатором изобретения F. G. Keller'a.

Но от этого значение операции дефибрирования несколько не уменьшается; наоборот, всякое улучшение работы дефибрера и здесь наглядно сокращает и размер дополнительного оборудования (сортировок, раффинеров, насосов) и затраты на их эксплуатацию и содержание.

Поставим себе задачей найти теоретическую связь между расхо-

дом энергии Э на дефибрирование дерева, количеством производимой измельченной массы П и другими обстоятельствами, участвующими в процессе.

Эти последние Kirchner (Das Papier III A, стр. 57) разделяет на две группы: а) твердо заданных или определенно выбранных и б) устанавливаемых произвольно. В виду большого числа указанных обстоятельств и необходимости их рассортировки по важности их участия в процессе, представляется полезным остановиться на их классификации и развить ее более детально. Прежде всего, вспоминая схему производства (фиг. 1, „эт.“ 1), и придерживаясь тех же обозначений, будем рассматривать, кроме сырья С—в данном случае материальных дров в коробке дефибрера, энергию Э—механическую нетто, т.е. лишь то количество ее, которое доходит до воздействующей поверхности орудия и обращается в желаемый эффект измельчения целого; и, наконец, к, рабочую часть машины, непосредственно воздействующую на сырье, изнашивающуюся в процессе производства, и являющуюся приемщиком и передатчиком механической энергии к сырью, которая в отличие от других видов энергии, не может быть сообщенной простым контактом. Фактор труда—на основании соображений вступительного „этюда“ (№ 1 Бум. Пром.) исключается из рассмотрения. Индивидуальные свойства этих факторов, поскольку последние уже нами выбраны или даны заранее,—далее уже не зависят от нашей воли, их можно принимать как константы процесса, хотя бы в известных пределах они и имеют способность претерпевать изменения. Сюда относятся в нашем случае:

для сырья С—порода дерева (ель, осина...),
возраст,
содержание влаги,
плотность (удельная масса),
цвет древесины,
твердость и, вообще, механич. сопротивление,
сучковатость,
однородность этих свойств,
форма полн (круглые, колотые, кантованные),
часть ствола (ядро, заболонь);
Для энергии Э—род энергии, здесь—механическая
мощность
постоянство потока энергии;

Для орудия к—каменного жернова—порода камня
зернистость,
характер зерен,
плотность (удельная масса),
твердость и др. механич. свойства,
связующее зерна вещество.

Все указанные обстоятельства определяются раз навсегда одновременно с конкретным выбором каждого из факторов; например, приобретя жернов известной фирмы и марки, мы тем самым связываем себя принадлежащими этой марке свойствами—числом зерен на кв. см., твердостью и т. п., которые изменить уже не в нашей власти. Но кроме выбора пригодного обстоятельства воля человека может осуществляться в пространственном перемещении вещественных объектов в целом или их отдельных элементов и в повременном распорядке явлений, событий и действий, совершаемых им непосредственно или при помощи использования для этого какого-либо естественно протекающего процесса. Эти обстоятельства относятся ко второй группе Kirchper'a—устанавливаемых произвольно. Они представляют сочетание основных факторов:

1. к—Э Наконка поверхности камня к, передающей энергию Э,
2. Э—к Скорость вращения, т.е. элемент энергии Э камня к,
3. к—С Площадь соприкосновения камня к и дерева С,
4. С—к Взаимное расположение волокон дерева С и пути режущих зерен камня к (поперечное, диагональное, продольное),
5. Э—С Давление в прессах, как часть энергии Э, на дерево С,
6. С—Э Противодействие дерева С, зависящее от направления давления по отношению к центру камня.

Количество подводимой к спрыскам воды относится к этой же группе, но умышленно оставляется без внимания, как особый качественный фактор.

Легко заметить, что (3) и (4), как сочетание вещественных факторов вполне пространственного характера допускают изменения и места и направления при неизменности во времени; (1) и (6), представляющие наполовину вещественные обстоятельства (К, С), наполовину нематериальные (Э) предоставляют возможность перемены распорядка во времени, причем в (1) можно изменять лишь место, при постоянном направлении, а в (6)—направление при сохранении места; наконец (2) и (5)—отличаются наибольшей количественно гибкостью во времени вполне независимо от места и направления.

