

Расчет мощности бумажных машин и их электрификация.

(Окончание ¹⁾).

В русских условиях для хороших машин эти потери могут быть приняты в 25% минимум, в худшем случае они доходят даже до 50%. По американским источникам переход на одиночный привод от группового из учета потерь на трансмиссию в 25% дает экономию в энергии в 12—15%.

Разобрав ряд отдельных факторов, влияющих на величину потребляемой мощности бумажных машин, и попутно указав также на особенности их приводного оборудования, обратимся к рассмотрению существующих способов электрификации самочерпок, имеющих место в русской и заграничной практике. Выше мы говорили, что „постоянная“ часть бумажной машины не требует регулирования числа оборотов. Расходуемая на нее мощность почти не зависит от вырабатываемого сорта бумаги. Обычным типом электродвигателей, здесь применяемых, является асинхронный мотор с контактными кольцами на роторе.

При машине, вырабатывающей различные сорта бумаги, для „переменной“ части требуется наличие широкой и достаточно плавной регулировки скорости. Здесь могут быть применены как коллекторные двигатели переменного тока типа Шраге, Рюденберга и др., так и шунтовые моторы постоянного тока. Регулировка скорости коллекторных двигателей осуществляется передвижением щеток. Техника построения этих двигателей сейчас идет лишь по пути усовершенствования уже существующих типов. Пока же коллекторные двигатели не находят себе большого применения, как двигатели бумажных машин, по следующим обстоятельствам. Точности регулировки путем сдвига щеток достичь в них труднее, чем в моторах постоянного тока. Кроме того, здесь приходится иметь дело со значительным трением щеток о коллектор и, наконец, (что имеет особо большое значение), управление двигателем на расстоянии затруднительно. Гораздо большим распространением пользуются шунтовые двигатели постоянного

¹⁾ См. „Бум. Пром.“, 1925, № 8.

тока. Самыми экономичными способами регулировки скорости этих двигателей являются регулировка по системам Вард-Леонарда и системе „Zü- und Gegenschaltung“ (прямого и обратного включения). Обе эти системы применяются на больших русских фабриках и достаточно хорошо зарекомендовали себя в работе.

Сущность идеи регулирования скоростей двигателей по системе Леонарда заключается в следующем. Главный шунтовой мотор, приводящий в движение бумажную машину, питается от особого генератора постоянного тока, так называемой регулирующей динамо. Изменение его числа оборотов происходит вследствие того, что напряжение регулирующей динамо может варьировать в пределах от 0 до $+E$. Это достигается изменением возбуждения вспомогательной динамо, которая питается от постороннего источника.

Из формулы числа оборотов двухполюсного мотора постоянного тока

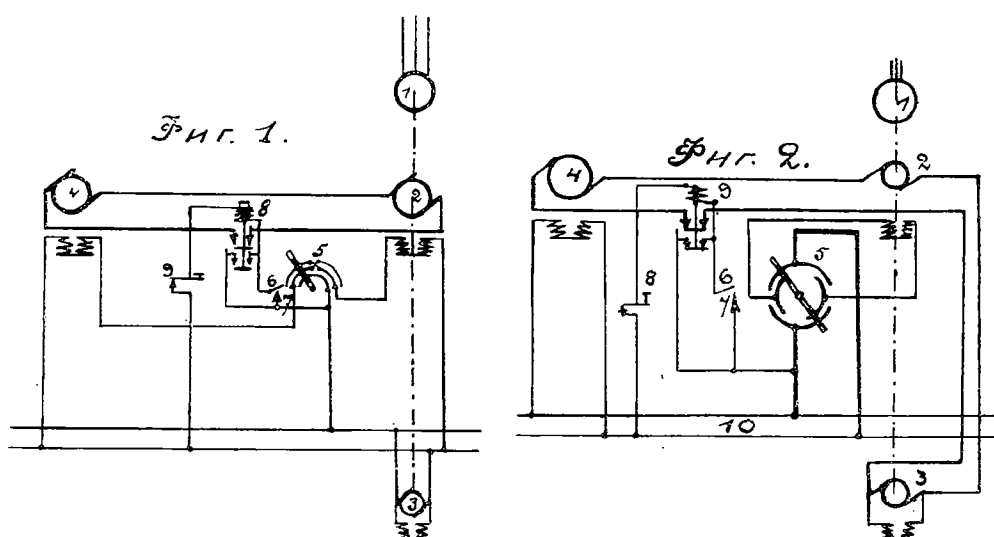
$$n = \frac{(E \pm i_w) 60 \cdot 10^{-8}}{N \cdot Z}$$

