

Из заграничной литературы.

Сушка бумаги в вакууме.

Ogden Minton. („Paper Trade Journal“ № 7. 1924)¹⁾.

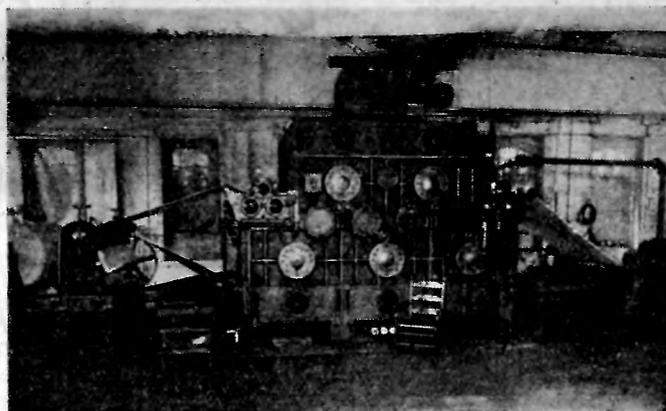
В своей работе в бумажной промышленности автор долго интересовался возможностью применения в сушильной части бумагоделательной машины принципа высушивания бумаги при высоком вакууме с сопутствующими ему результатами, каковы: низкая температура высушивания, увеличение удельной производительности высушивания и экономия в расходе тепла. Несколько лет он был занят серьезным изучением этой проблемы и опытами, в результате которых построил сравнительно небольшого размера вакуум-сушитель, успешно работающий в настоящее время. Этот вакуум-сушитель (см. фот. 1 и черт. 2) состоит из пяти обыкновенных сушильных цилиндров, диаметром 915 м/м. и длиной 1675 м/м., которые заключены в чугунную камеру. Эти пять цилиндров снабжены отдельными шерстяными сукнами с необходимыми ведущими, направляющими и натяжными валиками. Валы цилиндров проходят через чугунную камеру и снабжены сальниками, препятствующими воздуху просачиваться в камеру. Сукносушители также включены в установку. Вход и выход снабжены специальным приспособлением, которое позволяет бумаге входить в камеру и выходить из нее, но которое препятствует проникновению воздуха. Вакуум-камера соединена с конденсатором, а воздушный насос, соединенный с этим конденсатором, удаляет просачивающийся воздух.

При этой комбинации достигается вакуум в 711 м/м. ртутного столба, и бумага, содержащая 65% влаги, высушивается при скорости, превышающей 75 метров в минуту, скорости очень высокой, если принять во внимание малое число цилиндров.

¹⁾ В помещаемой, в переводе инж. К. Брейтвейта, безусловно интересной статье У. Минтона к сожалению не приведено точных экономических подсчетов выгоды применения нового метода сушки бумаги с учетом расходов, связанных с получением вакуума, т.е. расходов на установку и эксплуатацию конденсатора и вакуум-насоса. Принимая во внимание отсутствие этих данных, а также ярко сказывающееся в статье невольное авторское увлечение, редакция полагает, что к предлагаемому новому способу сушки следует отнестись с известной осторожностью и не делать преждевременных выводов.

Высушивание бумаги в вакууме представляет собой более простой процесс, чем способ высушивания, применяемый в настоящее время. В вакууме температура испарения должна соответствовать давлению водяного пара, которое равно величине вакуума. Теоретически мы имеем насыщенный пар, окружающий бумагу при температуре и давлении вакуума. По величине вакуума температура может быть всегда найдена из таблиц.

При сушке с вакуумом удельная производительность высушивания и коэффициент полезного действия сушки абсолютно не зависят от времени года и состояния погоды, потому что бумага высушивается не в присутствии воздуха, а в вакууме и при температуре, которая постоянна и не зависит от наружной температуры или влажности. Когда сырая бумага поступает в вакуум-сушитель, она приходит в