Произведенный анализ обстоятельств, сопровождающих процесс дефибрирования, значительно облегчает и его упрощение, необходимое для теоретических выкладок, и выбор главных переменных, которые желательно связать формулой, приняв другие величины за постоянные.

Пространственные перемещения обстоятельств относятся всецело к области конструирования и для первого приближения к разрешению теоретической задачи могут быть приняты за постоянные; таковы (3) и (4). Повременный распорядок (1) и (6) может изменяться главным образом при эксплуатации машины, это должно составлять заботу техники производства. Для целей теории представляют наибольший

интерес (2) и (5) и в них, как подсказывает догадка, кроются главные корни, определяющие все прочие условия.

Чему же из этих двух отдать предпочтение и что принять за независимый аргумент? Обычно останавливаются на скорости вращения камня ω , так как эффект измельчения наглядно связан с скользящим действием T кгр. зерен и кантов его рабочей поверхности. Но если вдуматься в явление глубже, то отчетливо выявляется значение силы N , прижимающей дерево к камню с давлением

$$\frac{N}{F} = \eta \frac{\text{кгр.}}{\text{см}^2}.$$

Действительно, одним лишь вращением камня свободно касающееся с его поверхностью полено нельзя даже слегка поцарапать, не то что измельчить; измельчение начинается лишь при наличии давления. Давление же само по себе является достаточным фактором для разрушения и при неподвижном камне, при его определенной величине (для ели, напр., при сжатии вдоль волокон уже при 155

$$\frac{\text{кгр.}}{\text{кв. см.}}$$

начинается скрытое разрушение, а при 280

$$\frac{\text{кгр.}}{\text{кв. см.}}$$

обнаруживаются и явные признаки). Роль вращения — увеличение воздействующей поверхности и удаление измельченной массы (для последнего рабочая поверхность снабжается углублениями — бороздками при помощи специальных молотков и роликов с острыми выступами). Первопричина дефибрирования, а следовательно и источник всех успехов и неудач, определенно заключается в давлении.

Итак будем искать выражение относительной производительности дефибрера, т. е. выхода g кгр. с единицы затрачиваемой энергии A при выработке G кгр.

$$g = \frac{G}{A} \dots \dots (I)$$

приняв за независимую переменную давление η .

Оговоримся, что сначала рассмотрим вопрос лишь с количественной стороны, обозначая G кгр. брутто, качественные же поправки и рассмотрение обстоятельств, влияющих на качество древесной массы, составит особую главу. Затем под A будем подразумевать лишь то количество механической энергии, которое идет на преодоление полезных сопротивлений, энергию нетто, франко поверхность измельчаемых дров. Далее — удобно длительность времени привести к 1 секунде, и во время вывода принять (см. сек. гр.) систему измерений, не забывая, что практически силы измеряются весовыми единицами. Таким образом, измерение искомого g есть частное от деления измерения

g — $\frac{\text{гр.}}{\text{сек.}}$ на измерение энергии $\frac{\text{гр. кв. см.}}{\text{куб. сек.}}$, т. е.

$$\frac{G \frac{\text{гр.}}{\text{сек.}}}{A \frac{\text{гр. кв. см.}}{\text{куб. сек.}}} = g \frac{\frac{\text{гр.}}{\text{сек.}}}{\frac{\text{гр. кв. см.}}{\text{куб. сек.}}} = g \frac{\text{кв. сек.}}{\text{кв. см.}} \dots \dots (II)$$

Введем следующие обозначения, кроме упомянутых выше:

$h \frac{\text{см.}}{\text{сек.}}$ — скорость подачи в прессах, k — число прессовых коробок, $F \text{ см}^2.$, $\delta \text{ см.}$, $s \text{ см.}$ — площадь, ширину и длину поверхности соприкосновения дерева и камня, γ — коэффициент плотности укладки дров в коробках, $v \frac{\text{кб. см.}}{\text{сек.}}$ — объем истертого дерева в 1 сек., $G \frac{\text{гр.}}{\text{сек.}}$ массу (вес) его, $\gamma \frac{\text{гр.}}{\text{кб. см.}}$ — плотность (удельную массу) дерева, $p \frac{\text{гр.}}{\text{см}^2.}$ — предельное, временное сопротивление древесины сдвиганию, срезанию или соскабливанию, $D \text{ см.}$ — диаметр камня.