ясно действие такого рода включения. Магнитный поток не изменяется как и число оборотов якоря, но за то находящееся в числителе значение E подлежит регулированию между 0 и $+E$. Число оборотов главного мотора зависит почти исключительно от напряжения регулирующей динамо. Переменный множитель i_w очень мало влияет на эту зависимость, так как, вообще говоря, это величина очень малая по сравнению с E . И лишь при малых n , когда $E = f(n)$ становится меньше, i_w приобретает существенное значение. Поэтому систему Леонарда надо применять там, где бумага имеет сравнительно большую скорость.

Фигура 1 представляет общую схему включения моторов для бумажных машин по способу Вард-Леонарда. Здесь: 1—трехфазный мотор для регулирующей динамо; 2—регулирующая динамо; 3—динамо возбуждения; 4—главный шунтовой мотор, приводящий в движение бумажную машину; 5—реостат, который дает возможность изменения магнитного поля, как у регулирующей динамо, так и у шунтового мотора. В схеме предусмотрен предохранительный контакт 6, который при отводе ручки реостата вправо автоматически выключается. Делается это из следующих соображений. По недосмотру обслуживающего персонала пуск мотора без наличия контакта 6 и кнопки 7 мог бы быть произведен с реостатом, находящимся не в начальном положении, что конечно недопустимо. Таким образом, для пуска ручка реостата обязательно должна быть передвинута в крайнее левое положение и контакт 6 тогда замыкается на кнопку 7. Вследствие этого реле 8 втягивает помещенный в нем сердечник и замыкает главную цепь. В дальнейшем, при переводе ручки вправо, контакт 6 размыкается, но, как видно из схемы, перерыва тока не происходит. Для быстрой остановки машины (например, при несчастных случаях) слу-

Есть кнопка 9, которая обычно имеется около машины, а также на распределительном устройстве агрегатов.

Не менее часто применяемым способом регулирования скорости моторов для бумажных машин является регулировка по схеме прямого и обратного включения, представленная в общем виде на фиг. 2. Здесь: 1—трехфазный асинхронный мотор; 2—вспомогательная динамо переменного напряжения; 3—динамо постоянного напряжения; 4—главный шунтовый мотор; 5—реостат, помощью которого производится изменение направления тока возбуждения регулирующей динамо; 6, 7, 8—кнопки и контакт, аналогичные указанным на схеме Леонарда; 9—реле для пуска и автоматического выключения и 10—питающая сеть возбуждения.



Принцип регулирования скорости по способу прямого и обратного включения заключается в следующем. Две динамо постоянного тока включены последовательно. Обе конструируются на одинаковое напряжение. При работе же одна из них сохраняет это напряжение неизменяющимся, другая же напротив может изменять его от $-E$ до $+E$. Происходит это, как видно из схемы, помощью специального реостата, который изменяет направление тока возбуждения регулирующей динамо, а следовательно, и направления ее электродвижущей силы. В результате напряжение шунтового мотора может варьировать в пределах от 0 до $+2E$. В этом случае обе машины работают с арифметически складывающимися напряжениями на их борнах. При напряжении главного мотора равном 0 ($-E + E$), т.-е. при алгебраическом суммировании напряжений машины компенсируют друг друга. Эта система многократно испытана в бумажном производстве и дала очень хорошие результаты.

Обе рассмотренные выше системы представляют комбинацию нескольких агрегатов. Отсюда естественный вывод, что для слишком

малых мощностей они могут оказаться при эксплуатации не экономичными. Поэтому практически при моторах менее 50 лошадиных сил они обычно не применяются.

