

## Расчет мощности бумажных машин и их электрификация.

Вопрос о достаточно точном учете расхода силы на бумажные машины и о рациональной их электрификации вызывается прежде всего экономическими соображениями. Существующая в настоящее время тенденция среди наших специалистов бумажников к поднятию производительности самочерпок до максимума, определяемого их конструкцией, находит себе известное отражение и в заграничной технической литературе. Правильная электрификация бумажных машин, переход от группового привода к одиночному, доведение скорости движения бумаги до 400 метров в минуту при ширине сетки, доходящей до 6 метров, получение максимума производительности при минимуме затраты удельной энергии—все это является тем кругом вопросов, в котором творит в настоящее время заинтересованное техническое воображение в Америке. Именно в Америке проблема экономического расхода силы на самочерпку разрешается наиболее удовлетворительно путем их рациональной электрификации.

В связи с этим возникает необходимость осветить эти вопросы и в русской технической литературе, указав хотя бы методы учета расхода силы на бумажных машинах и способы их электрификации, значительно усовершенствованные за последнее пятилетие заграницей.

Настоящая статья, составленная на основании сообщений последнего времени, появившихся в английской и немецкой литературе, и личных испытаний автора над работой самочерпок, в известной степени сможет удовлетворить поставленным задачам.

Приближенно эффективная мощность всякой бумажной машины определяется по формуле

$$N_{эф.} = k \cdot (b_a + 0,55) \cdot v \cdot \left(1 + \frac{g}{630}\right) \text{ л. с.} \dots \dots \dots (1)$$

где  $k$ —коэффициент, зависящий от скорости движения бумаги,  $b_a$ —рабочая ширина сетки в метрах,  $v$ —скорость движения бумаги в метрах в минуту,  $g$ —вес одного кв. метра вырабатываемой бумаги в граммах.

Величина коэффициента  $k$  зависит от скорости движения бумаги на машине. При  $v < 120$  м./мин.  $k = 0,20 - 0,30$ ; при  $v < 250$  м./мин.  $k = 0,30 - 0,40$ .

Формула эта практически для предварительного расчета вполне приемлема и по исследованиям автора имеет лишь некоторую погрешность в сторону увеличения.

Как известно, бумажная машина представляет собой компиляцию нескольких вращающихся отдельных машин (за исключением песочницы и сосунов). Таким образом, если обозначить через  $M_i$  общий вращательный момент всех сил, составленный из вращательных моментов отдельных частей, то по закону вращательного движения эффективная мощность самочерпки может быть выражена следующим уравнением:

$$N'_{эф.} = \frac{M_i \cdot v}{71620} \text{ л. с. . . . . (2)}$$

С другой стороны, по Stiel'ю <sup>1)</sup> эффективную мощность бумажной машины можно определить отношением:

$$N'_{эф.} = \frac{T \cdot v}{60 \cdot 75} \text{ л. с. . . . . (3)}$$

где  $T$ —общая сила, равная сумме всех сил мелких машин, входящих в состав данной самочерпки и выполняющих определенное назначение. Под  $v$  Stiel здесь обозначает скорость машины в мокрой и сушильной ее части, принимая последнюю, как некоторую константу (постоянную), соответствующую вырабатываемому сорту бумаги. Практически это предположение, конечно, вполне допустимо; вообще же говоря, для новейших самочерпок, вырабатывающих хорошие сорта бумаги, там, где применено автоматическое регулирование скорости моторов, не совсем правильно. В этом случае допустимая скорость движущегося бумажного листа при нормальной конструкции сушильной части зависит от его допускаемого натяжения, различного (правда в очень незначительной степени) в отдельных прессах и группах сушильных цилиндров. Натяжение листа должно соответствовать его крепости в данной части самочерпки и быть максимальным для увеличения производительности с тем, однако, чтобы не произошло разрыва бумажного листа, с одной стороны, и загибов его, с другой. Увеличение производительности, как мы увидим из дальнейшего, в новейших заграничных машинах заставляет скорость движения делать зависимой от натяжения, в результате чего  $v$  не является абсолютно постоянной. (В русских установках это регулирование тяги производится на глаз обслуживающим персоналом помощью особых конических шкивов).