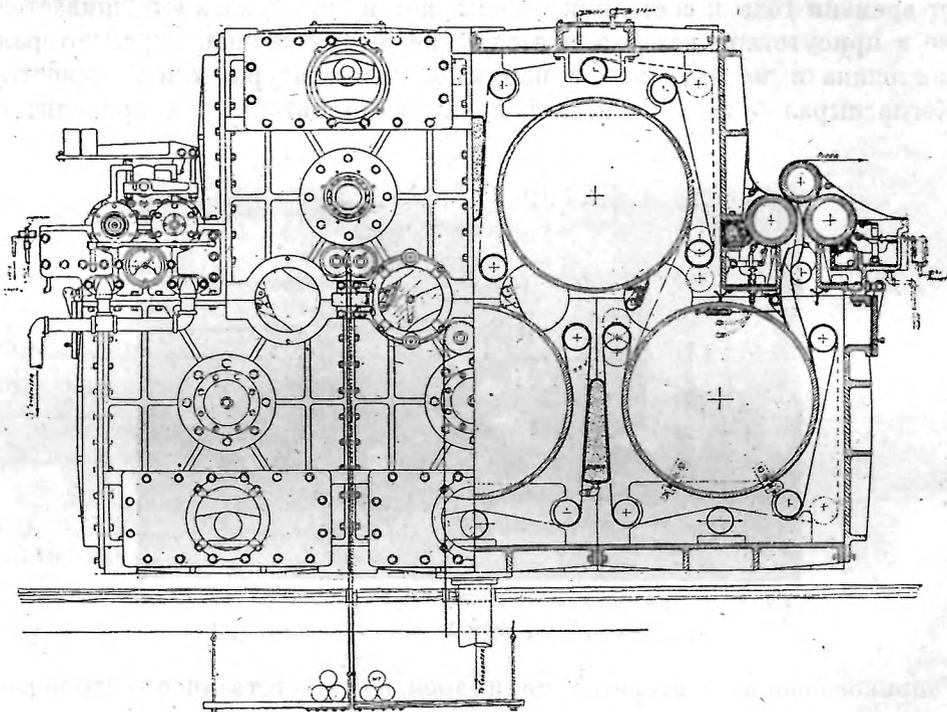


Фот. 1.

соприкосновение с нагретым цилиндром, и соответственное тепло передается воде в бумаге, таким образом ее температура повышается до температуры, соответствующей величине вакуума, который был достигнут. Количество потребного для нагревания тепла незначительно, и в большинстве случаев бумага достигает температуры испарения раньше, нежели она оставит первый или второй цилиндр. С этого момента удельная скорость испарения будет постоянна на всех цилиндрах. Бумага в момент перехода с одного цилиндра на следующий не будет ни принимать, ни отдавать тепло, потому что температура пара, окружающего бумагу в момент перехода, будет та же, как и температура испарения.

В вакуум-камере скорость и степень высушивания регулируются очень точно, потому что можно изменять не только давление пара внутри цилиндров, но также и величину вакуума. Путем увеличения или уменьшения величины вакуума условия высушивания немедленно изменяются, и нет задержек от ожидания охлаждения стенок цилиндров или их нагревания, как это происходит при совре-

менном типе бумажных машин. посредством простого приспособления величина вакуума может быть автоматически регулируема до 0,05 м/м. Возможно соединить это приспособление с другим,¹⁾ при посредстве которого влажность, содержащаяся в бумаге, оставляющей сушитель, будет регулировать вакуум. Это облегчит работу бумажного мастера при невозможности для него быстро иметь данные о том, насколько сыра или суха бумага, поступающая с прессов, и дает абсолютно однообразную влажность в бумаге.



Черт. 2.

Термический коэффициент полезного действия вакуум-сушителя должен быть высок — почти 100%. Цилиндры, заключенные в камере с высоким вакуумом, (который действует подобно термостату), отдают тепло только бумаге, которая находится в соприкосновении с ними; никакого воздуха, который мог бы поглотить и унести с собой тепло, здесь нет. Если, например, вакуум в 711 м/м. ртутного столба соответствует температуре высушивания или температуре испарения около 38° С, то отводимый пар будет той же самой температуры. В вакуум-камере будет, следовательно, та же температура. Если, как иногда случается в жаркий летний день, температура помещения была бы свыше 38° С, вакуум-камера приняла бы некоторое количество тепла из атмосферы

¹⁾ Например, регулятор „Агса“. Ред.

помещения и аппарат дал бы, очевидно, термический эффект свыше 100%.

При операции с вакуум-сушителем тепло теряется только лучеиспусканием чугунной камеры, в которой заключены цилиндры. Температура этой камеры, (если вакуум достигнут в 711 м/м.), будет не свыше 38°C при температуре помещения, равной 24°C. Незначительная разница в 14°C даст малую потерю тепла. Эта потеря может быть в дальнейшем уменьшена применением изоляции.