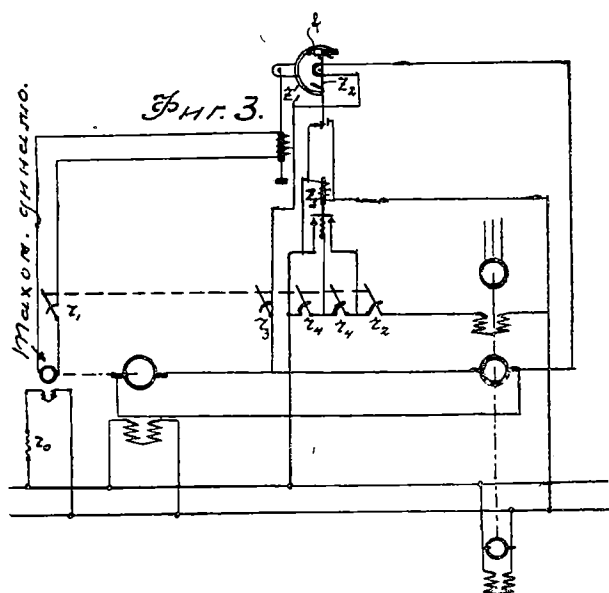
При помощи этих схем регулирование скорости при изменениях нагрузки осуществляется в ручную. При периодических колебаниях напряжения во внешней сети мы будем иметь колебание скорости и на бумажной машине. Действительно, в обеих схемах мы имеем наличие асинхронного мотора. Этот мотор довольно чувствителен к колебаниям напряжения на главном щите фабричной блок—станции, происходящим от выключения и включения различных электрифицированных машин. И если на щите нет уравнивателя напряжения, асинхронные моторы обеих систем передают колебания напряжения (а следовательно и скорости) главному мотору, в результате чего имеем изменения скорости движения бумаги на машине. Таким образом, весьма уместным является применение здесь автоматического регулирования скорости. Фигура 3 представляет схему Леонарда с подобным автоматическим регулированием скорости движения бумаги на самочерпке.

При автоматическом регулировании предусматривается тахометровая динамо, соединенная механически с главным мотором. Это—динамо постоянного тока, получающая возбуждение от машины, которая питает и регулирующий агрегат. Таким образом, точность действия тахометровой динамо зависит главным образом от постоянства ее возбуждения. Поэтому полезно в цепь тока возбуждения включать дополнительно сопротивление, обычно выполняющееся в форме ламп накаливания. В результате при довольно значительном колебании напряжения возбуждательной динамо, тахометровая будет иметь почти абсолютно постоянное магнитное поле.

Якорь тахометровой динамо (фиг. 3) включен на реле S через регулирующее сопротивление r_1 . Реле S связано с регулирующим устройством, действующим автоматически. Тахометровая динамо нагружена всегда одним током (в зависимости от сорта вырабатываемой бумаги происходит и установка этого тока). Каждому значению доставляемого ею напряжения соответствует вполне определенная скорость двигателя бумажной машины. С помощью регулирующего сопротивления r_1 скорость эта устанавливается по желанию произвольной величины. Вместе с тахометровой динамо работает быстродействующий регулятор, с помощью которого и осуществляется автоматическое регулирование на постоянную, но желаемую для данного случая скорость. Регулятор этот по схеме Siemens Schuckert'a состоит из якоря Z_2 , работающего совместно с противовесом Z_1 , у реле напряжения S . Якорь намагничивается катушкой, которая питается от регулирующей динамо. Если напряжение динамо высоко, якорь Z_2 выключает контакт e . Вследствие этого реле Z_3 замыкается на короткое. Вслед за этим следует включение сопротивления r_4 и напряжение регулирующей динамо падает. Эти изменения напряжения—мгновенны.

В результате получается некоторое среднее значение пульсирующего напряжения на клеммах регулирующей динамо (в зависимости от пружины f), которое будет вполне определенным, отчего и устанавливается определенная моторная скорость.

Реле S удерживает противовес Z_1 в таком положении, что среднее пульсирующее напряжение регулирующей динамо как раз дает возможность получать нужную моторную скорость. Если, например, скорость мотора уменьшается, то тахометровая динамо начинает доставлять небольшое напряжение, сердечник реле опускается, пружина напря-



гается сильнее и в конечном результате вследствие изменения напряжения магнитного поля число оборотов мотора поднимается настолько, чтобы опять восстановилось равновесие между S , Z_1 и Z_2 .