Не трудно усмотреть, что вращательный момент  $M_i$  в уравнении (2) носит характер силы, ибо имеет ее размерность. Действительно между  $T$  и  $M_i$  существует зависимость

$$T = \frac{4500}{71620} M_i \approx \frac{M_i}{16},$$

что и подтверждает указанное положение.

<sup>1)</sup> W. Stiel. Elektrische Papiermaschinenantriebe. Leipzig 1924.

Если обозначить через  $b_s$  ширину сетки и через  $t$  суммарную силу, аналогичную  $T$ , но отнесенную к одному метру этой ширины, то

$$t \cdot b_s = T,$$

и тогда общую формулу для расчета эффективной мощности можно представить в следующем виде:

$$N_{эф.} = \frac{t \cdot b_s \cdot v}{60 \cdot 75} \text{ л. с. . . . . (4)}$$

Таким образом степень точности определения расчетной мощности при заданных  $b_s$  и  $v$  зависит исключительно от правильного вычисления значения  $t$  испытываемой самочерпки. В связи с этим необходимо рассмотреть ряд факторов, на эту величину влияющих. К ним можно отнести: 1) сорт и вес вырабатываемой бумаги, 2) скорость движения, 3) ширину сетки и 4) величину и число частей, входящих в состав данной машины (гауч, мокрые пресса, сушильные цилиндры, каландры и т. п.).

Разберем влияние на расход силы всех вышеуказанных факторов в отдельности.

В зависимости от сорта, а следовательно, и веса одного кв. метра бумаги, происходит изменение  $v$ . Скорость движения более плотных сортов бумаги обычно меньше, чем соответствующая скорость при выработке тонких сортов. Отсюда понятно некоторое уменьшение мощности при переходе к выработке от более тонких сортов к более плотным. С другой стороны, для плотных сортов с увеличением  $g$  (веса 1 кв. метра) увеличивается и расход мощности на данную машину по вполне понятным причинам.

Естественно возникает вопрос о величине результирующей мощности. По данным практики оказывается, что скорость машины имеет для расхода мощности все же превалирующее значение и результирующая мощность при переходе от тонких бумаг к более плотным, несмотря на увеличение веса, все же падает. Ясно, что здесь имеет, конечно, большое значение отношение скоростей и весов в том и другом случае.

По испытаниям автора, произведенным в октябре месяце 1924 г. на одной из вполне удовлетворительно работающих самочерпок бумажной фабрики им. Зиновьева в Ленинграде, оказалось, что расход мощности при выработке печатной глазированной бумаги № 8, при  $v = 85$  метров в минуту и  $g = 60$  гр. на кв. метр, получился равным 55 киловатт. При подобных же условиях работы расход мощности при выработке масленки с  $v = 30$  метров в минуту и  $g = 220$  гр. на кв. метр оказался равным 39 киловатт. Производительность в первом случае 800 пудов в сутки, а во втором—1200.

О влиянии веса бумаги на расход силы для некоторых современных заграничных самочерпок дает представление таблица 1.

Таблица 1,

Вес бумаги макс. $g \frac{\text{гр.}}{\text{м}^2}$	Приращение $T$ в % относительно $g = 0$ .	Приращение $T$ в % при $g = 300$ .	Продукция в килограммах на 1 метр сетки в минуту.
280	40	43	1,9
260	41	47,4	4,5
190	26	41	4,4
400	65	48,7	4,0
250	40	48	3,1
330	53	48,1	3,9
440	62	42,2	4,0
В средн. 299	47,3	47,8	3,63

Вопрос о влиянии ширины машины (сетки)  $b_s$  на величину  $T$  также связан со скоростью движения бумаги. В самом деле, самочерпки могут работать при двух режимах: в первом случае при  $t=f(v)$ ,  $b_a = \text{const.}$  и  $g = \text{const.}$  (здесь  $b_a$  — рабочая ширина; практически  $b_s = 1,1 b_a$ ) может иметь место недоиспользование скорости по тем или иным причинам.

При другом режиме, когда  $t=f(b_a)$ ,  $v = \text{const.}$  и  $g = \text{const.}$  мы можем получить как недоиспользование скорости, так и неиспользование ширины сетки.