Кроме того, при употреблении вакуума в 711 м/м., вода, выходящая из конденсатора, будет иметь температуру около 32°C; эта теплая вода пригодна для употребления в производственных процессах. Следовательно, тепловые единицы, затраченные в процессе высушивания, могут возвращаться обратно с теплой водой.

Удельная производительность сушки зависит от разности между температурой пара внутри цилиндра и температурой испарения воды в бумаге. Это обстоятельство весьма важно при подсчете величины и числа сушильных цилиндров. Если при проектировании новой бумажной машины известны содержание влаги в бумаге и удельная скорость испарения этой влаги, то число и величина цилиндров могут быть очень легко вычислены.

Также может быть определено теоретическое число тепловых единиц, необходимых для всего процесса высушивания. Эти теоретические цифры применимы и для вакуум-процесса и могут быть приняты с большой степенью точности, но при этом необходимо сделать поправку для таких факторов, как загрязнение поверхности цилиндров, качество, толщина и натяжение сукон, толщина и материал стенок цилиндров и поверхность внутри и снаружи их. Таблица № 1 дает приблизительное представление, как по удельной производительности высушивания определяется необходимая величина сушильного аппарата. В этой таблице для сравнения принято для всех случаев манометрическое давление пара внутри цилиндра в 0,373 кгр. на 1 кв. см. Это среднее давление, употребляемое ныне в практике. Изменяя это давление, интересно проследить влияние его на удельную производительность высушивания. Интересно также для контроля сушки изменение цифр, данных в третьей строке этой таблицы. Эти цифры могут быть найдены из таблицы паров по всякой величине вакуума, которая может быть достигнута в вакуум-камере; необходимо помнить, что в вакуум-сушителях бумажный мастер может выбрать любую величину вакуума в известных пределах.

Общее количество единиц тепла, необходимое для высушивания бумаги, уменьшается с понижением температуры испарения. Правда, как видно из таблицы 1, это не очень большие количества, но тем не менее это реальное сохранение калорий и, значит, экономия топлива. Так как в вакуум-сушителях тепловые потери ничтожны, общее количество калорий, показанное в 8-й строке табл. № 1 действительно близко к цифре всей теплоты, потребной для испарения 1 кгр. воды

№№ по пор.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1	Давление пара в цилиндре (избит.) в кг. на 1 кв. см.	0,373	0,373	0,373	0,373	0,373	0,373	0,373	0,373	0,373	0,373	0,373	0,373	0,373	0,373
2	Температ. пара в цилиндре, С°.	109	109	109	109	109	109	109	109	109	109	109	109	109	109
3	Температура испарения воды в бумаж. С°.	100	94	89	83	80	77	72	67	61	52	39	38	32	27
4	Разность температур (2—3).	9	15	20	26	29	32	37	42	48	57	70	71	77	82
5	Отношение (первая разность принята за единицу).	1,00	1,67	2,22	2,9	3,22	3,56	4,1	4,66	5,34	6,34	7,78	7,9	8,55	9,12
6	Количество тепловых единиц для поднятия температуры 1 куб. вольт от 180С до температуры испарения	82	76	71	65	62	59	54	49	43	34	21	20	14	9
7	Скрытая теплота испарения в калориях	536,5	539,3	542,8	548,4	550,6	552,7	556,2	559,7	563,9	570,2	579,3	580,0	584,2	587,7
8	Все количество теплоты, потребное для испарения (6+7).	618,5	615,3	613,8	613,4	612,6	611,7	610,2	608,7	606,9	604,2	600,3	600,0	598,2	596,7
9	Соответственный вакуум в мм.ртутного столба.	0	139	243	346	398	450	500	554	605	660	708	711	725	735
															741

Таблица 1.

при всяком выбранном вакууме. Обратное имеет место у теперешних машин, потому что в случае понижения температуры испарения, необходимо подвести к цилиндрам очень большое количество воздуха. Этот воздух поглощает тепло, и эти поглощенные калории представляют прямые тепловые потери. Таким образом, увеличение удельной производительности высушивания путем подведения добавочных количеств воздуха, чтобы понизить температуру испарения, ведет к падению термического эффекта.