Согласно нашему условию можем написать, что для каждой коробки работа подающей, нормальной ¹⁾ к камню силы N на пути h в 1 секунду равна работе полезного сопротивления T , касательного к цилиндрической поверхности камня на пути $u \text{ см.}$ в сек.

$$N \cdot h = T \cdot u.$$

но $N = h \cdot F \cdot p$, и $T = p \cdot F$, следовательно
 $n F h = p F u$, сокращая на F , найдем

$$p = \frac{h}{u} n$$

обозначив отношение $\frac{h}{u}$ через φ , получим

$$p = \varphi \cdot n \dots \dots \dots \text{(III)}$$

Величина φ отвлеченная и называется по немецки Schleifkoeffizient; мы назовем его модулем относительной производительности дефибрера, (Relativeleistungsmodul), если φ постоянно, то между p и n , равно и между T и N , имеется связь как в обыкновенном явлении скользящего трения по закону Coulomb'a. Вообще же φ здесь может быть и переменно.

Действительно, с увеличением прижимающей силы N происходят следующие явления:

- 1) Дерево упруго-противодействует сжатию—пружинит;
- 2) Острия зерен и кантов упруго вдавливаются в поверхность камня.
- 3) Режущие элементы камня производят пластические деформации в поверхности дерева.
- 4) Наконец, дерево раздавливается на части.

Последнее при дефибрировании не имеет места; при (1) φ можно считать постоянным, как при простом трении; при (2) скольжение

¹⁾ Для простоты рассмотрим пока случай, чаще встречающийся в конструкциях дефибрера.

происходит с упругим препятствием, вроде трения качения, и величина φ должна получить иное значение; при (3), когда появляется врезание, разрезание и скобление, опять для φ надо ожидать новое значение.

Полезная работа одного пресса в 1 сек. выразится через φ так:

$$A = Tu = \varphi. N \text{ и } \varphi. n. F. u$$

а для k прессов $A = \varphi. n. k. F. u \dots \dots \dots$ (IV)

Найдем выход G в 1 сек; он равен для 1 пресса

$$\begin{aligned} G_1 &= \gamma. v = \gamma. h. F, & \text{а для } k \text{ прессов} \\ G_0 &= \gamma. h. F. k \end{aligned}$$

при идеально плотной укладке окантованных дров в коробки ($\eta=1$) практически $\eta < 1$ и следовательно.

$$G = \eta. \gamma. h. F. k. \dots \dots \dots$$
 (V).

Деля (V) на (IV) получим:

$$g = \frac{\eta. \gamma. h. F. k.}{\varphi. n. k. F. u.} \cdot \frac{\eta. \gamma}{n} \dots \dots \dots$$
 (VI).

Это выражение для относительной производительности с первого взгляда поражает своей неправдоподобностью. Но если заметить, что $n = \frac{p}{\varepsilon}$ (из III), при чем равно лишь в идеальном случае, ибо практически оно должно быть хотя немного больше, т.-е. $n > \frac{p}{\varphi}$ и следовательно имеет в значении $\frac{p}{\varphi}$ свой минимум, определяемый механическими свойствами дерева p и модулем дефибрера φ , — тогда формула (VI) получит вид:

$$g \leq \frac{\eta. \gamma. \varphi.}{p} \dots \dots \dots$$
 (VII),

откуда видно, что выражение VI представляет собой не функциональную связь g и n , а лишь наибольшее частное значение этой, пока неизвестной, функции:

$$g \text{ max} = \frac{\eta. \gamma. \varphi \text{ max}}{p}$$

Путем рассуждений, аналогичных с объяснением физического смысла разрывной длины (удельной энергии разрыва) $C = \frac{n}{\gamma}$, легко убедиться, что и здесь можем говорить о постоянной для выбранного дерева удельной энергии срезания или скобления, именно $\varepsilon = \frac{p}{\gamma}$, следовательно

$$g \text{ max} = \frac{\tau_1}{\varepsilon} \varphi \dots \dots \dots \text{(VIII)}$$

Так как τ_1 и ε могут считаться практически постоянными, вследствие их малых колебаний, (VIII) и объясняет предлагаемое нами название для φ .