Наконец, как частный случай, можно указать на работу некоторых машин бумажной фабрики им. Зиновьева после наводнения в Ленинграде 23/IX-24 г., когда  $t$  и  $v$ , а следовательно и  $g$ , были переменны, вследствие плохих условий коммутирования подмоченных моторов. В результате для одного и того же сорта вырабатываемой бумаги приходилось изменять скорость.

Мы будем полагать, что наиболее выгодным вариантом работы бумажных машин является их работа при  $t=f(v \text{ max.})$  (для данного сорта бумаги),  $b_a = \text{max. const.}$  и  $g = \text{const.}$

Лишь в этом случае мы будем иметь полное использование скорости, повышение производительности и уменьшение брака.

Ясно, что всякое изменение  $b_s$  при прочих равных условиях работы влечет за собой изменение величины  $t$ .

При существующих современных типах машин, по конструкции достаточно аналогичных между собой, можно, приняв за основу параметры  $(t_0, 123; \infty)$ , характеризующие нормальную бумажную машину, перейти далее к определению скорректированного значения  $t_{кор}$  любой бумажной машины.

Индексы при  $t$  обозначают: первый—вес кв. метра бумаги в грамах  $g$  (следовательно 0 соответствует  $g=0$ , т.е. холостому ходу машины, без бумаги), второй—скорость в метрах в минуту  $v$  (для нормальной машины  $v=120$ ), третий—ширину сетки в метрах  $b_s$  (для нормальной машины теоретически принятую за  $\infty$ ). Например:  $t_{50; 120; 4}$  есть удельная сила в килограммах при  $g=50$ ,  $v=120$ ,  $b_s=4$ .

Имея величины  $(t'_0; 120; \infty)$ ,  $(t''_0; 120; \infty)$ ...  $(t''_n; 120; \infty)$  для отдельных частей нормальной бумажной машины можем затем вычислить  $\sum (t_0; 120; \infty)$ . Вышеуказанные значения  $t'$ ,  $t''$ ...  $t''_n$  можно рассмотреть в нижеследующей таблице 2.

Таблица 2.

Части машины.	$t_0; 120; \infty$ в кгр.
Гауч с сеткой (холостой ход) . . . . .	125
Первый мокрый пресс . . . . .	105
Второй и третий мокрые прессы . . . . .	по 90
Мокрый глелер (2-х вальный). . . . .	70
Сушильные цилиндры, по 1 метр диаметра . . . . .	12
Каландр, первые два вала . . . . .	90
„ прочие валы . . . . .	по 15
Намагывающий аппарат (холостой ход) . . . . .	15

Для определения величины  $\sum (t_0; 120; \infty)$  при работе любой машины со скоростью 120 метров в минуту, но другой ширины, это влияние ширины на величину  $t$  можно выразить по Stiel'ю формулой:

$$t = 1135 \cdot \left( 1 + \frac{0,765}{b_s} \right),$$

где коэффициент 1135 учитывает полную суммарную силу  $\sum (t_0; 120; \infty)$  для всех частей нормальной бумажной машины при холостом ходе.

Введение коэффициента 1135 ясно из рассмотрения таблицы 3, где даются значения  $(t_0; 120; \infty)$  для различных частей машин.

Следовательно, практически, при наличии этих данных, как результата длительного испытания, можно подсчитать и величину  $t_{кр.}$  любой машины, введя в выражение  $\sum (t_0; 120; \infty)$  соответствующие поправки на скорость, ширину и величину составляющих машину частей, потребную мощность которой желают определить. Необходимо также учесть и влияние сорта бумаги.

В дальнейшем будет разобран конкретный пример для определения величины  $t_{кр.}$ , пока же обратимся к изложению влияния на величину  $t$  числа машинных частей и их размеров.

В таблице 4 сведены данные американской практики, по которым можно проследить изменения величины ( $t_c; 120; \infty$ ) гауча и сетки в зависимости от ширины машины, скорости и веса бумаги.

Таблица 3.

Части машины.	$t_c; 120; \infty$ в кгр.
Гауч с сеткой (холостой ход) . . . . .	125
Первый мокрый пресс, с сукномойкой . . . . .	105
Второй и третий мокрые прессы, без сукномойки, по 90	180
Мокрый глезер (2-х вальный) . . . . .	70
Сушильные цилиндры, с общим диаметром 42 метра	505
Каландр пятивальцовый . . . . .	135
Наматывающий аппарат (холостой ход) . . . . .	15
Итого . .	1185

Таблица 4.