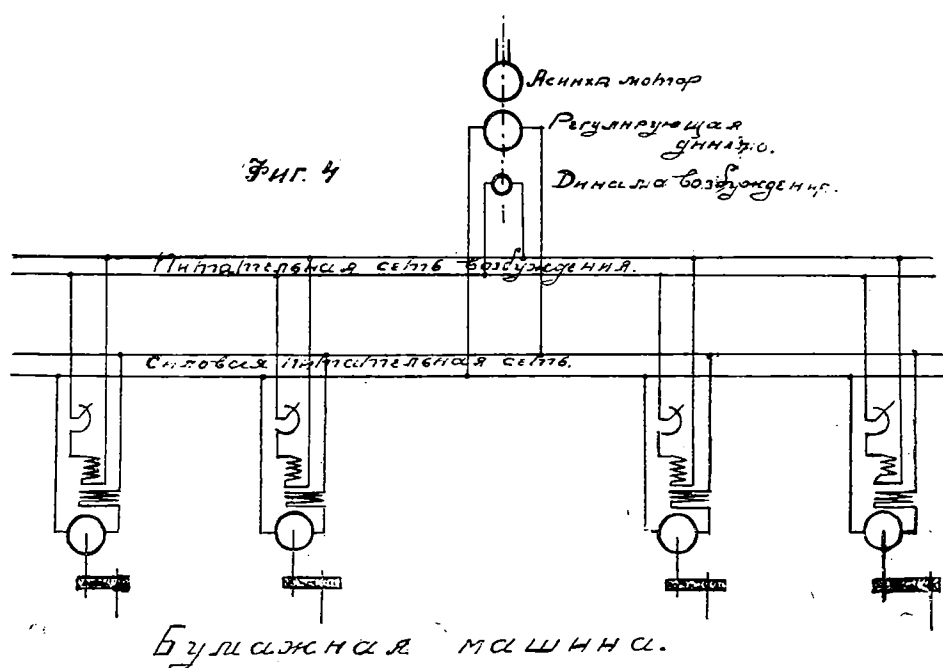
Вышеуказанные системы регулирования по схемам Леонарда и прямого и обратного включения применены например на Зиновьевской и Окуловской бумажных фабриках.

Укажем дополнительно новейшие способы электрификации заграничных самочерпок. Выше мы говорили, что в заграничной практике помощью электрификации специалисты стремятся найти наилучшее решение двух задач, конкретно заключающихся:

а) в возможности установки определенных границ для выбранной скорости между двумя соседними машинными частями (регулировка тяги) и

б) в точном сохранении этого отношения во время работы постоянным. Применение конических шкивов при групповом приводе допускает возможность регулировки хода бумаги между двумя соседними частями в 5—10%. При современных величинах скорости движения бумаги заграницей, доходящей до 400 метров в минуту, большой затрате мощности для вращения довольно значительных по размеру мокрых прессов, сушильных цилиндров и т. п. передача вращения помощью конусных шкивов становится несколько затруднительной. Это и вызывает необходимость применения много-моторного (одиночного) привода.

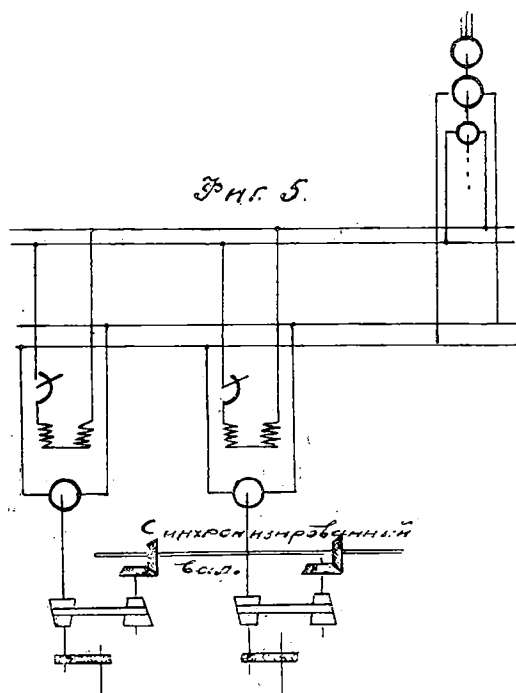
Основной схемой перехода на одиночный привод для бумажных машин может служить приведенная на фигуре 4 схема Леонарда. От общей регулирующей сети здесь вместо одного мотора работают несколько шунтовых моторов. С помощью их легко, конечно, решается задача установки хода для каждой части машины путем регулирования магнитного поля возбуждения двигателей. Что же касается сохранения отношения скоростей между двигателями постоянным, то этого условия выполнить нельзя. В самом деле, колебания скорости асинхронного мотора при колебаниях напряжения во внешней сети отражаются конечно на шунтовых моторах, вследствие чего отношение