Признано почти всеми новейшими бумажными мастерами, что низкая температура высушивания улучшает качество бумаги по крепости, степени проклейки, яркости цвета или оттенка, и способности бумаги сохранять свой белый цвет при выставлении на свет. Температура бумаги, высушиваемой в вакуум-сушителе при вакууме в 660 м.м. ртутного столба, никогда не может достигнуть свыше 38°C, температуры, которая несколько выше температуры многих жарких летних дней. Волокна бумаги, высушенной при этой температуре, не пересушены и не подожжены. Низкая температура высушивания не разложит клея,¹⁾ и не придаст блеклости нежному цвету или оттенку. Невозможно еще по полученным до сих пор данным сказать, насколько будет крепче или лучше бумага при ее высушивании при этой низкой температуре, но можно ожидать, что улучшение прочности и качества будет значительно, особенно по отношению к бумаге, приготовленной в основной своей части из древесной массы.

Число и величина сушильных цилиндров для сушильной машины отчасти зависят от процентного содержания влаги в бумаге. Предположим, что процент этот равен 70%, т.-е. сырое полотно содержит 70% воды и 30% абсолютно сухого волокна.

В помещаемой ниже таблицы № 2 приведены количества воды, которые необходимо выпарить, чтобы получить 1 килограмм бумаги абсолютно сухой и с содержанием 8% и 6%²⁾ влаги.

Попутно может быть замечено, что эта таблица полезна, как напоминание о необходимости содержать мокрые прессы в должном порядке. Существует известный процент влажности массы, который и есть наиболее экономичный. Этот процент каждый бумажный мастер должен определить для своей отдельной бумажной машины, принимая во внимание стоимость сукон и пара.

Для иллюстрации примем, что бумага поступает при температуре 18°C и имеет 69% влажности (близко к среднему для газетных бумаг). Таблица № 2 показывает, что должно быть выпарено 1,97 кгр. воды, чтобы получить 1 кгр. бумаги с 8% влаги.

Третья строка таблицы № 1 укажет температуру испарения, а 8-я строка — все количество калорий, необходимых для испарения 1 кгр. Это последнее число, умноженное на количество воды в килограммах, дает число калорий, необходимых для высушивания 1 кгр.

¹⁾ Но может быть причиной недостаточной проклейки. Ред.

²⁾ У нас принято 6% влаги в бумаге. Ред.

Таблица 2.

% влажности.	% абсолютно сухого волокна.	Количество испаряемой воды в килограммах.		
		На 1 кгр. абсол. сух. бумаги	На 1 кгр. бумаги.	
			С 8% влаги.	С 6% влаги.
75	25	3,00	2,68	2,76
74	26	2,85	2,55	2,62
73	27	2,70	2,40	2,48
72	28	2,57	2,29	2,36
71	29	2,45	2,17	2,24
70	30	2,33	2,07	2,13
69	31	2,23	1,976	2,03
68	32	2,12	1,87	1,94
67	33	2,03	1,79	1,85
66	34	1,94	1,70	1,76
65	35	1,86	1,63	1,69
64	36	1,78	1,56	1,60
63	37	1,70	1,48	1,54
62	38	1,63	1,42	1,47
61	39	1,56	1,36	1,40
60	40	1,50	1,30	1,35

бумаги. Предположив, что бумага была высушена в вакуум-сушителе, вычислим: при температуре сырой массы, равной 18° , и при вакууме в 711 м/м., температура испарения будет равна 38° , а число калорий, необходимых для испарения 1 кгр. воды равно 600. При влажности бумаги в 69%, количество потребной воды будет равно по таблице № 2 1,97 кгр. и количество калорий, необходимых для сушки 1 кгр. бумаги с влажностью 8%, будет $600 \times 1,976 = 1185,6$ калорий. Незначительным количеством тепла, потребного для поднятия температуры самой бумажной массы от 18° до 38° , можно пренебречь. Каждый килограмм пара при 0,373 кгр. на кв. см. давления содержит 529,4 калорий скрытой теплоты, производящей высушивание бумаги. Тогда для производства 1 кгр. бумаги с 8% влажности при термическом коэффициенте полезного действия в 100% необходимы $\frac{1185,6}{529,4} = 2,25$ кгр. пара.

Вакуум-сушитель дает очень близкие результаты к вышеприведенным вычислениям.