Ширина мм. $b_s$	Скорость м/мин. $v$	Вес гр/м. $g$	Сила кгр. $t_g; v; b_s$	Сила кгр. $t_c; v; b_s =$ $= \frac{1}{2,25} t_g; v; b_s$	Сила $t_c; 120; \infty$ без транс- миссий кгр.
4160	202	50	392	174	114
4160	247	50	280	125	86
4160	244	50	250	111	76
4160	222	50	336	150	105
5000	192	74	362	161	127
5000	140	74	367	163	133

Рассматривая эту таблицу, можно констатировать то обстоятельство, что американцы сумели добиться от своих машин в смысле экономичности расхода силы более благоприятных результатов, чем европейцы.

В отдельных деталях, например, при учете величины ( $t_c; 120; \infty$ ) для сушильных цилиндров экономичность работы американских машин по сравнению с европейскими достигает очень значительной величины.

Предыдущее положение подтверждается нижеприведенной таблицей 5, как результата сравнительного испытания некоторых американских и европейских бумажных машин в 1924 году.

Таблица 5.

Американские данные.			Европейские данные.			
$b_s$ мм.	Диаметр сушильных цилиндров мм.	$t_{0; 120; \infty}$ одиночный привод кгр.	$b_s$ мм.	Диаметр сушильных цилиндров мм.	$t_{0; 120; \infty}$	
					Одиночный привод кгр.	Групповой привод кгр.
4160	1830	2,40	2450	1250	—	12,2
4160	1525	3,10	3350	1500	—	12,1
4160	1525	3,87	3700	1500	10,0	12,5
4160	1525	2,62	3900	1250	9,9	12,4
5000	1525	4,65	5150	1500	9,2	11,0
5000	1525	4,30	—	—	—	—
Средние значения		3,5	—	—	9,7	12,0

Опытные данные—результаты исследования мокрых прессов некоторых немецких самочерпок помещены в таблице 6, где в зависимости от числа прессов даны средние значения ( $t_{0; 120; \infty}$ ) сред. Вообще же для каждого мокрого пресса существует собственное значение ( $t_{0; 120; \infty}$ ).

Таблица 6.

Ширина в мм. $b_s$	Число прес- сов.	$t_{0; 120; \infty}$	
		Одиноч. привод кгр.	Группо- вой прив. кгр.
2350	2	75	102
3100	4	77	96
3750	6	74	93
3900	3	74	93
Средн. значения		75	96

Дополнительно остается рассмотреть влияние на потребную мощность машины каландров и наматывающих аппаратов. Точный учет повышения  $t$  от работы каландров довольно затруднителен. В самом деле, здесь на расход силы имеет влияние прежде всего число вальцов каландра, ширина его, давление между вальцами и, наконец, сорт бумаги.

Приближенно мощность на каландр можно определить по формуле

$$N = k \cdot b_0 \cdot v,$$

где  $k$  — коэффициент, равный 0,4—0,8 в зависимости от числа вальцов,  $b_0$  — ширина каландра в метрах и  $v$  — скорость движения бумаги. Также точно также можно пользоваться данными таблицы 3, вводя соответствующие поправки.

Мощность, расходуемая на наматывающий аппарат, определяется по условиям максимума допустимой скорости для данного сорта бумаги  $v_{\text{макс. м./мин.}} = \text{const}$ . Аналогично влияние работы наматывающего аппарата учитывается таблицей 3.

Резюмируя все вышесказанное, имеем, что эффективная мощность бумажной машины выражается следующим образом:

$$N_{\text{эф.}} = \frac{t \cdot b_s \cdot v}{60 \cdot 75} \text{ л. с.} \dots \dots \dots (4)$$

где  $t$  — суммарная сила, отнесенная на 1 метр ширины, равная  $\sum t$  для различных частей машины),  $v$  — скорость машины в минуту в метрах и  $b_s$  — рабочая ширина самочерпки в метрах.