Интересно определить размерность φ . По (II)

$$[g] = \left[\frac{T^2}{L^2} \right]$$

τ_1 — отвлеченное число; для ε можно взять либо размерность (L) как некоторой высоты, при которой происходит сдвигание древесины от собственного ее веса (подобно разрывной длине), или на основании соображений, высказанных в первом „этюде“ размерность $[\varepsilon] = \left[\frac{L^2}{T^2} \right]$

При первом для φ получим размерность

$$[\varphi] = \left[\frac{T^2}{L^2} \right] \cdot [L] = \left[\frac{T^2}{L} \right]$$

обратно размерности ускорения $\left[\frac{L}{T^2} \right]$ и может рассматриваться как уп- рочнение древесины при ее прессовании.

При втором $[\varphi] = \left[\frac{T^2}{L^2} \right] \cdot \left[\frac{L^2}{T^2} \right]$; имеем отвлеченное число без всякой размерности. Теперь легко объяснить второй максимум для g , наблюдавшийся Kirchner'ом при его опытах, с увеличением давления n . При первом максимуме φ имеет свое наибольшее значение, т.е. естественное сопротивление древесины в этот момент целиком исчерпывается. Но дальше, с увеличением n , на сцену выходит пассивный фактор сохранения целости — пластическое приспособление; дерево уплотняется, принимает новый, уже искусственный вид, и в свою очередь начинает проявлять активное сопротивление до второго максимума. Здесь исчерпывается и новый запас энергии сопротивления, который, как видим, мы же сами и сообщили дереву, перейдя первый максимум. Энергия, направляемая для разрушения, произвела эффект упрочнения, и вновь приходится тратить драгоценную силу, чтобы уничтожить то, что произошло от нашего непонимания сущности дела. Kirchner эмпирически рекомендует второй максимум тогда, когда сила дешева (Or. cit, стр. 238), но наша теория определенно указывает: второй максимум есть аттестат нашей технической незрелости.

Полученное выше выражение (VII) дает близкие к опытным данным Kirchner'а результаты лишь для наименьших величин давления n ; так, приняв $\tau_1 = 0,8$, $\gamma = 0,8$ ¹⁾ для $n = 275$ гр.: кв. см., при расходе работы найдем для G в 1 сек.:

¹⁾ У Kirchner'а $\eta = 1$; мы принимаем $\eta = 0,8$ и $\gamma = 0,8$ как дающие среднее значение $\eta\gamma = 0,64$; можно, вообще говоря, уменьшить до 0,57.

$$G = A g \max = \frac{0,8,0,8}{275} \cdot \frac{6.7500,000 \text{ кгр. см.}}{86400 \text{ сек.}} = 1,21 \frac{\text{гр.}}{\text{сек.}}$$

тогда как при тех же данных Kirchner получил 108 кгр. сухой массы в сутки, т.-е. в секунду 108.000 гр.: (24.60.60)=

$$= 108000 : 8640 = 1,25 \frac{\text{гр.}}{\text{сек.}}$$

Но с увеличением n без необходимости можно ожидать, что в (VII) увеличится при сжатии (пластическое уплотнение древесины), а от смазки более жирной массой, как показывают опыты, уменьшается. В свою очередь интенсивность сопротивления древесины p может также измениться, и практически формула VII уже не даст согласованных результатов с экспериментальными данными.

Теоретическая формула может быть заменена „на глаз“ эмпирической, напр.

$$g = \frac{\eta \gamma}{100 \sqrt{\lg n}} \dots \dots \dots (IX)$$

Вычисляя по ней $G = Ag$ найдем:

для $n = 650$ гр./кв. см.	$G = 330 \frac{\text{кгр.}}{24 \text{ ч.}}$	или	$3,8 \frac{\text{гр.}}{\text{сек.}}$
против опытных:	$G = 325$	"	" 3,7 "
для $n = 2000$ гр./кв. см.	$G = 915$	"	" 10,6 "
против опытных:	$G = 820$	"	" 9,6 "

(см. Kirchner, Das Papier III A, стр. 228 и 238).

Но, как видно отсюда, согласование не так уже хорошо, да и самый способ преобразования теоретической формулы в эмпирическую по догадке, нельзя считать широко применимым.

Поэтому лучше и надежнее в этих случаях обращаться к всегда готовому услужить нам другу—математике.