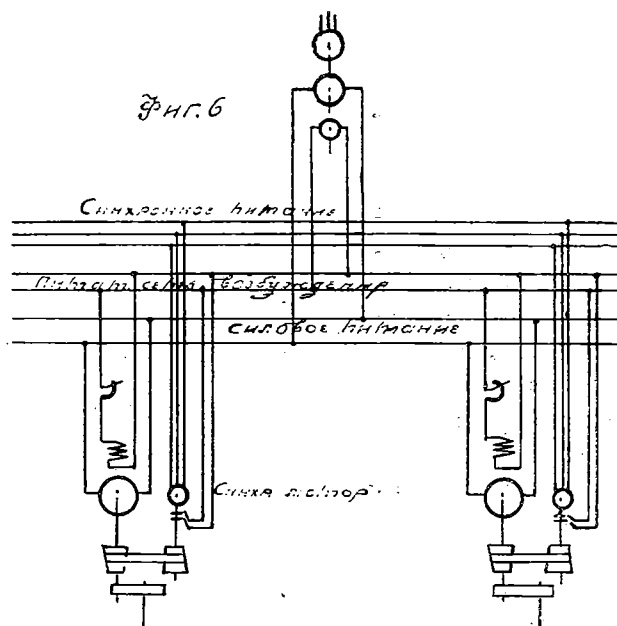
скоростей нарушается. При выработке тонких сортов бумаги это обстоятельство отрицательно влияет на их качество. Таким образом, ключ к разрешению второй проблемы может быть найден лишь применением иных способов регулировки. Одним из способов является наличие так называемых синхронизированных валов. Схема включения агрегатов в этом случае осуществляется согласно фигуры 5. Отличие ее от предыдущей заключается в том, что здесь имеется синхронно-вспомогательный вал, соединенный с шунтовым мотором помощью соответствующих передач. Принцип действия таков. Шунтовой мотор может менять свое число оборотов в зависимости от асинхронного, синхронизированный же вал (обычно приводящийся от синхронного мотора) имеет жесткую характеристику числа оборотов. Как только шунтовой мотор, допустим, замедлит свое число оборотов, синхронизированный вал сейчас же доводит это число оборотов до прежнего, принимая нагрузку на себя. При превышении скорости шунтового мотора над скоростью синхронизированного вала, последний действует

удерживающе. Способ этот представляет механическое решение задачи 6. Подобных же результатов можно добиться, включая дополни-

тельно к шунтовому мотору синхронный вспомогательный двигатель. Принцип действия аналогичен предыдущему и при рассмотрении фигуры 6 дополнительных комментариев не требует. Необходимо упомянуть лишь о том, что синхронные моторы обычно при правильном распределении нагрузки работают в холостую и лишь при колебаниях ее от влияния внешней сети принимают эти изменения на себя, после чего регулировкой возбуждения шунтового мотора нагрузку их снова можно привести к нулю. Последнее осуществляется в ручную или автоматически. Начальная установка хода производится помощью конических шкивов.