Для определения  $t_{\text{к.р.}}$  служит отношение

$$t_{\text{к.р.}} = t_0; 120; \infty \cdot k_b \cdot k_v + t_0; 120; \infty \cdot k_b \cdot k_g = t_0; 120; \infty \cdot k_b (k_v + k_g).$$

Здесь  $t_{\text{к.р.}}$  — сила на 1 метр ширины сетки в килограммах для любых  $v$ ,  $v$  и  $b_s$ ,  $k_b$  — поправочный коэффициент на ширину,  $k_v$  — поправочный коэффициент на скорость и  $k_g$  — поправочный коэффициент на вес.

Практически:

$$k_v = \sqrt[4]{\frac{v}{120}}, k_b = 1 + \frac{0,765}{b_s} \text{ и } k_g = \frac{g}{590}$$

для  $v$  больше 35 метров в минуту.

Поэтому для определения  $t_{\text{к.р.}}$  бумажных машин при скорости движения бумаги больше 35 метров в минуту надо применить формулу

$$t_{\text{к.р.}} = t_0; 120; \infty \cdot \left(1 + \frac{0,765}{b_s}\right) \cdot \left(\sqrt[4]{\frac{v}{120}} + \frac{g}{590}\right)$$

Соответственно этому

$$N = \frac{v \cdot b_s}{60 \cdot 75} \left[ t_0; 120; \infty \cdot \left(1 + \frac{0,765}{b_s}\right) \cdot \left(\sqrt[4]{\frac{v}{120}} + \frac{g}{590}\right) \right] \dots \dots (5)$$

Для перехода к сетевой мощности электродвигателя надо принять во внимание коэффициент полезного действия электродвигателя и к. п. д. привода. Тогда

$$N = \frac{v \cdot b_s \cdot t_{\text{к.р.}}}{60 \cdot 75 \cdot \eta_{\text{пр.}} \cdot \eta_{\text{эл.}}} \dots \dots \dots (6)$$

Величина к. п. д. двигателя  $\eta_{\text{эл.}}$  находится очень просто путем определения приблизительной мощности данного двигателя, его типа и числа оборотов, и может быть взята по любому справочнику. В

отношении влияния величины привода на потребную мощность нужно отметить, что здесь имеет, конечно, большое значение, каким именно образом происходит распределение энергии, помощью группового или одиночного привода. В существующих русских установках привод бумажных машин—обычно групповой. Передача движения вращающимся частям самочерпки осуществляется при этом двумя электродвигателями. Один из них служит для передачи вращения „постоянной“ части машины, условно названной так потому, что мощность для нее почти не зависит от выработки различных сортов бумаги. Асинхронный мотор, здесь применяемый, обслуживает собственно самочерпку, узлоловители, приспособление для сотрясения сетки при работе и насос для сосунов. Другой мотор постоянного тока передает вращение гауч-валу, сетке, мокрым прессам, сушильным цилиндрам и прочим частям машины, число оборотов которых может меняться в зависимости от сорта бумаги в довольно широких пределах.

Сущность оборудования бумажных машин одиночным приводом заключается в том, что один мотор переменной части заменяется 8—12 электродвигателями, каждый из которых приводит в движение отдельные единицы переменной части самочерпки. Идея перехода не нова, но претворение ее в действительность совершилось за границей еще очень недавно. Объяснение простое: оно заключается в тех технических трудностях, которые этот переход сопровождали. Опыты в этом направлении известной фирмы Voith'a в 1908—1909 году не дали положительных результатов. Основным фактором к развитию одиночного привода для самочерпок в Америке явилось стремление бумажников увеличить производительность самочерпок за счет увеличения скорости. Другим фактором было желание уменьшить удельный расход энергии, увеличивая тем самым производительность киловатт-часа. Те существенные выгоды, которые дает одиночный привод в сравнении с групповым могут быть охарактеризованы коротко следующим образом: 1) большая точность регулировки хода, поэтому лучшее качество бумаги, увеличение производительности и уменьшение брака, 2) экономия в энергии: для лучших заграничных самочерпок потери в трансмиссиях можно считать порядка 20% по нижеприведенным испытаниям, что можно видеть из рассмотрения таблицы 7.

Таблица 7.

Ширина в миллим. $b_s$	Скорость в метрах в минуту $v$	Расход энергии при холостом хо- де в % от рас- хода энергии при ходе с бумагой (процентно-метр).	Время испытания.
5150	200	18	1914 г.
4250	200	20	1919 г.
2350	50	26	1910 г.
3100	100	29	1912 г.

Н. Дибасин.

(Окончание следует).