Как уже было замечено, (VII) есть частное значение, максимум, некоторой функции. Вот эту то функцию и предстоит нам определить.

У нас, следовательно, имеется максимальное значение искомой функции $y = f(x)$ при определенном давлении $n = \frac{p}{\rho}$

$$g_{\max} = \frac{\eta \gamma}{n}$$

Признак максимума:

$$\left. \begin{array}{l} \left[\frac{dy}{dx} \right]_{x=n} = 0 \\ \left[\frac{d^2y}{dx^2} \right]_{x=n} < 0 \end{array} \right\} X$$

Обозначив для краткости $\eta\gamma$ через a , получим:

$$y = \frac{a}{x}$$

$$\left. \begin{aligned} \frac{dy}{dx} = -\frac{a}{x^2} \text{ и } \left[\frac{dy}{dx} \right]_{x=p} = -\frac{a}{p^2} < 0 \\ \frac{d^2y}{dx^2} = \frac{2a}{x^3} \text{ и } \left[\frac{d^2y}{dx^2} \right]_{x=p} = \frac{2a}{p^3} > 0 \end{aligned} \right\} \text{ XI}$$

Чтобы согласовать (XI) и (X), т. к. a и p положительны, надо принять:

1. $\frac{dy}{dx} = c - \frac{a}{x^2}$, где $c = \frac{a}{p^2}$

2. $\frac{d^2y}{dx^2}$ была бы отрицательна; для этого следует в выражении

$\frac{dy}{dx}$ вместо минуса взять плюс:

$$\frac{dy}{dx} = \frac{a}{x^2} - c \text{ или } dy = \left(\frac{a}{x^2} - c \right) dx$$

интегрируя, отсюда получим

$$y = -\frac{a}{x} - cx + c_1 = c_1 - \frac{ax}{p^2} - \frac{a}{x} = c_1 - a \left(\frac{x^2 + p^2}{p^2x} \right)$$

При $x = p$ по условию $y = g$ т.е.

$$[y] = g \text{ т.е. } = c_1 - a \frac{[p^2 + p^2]}{p^3} = c_1 - \frac{2a}{p}$$

у нас $g \text{ т.е. } = + \frac{a}{p}$, следовательно

$$c_1 = \frac{3a}{p} \text{ и окончательно}$$

$$y = \frac{3a}{p} - a \left(\frac{x^2 + p^2}{p^2x} \right) = \frac{a}{p} \left(3 - \frac{p^2 + x^2}{px} \right) \dots \text{ (XII)}$$

или $y = \frac{\eta\gamma}{p} \left(3 - \frac{p^2 + x^2}{px} \right)$, но $p = \frac{p}{\varphi} = \frac{pu}{h}$ следов. окончательно:

$$y = \frac{\eta\gamma}{up} \left[3h - \frac{u^2p^2 + h^2x^2}{upx} \right] \dots \text{ (XII bis)}$$

Это и есть искомое выражение зависимости относительной производительности y дефибрера от имеющегося давления между деревом и камнем, связывающее и другие обстоятельства процесса, которые здесь являются постоянными. Найдем пределы x , ниже которых производительность отрицательна, т.е. совсем не существует; приравним (XII) нулю:

$$\frac{a}{n} \left(3 - \frac{n^2 + x^2}{nx} \right) = 0 \text{ или}$$

$$x^2 - 3nx + n^2 = 0$$

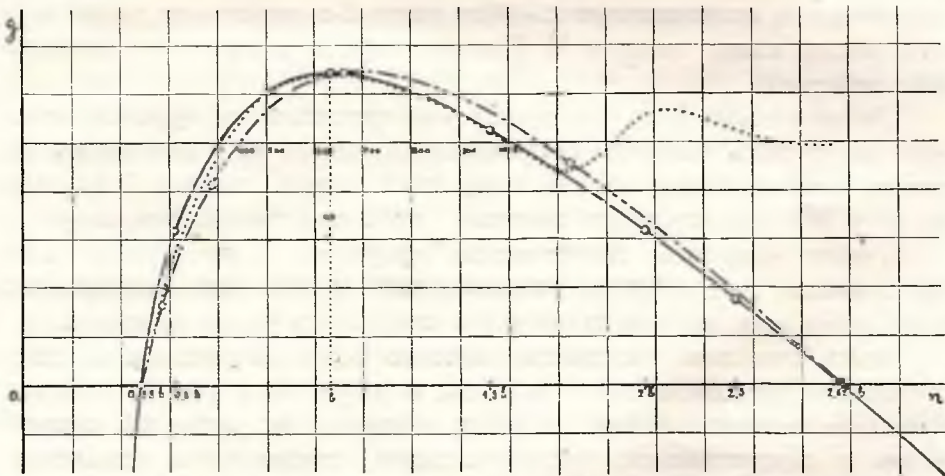
$$x = \pm \frac{3}{2} \cdot n \pm \sqrt{\frac{9}{4} \cdot n^2 - n^2}, \text{ откуда}$$