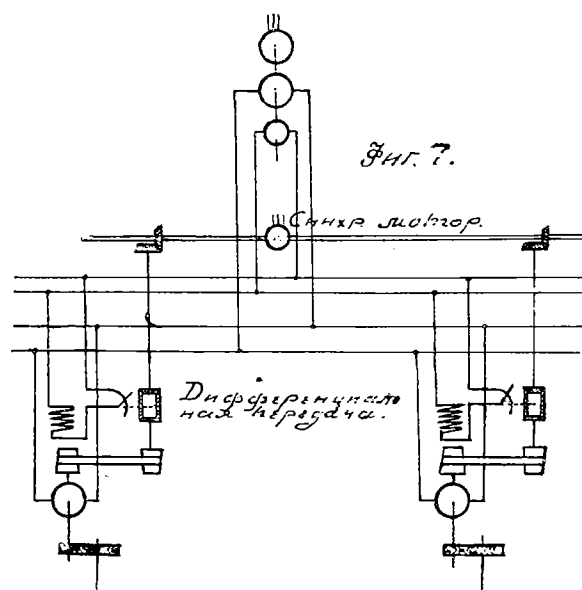


Обе вышеуказанные схемы не совсем удовлетворительны в том отношении, что не могут дать „точного синхронизма“ вращения шунтовых моторов вследствие скольжения ремней на конусных шкивах порядка 2%, особенно дающего себя знать при сравнительно больших колебаниях нагрузки внешней сети и больших скоростях вращения. Получение точного синхронизма возможно применением системы Harland-Warburton'a и помощью электрического вспомогательного регулирования с дифференциально-частотным реле.



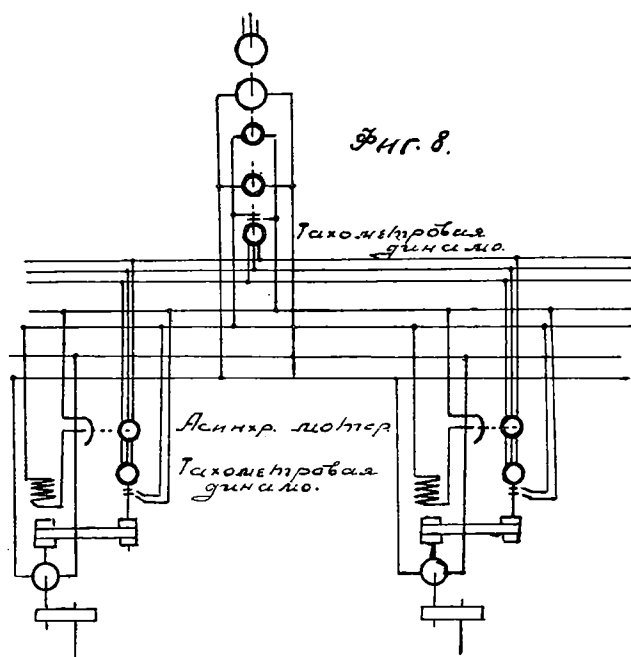
В основе схемы Harland-Warburton'a лежит наличие дифференциальной передачи. Принцип действия таков. При равенстве скоростей шунтового мотора и синхронизированного вала средняя часть дифференциальной передачи находится в покое. Но лишь только на-

ступает нарушение этого равенства, как она приходит в движение в ту или в другую сторону, приводя одновременно через соответствующую передачу в движение ручку шунтового реостата. В результате магнитное поле все время регулируется таким образом, что скорость шунтового мотора остается постоянной. Достоинство передачи—полное отсутствие скольжения вследствие малости передаваемых усилий и величины скоростей. (Фиг. 7).



Подобное же достижение точного синхронизма может быть получено также и чисто электрическим способом, выясняющимся из рассмотрения фигуры 8, где для регулирования поля шунтового двигателя применяется так называемая частотно-дифференциальное реле. В схеме применены две тахометровые динамо переменного тока. Динамо 1 имеет постоянную частоту, динамо 2—частоту,

зависящую от числа оборотов шунтового мотора. Роль дифференциальной передачи играет здесь обыкновенный асинхронный мотор,



вращение которого связано с регулированием поля шунтового мотора. Статорная обмотка асинхронного мотора питается от одной тахометровой динамо, роторная обмотка—от другой. Дальше принцип действия ясен. При равенстве частот в обмотках, асинхронный мотор не вращается; при разности их, когда могут иметь место как положительный, так и отрицательный асинхронизм, он передает свое движение ручке реостата. В результате скорость движения шунтового мотора строго постоянна.