Одна из известных, хорошо оборудованных и наиболее новых канадских фабрик употребляет 3,25 кг. пара на 1 кг. бумаги. Пар ее стоит 1.50 долл. за тонну. Фабрика вырабатывает 90.000 тонн газетной бумаги в год.

Если сушить в вакуум-сушителе, то экономия пара на 1 кг. бумаги будет $3,25 - 2,25 = 1$ килограмм, на 90.000 тонн $= 90.000$ тонн пара, т.-е. экономия одного пара в год составит $90.000 \times 1,5 = 135.000$ долларов¹⁾.

Вакуум-сушитель имеет еще другое большое преимущество. Будучи совершенно закрытым, он нисколько не отдает влаги в машинное помещение, но проводит ее по трубам к конденсаторному насосу. Это избавляет от необходимости иметь дорогую вентиляционную систему. В машинном помещении даже летом не жарко, и воздух может быть нормальной влажности.

Из строки 5-й таблицы № 1 видно, что вакуум-сушитель, работающий при 711 м.м. вакуума, требует только $1/8$ числа сушильных цилиндров, потребных теперешней бумажной машине.

Сушильная часть бумажной машины будет, таким образом, значительно короче при той же пропускной способности. Это сохранит большую площадь пола, и в случаях, где производство бумаги ограничено величиной сушильной части, как это часто встречается, возможно будет увеличить производство без увеличения площади фабрики. Уменьшение числа цилиндров также влечет за собой значительное уменьшение расстояния между мокрой и сухой частью машины, делая наблюдение за работой бумажной машины более легким.

Некоторые бумажные мастера заявляют, что паровые машины, приводящие в движение бумажные машины, дают достаточно отработанный пар для высушивания бумаги, и что нет необходимости употреблять свежий пар для сушки. Это верно, и в таком случае с вакуум-сушителем они могут поставить еще более экономичную паровую машину.

На первый взгляд может показаться трудным провести бумагу через вакуум-сушитель, но это не так. В виду того, что в вакуум-машине нет воздуха, здесь нет ничего, что могло бы отклонять бумагу. Она легче снимается с цилиндра и идет правильно после снятия. Так как уменьшенное число цилиндров облегчает установку, а употребляемые здесь подшипники — шариковые, то необходимый для движения машины расход силы значительно уменьшается.

1) Подсчет сделан автором исходя из предположения, что вакуум-камера работает с коэффициентом полезного действия 100%, т.-е. при температуре окружающего воздуха, равной 35° С и при полном отсутствии просачивания в камеру воздуха. Следовательно бы в расчет внести соответствующие поправки, так как температура помещения самочерпки при вакуум-камере будет значительно ниже, нежели температура машинного зала при обычных сушильных частях самочерпки.

Благодаря низкой температуре срок службы сукон значительно удлиняется. Этому также способствуют шариковые подшипники валков, поддерживающих сукно. Внешний вид бумаги улучшается в дальнейшем при прохождении между резиновым и медным валиками при входе и выходе из сушителя.

Конденсация пара из вакуум-сушителя не представляет собой новой или трудной задачи. Устройство это такое же, какое употребляется для отработанного пара из паровых машин или турбин, и общеизвестно. Многие бумажные фабрики имеют избыточное количество воды, и в этом случае может быть применен соответствующий тип конденсатора, через который проводится значительное количество холодной воды.

Выбор наиболее подходящего типа конденсатора зависит от местных условий, в зависимости от пригодности воды, уровня подводимой воды и уровня, на котором может быть отводима нагретая вода. Стоимость конденсатора незначительна, конструкция его проста и он требует незначительного обслуживания для удовлетворительного действия.

Доступ внутрь вакуум-камеры для удаления брака или осмотра и очистки внутренней возможен, благодаря имеющимся дверям и окнам. Стекла окон (25 м/м. толщиной и 350 м/м. диаметром) в стенках машины и электрическое освещение делают видимым прохождение бумаги и сукон в машине. Пар, исходящий из бумаги, есть настоящий пар, а не туман, мешающий видеть, поэтому процесс высушивания может быть наблюдаем с большим удобством.

Вопреки обыкновенному распространенному мнению, полный вакуум может быть легко достигнут. В машине для опытов этот вакуум достигался в течение менее, чем три минуты. Это время зависит от типа и величины конденсатора и установленного вакуум-насоса.

К Б.