$$x_1 = 0,38 n$$

$$x_2 = 2,62 n$$

Выражая x в долях n и приняв для n определенный масштаб, можем построить по точкам кривую, определенную уравнением (XII).

Как видно из фиг. 4, эта кривая близка по форме к эмпирической кривой Kirchner'a, нанесенной прерывн. линией в том же мас-



Фиг. 4.

штабе. Для сравнения пунктиром она же изображена в соответствующем совмещении полностью, причем виден и второй ее максимум.

Такое близкое согласование теоретической кривой с эмпирической свидетельствует о правильности нашего вывода и его предпосылок.

Опытами Kirchner'a определены пределы для максимума n в $300 \frac{\text{гр.}}{\text{кв. см.}}$ до $900 \frac{\text{гр.}}{\text{кв. см.}}$ в зависимости от марки камня.

(Ор. cit стр. 253). Наша кривая дает как раз среднее значение между этими пределами, имея максимум при $600 \frac{\text{гр.}}{\text{кв. см.}}$

Обращая внимание на размерность g (см. II.)

$[g] = \left[\frac{T^2}{L^3} \right]$ (целая функция второй степени от времени) легко убедиться, что вторая производная от g постоянна, т.е. $\frac{d^2y}{dt^2} = \frac{2a}{n^3} = \text{const}$, т.е.

постоянна и обратная ее величина, представляющая по размерности $\left[\frac{L^2}{T^2} \right]$ удельную энергию сопротивления измельчению $\frac{h^2}{2a}$, что (в общем введении“ мы это показали) соответствует ускорению разворачивания общей поверхности измельченных частиц.

Таким образом, рассмотренный частный случай измельчения— дефибрирование— вполне подтверждает нашу основную гипотезу.

В заключение не мешает лишний раз подчеркнуть, что теоретические формулы, как полученные для идеальных условий и при целом ряде упрощений, служат лишь для облегчения ориентировки в сложных вопросах действительности, помогают выяснению всех возможных влияющих факторов, намечают идеальные границы для практических достижений, вернее— устремлений, и при содействии опыта приводят к эмпирическим формулам, иной раз очень далеким от их теоретических прародительниц.—(Как напр. 2-е выражение плодотворного закона квант энергии М. Планка, выросшее из начала наименьшего действия).

Эмпирические формулы служат уже практическим орудием инженера, могут быть заменены графически кривыми, но и они имеют конечную долговечность до тех пор, пока новый опытный факт либо внесет в них основательную поправку, либо совершенно аннулирует.

Умение выводить теоретические формулы и преобразовать их при помощи целесообразно поставленных опытов или подобранных наблюдений есть могучее техническое средство в руках инженера.

Здесь отчетливо выясняется значение основ математики и естествознания, преподаваемых в В.Т.У.З., и захудалое в этом отношении положение технологических, особенно механических, отраслей, сравнительно с гидротехникой, электротехникой, строительной механикой, теплотехникой и химической технологией, выросших и развившихся на почве чистой теории, тогда как механическая технология, в частности бумажное производство, ведя свое происхождение от первобытных кустарных приемов по традиции, развиваясь практически, лишь в последние годы по-немногу начинает пользоваться достижениями теории для своих нужд.

Может быть и не плохо, что пока используются элементарные приемы теории, т. к. они и общедоступнее и грубость их легче позволяет обнаружить ошибку или несогласование с опытом, тогда как применение всего сложного арсенала теоретических наук иной раз слишком отрывает от жизни, такой еще самодовлеющей и не желающей считаться с успехами науки.

Ф. Бобров.