Рассмотрев методы подхода к расчету мощности бумажных машин и способы их электрификации, приведем в заключение конкретный пример для применения полученных нами выше формул. Пусть требуется определить установленную мощность электродвигателя самочерпки, предположенной для выработки мундштучной, масленки и печатной глазированной бумаги. Пусть для мундштучной бумаги плотность $g=105$ граммов, скорость $v=60$ метров в минуту, для печатной глазированной № 8 $g=60$ гр. в 1 кв. метре и $v=85$ метров в минуту и для масленки $g=220$ граммов в 1 кв. метре при $v=35$. Ширина сетки машины—2,5 метра. В конструкции указанная машина отличается от принятой нами выше за нормальную шириной сетки, скоростью, устройством сушильной части и холодильника. Сумма диаметров сушильных цилиндров пусть определяется для нее в 30 метров, холодильник же имеет один барабан. Расчет мощности будем вести на печатную глазированную бумагу, как требующую наибольшей мощности. При работе машины на прочих сортах мы будем иметь недогрузку шунтового мотора, в результате чего получится незначительное падение коэффициента полезного действия установки, особенно большого значения в данном случае не имеющее. (Более существенно падение $\cos \phi$ асинхронного мотора при уменьшении нагрузки).

Эффективная мощность данной бумажной машины будет:

$$N_{\text{эф.}} = \frac{v \cdot b_s}{60 \cdot 75} \left[t_{\text{о; 120; } \infty} \cdot \left(1 + \frac{0,765}{b_s} \right) \cdot \left(\sqrt[4]{\frac{v}{120} + \frac{g}{590}} \right) \right] = \frac{v \cdot b_s \cdot t_{\text{кзр.}}}{60 \cdot 75} \text{ л. с.}$$

В нашем случае $v=85$ метров в минуту и $b_s=2,5$ метра. По таблице 3 $\Sigma(t_{\text{о; 120; } \infty})=1135$ кгр. Расход силы на сушильную часть нормальной машины $=12 \times 42=505$ кгр. Разница в $1135-505=630$ кгр. падает на остальные части нормальной машины, аналогичные нашей (разумеется t при холостом ходе). Дополнительный расход силы на сушильную часть в нашем случае даст $12 \times 30=360$ кгр. Без учета поправочных коэффициентов имеем

$$\Sigma(t_{\text{о; 120; } \infty})=360+600=960 \text{ кгр.}$$

Вводя поправочные коэффициенты на скорость, ширину и вес, получим

$$t_{\text{кзр.}} = 960 \cdot \left(1 + \frac{0,765}{2,5} \right) \cdot \left(\sqrt[4]{\frac{85}{120} + \frac{60}{590}} \right) \approx 1400 \text{ кгр.}$$

и тогда эффективная мощность машины

$$N_{\text{эф.}} = \frac{85 \cdot 2,5 \cdot 1400}{60 \cdot 75} \cong 67 \text{ л. с.}$$

Приближенно полагая, что мощность, идущая на постоянную часть машины, составляет 30% от общей мощности (цифра эта справедлива лишь для данных условий и проверена испытанием автора), имеем для постоянной части $N'_{\text{эф.}} = 67 \cdot 0,3 = 20 \text{ л. с.}$ и для переменной в случае выработки печатной глазированной бумаги $N''_{\text{эф.}} = 47 \text{ л. с.}$ Соответственно этому сетевая мощность асинхронного двигателя

$$N'_{\text{сети}} = \frac{20}{0,75 \cdot 0,9} \cong 30 \text{ л. с.}$$

и сетевая мощность электродвигателя переменной части

$$N''_{\text{сети}} = \frac{N''_{\text{эф.}}}{\eta_{\text{пр.}} \cdot \eta_s} = \frac{47}{0,75 \cdot 0,85} = 70 \text{ л. с.}$$

где η_s — коэф. пол. действия двигателя переменной части, принятый равным—0,85.

Выбор соответствующих моторов по типу, мощности и напряжению производится по каталогам.

Все разобранные до сих пор системы электрификации бумажных машин дают известное представление, каким именно образом переходом от одной системы к другой, более совершенной, чем предыдущая, и происходит рационализация производства. В основе этой рационализации лежат экономические предпосылки, сплошь и рядом в условиях современной действительности вызывающие необходимость в отдельных отраслях нашей промышленности коренных переустройств в области механического и электрического оборудования. И в этом смысле правильная электрификация бумажных машин в русской практике представляет достаточно широкое поле деятельности.

Н. Дидасин.