

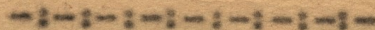
# СО Д Е Р Ж А Н И Е

## ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

Вступ л е н и е . . . . .	1
Методика тепловых измерений . . . . .	2
Испытание на нагревание . . . . .	15
Определение греющих потерь . . . . .	18
Совпадение результатов тепловых и аэродинами- ческих испытаний . . . . .	19

## Ч е р т е ж и

1. Расположение термопар в машине. Кривые скоростей воз- душного потока в каналах статора при правом и при левом вращении ротора . . . . .	Черт. №1
2. Характеристика холостого хода . . . . .	" №2
3. Рабочие характеристики . . . . .	" №3
4. Сводная таблица длительных тепловых режимов . . . . .	" №4
5. Кривые скоростей воздушного потока в каналах ста- тора и величины перегревов железа и отмотки стато- ра при разных режимах работы двигателя по показа- ниям термопар заложенных по поперечному разрезу AA . . . . .	" №5
6. Величины перегревов железа и меди машины при под- веденной мощности 23,8 квт 78А 220в . . . . .	" №6
7. Сравнительные кривые перегревов обмотки и железа статора при изменении скорости воздуха от перемены направления вращения при подведенной мощности 23,8 квт 78А 220 в . . . . .	" №7
8. Кривые перегревов при подведенной мощности 23,8 квт 78а 220 в. при правом вращении . . . . .	" №8
9. Характеристика перегревов . . . . .	" №9
10. Схема электроснабжения испытательных стэндов . . . . .	" №10





## ВСТУПЛЕНИЕ

Одним из основных элементов рационального конструирования электрической машины является ее система вентиляции, определяющая собой конструктивные формы машины и степень ее нагрева.

Улучшением вентиляции электрической машины повышается интенсивность теплорассеяния нагретых частей машины, что дает меньшие предельные температуры или при тех же предельных температурах можно повысить количество выделяемого тепла и, следовательно, увеличить мощность машины.

Совершенствование вентиляции электромашины может выполняться на основании данных экспериментальных аэродинамических исследований <sup>ванит</sup> машин.

Исследования воздушных потоков нельзя производить исключительно с точки зрения аэродинамических соотношений — расхода и напора.

Аэродинамическим исследованиям должны сопутствовать тепловые испытания машин.

Опытные данные такого рода комплексных аэродинамических и тепловых исследований могут дать возможность произвести расчет и конструирование вентиляции электромашины разных исполнений в полном соответствии с величиной потерь на отдельных участках машины.

Можно добиться такого распределения предполагаемого количества воздуха по отдельным участкам, чтобы обеспечить отвод тепла возникающий на этих участках и добиться примерно равномерного нагрева машины, сведя при этом к минимуму величины местных перегревов.

Объектом исследования является асинхронный двигатель типа МА-145-1/В 20 квт 230/380 вольт 720 об/мин.

По данной машине были произведены при помощи термоанемометра всесторонние аэродинамические исследования/см. гл. I отчета/.

В данном отчете приведены материалы теплового испытания данной машины, которое как указано должно сопутствовать аэродинамическим исследованиям.



## II. МЕТОДИКА ТЕПЛОВЫХ ИЗМЕРЕНИЙ.

Для измерения температур различных частей машины ГОСТ<sup>ом</sup> № 183-41 предусмотрены следующие методы:

1. Метод термометра
2. Метод сопротивления
3. Метод заложённых в электромагниту температурных детекторов
4. Метод встраиваемых температурных детекторов.

В качестве температурных детекторов можно применять либо термометры сопротивления либо термопары.

Под заложёнными температурными детекторами понимают детекторы заложённые во время изготовления машины.

Этот метод позволяет располагать детекторы в непосредственном соприкосновении с поверхностью, температуру которой хотят измерить. Так например, согласно норм при одной катушке в пазу детектор помещают на дне паза между внутренней поверхностью изоляции паза и наружной поверхностью изолированной катушки. При большем числе катушек детекторы<sup>6</sup> располагают в пазу между катушками в тех местах где можно ожидать наибольших температур. Указанное может быть выполнено только во время изготовления машины.

Метод заложённых температурных<sup>мих</sup> детекторов даёт температуры предполагаемых наиболее горячих точек.

Под встраиваемыми температурными детекторами понимают детекторы встраиваемые в изготовленную машину для производства испытания на нагревание.

Согласно ГОСТ<sup>а</sup> детекторы встраиваются в готовую машину в лобовые части обмотки, в пази и между отдельными *листами* активного железа /на глубину не менее 5 мм от поверхности железа/ в таких доступных точках, в которых можно ожидать наибольших температур.

Измерение температур отдельных частей испытуемой машины производилось в основном методом встраиваемых *термопар*. Размещение термопар было произведено в соответствии с результатами аэродинамических измерений выполненных по данной машине. Благодаря этому была обеспечена правильность размещения термопар с точки зрения обнаружения максимальной температуры нагретой части машины, о чем подробнее будет изложено ниже.



Размещение термопар приведено на черт. I. На этой же чертеже приведены результаты измерения скоростей воздушных потоков в каналах железа статора машины.

Как указывалось выше точное определение превышения *температуры* отдельных частей электромашины имеет особое важное значение.

Соответственно этому, вопросам изготовления, градуировки и монтажа термопар было уделено особое внимание. Подробно все эти вопросы изложены в и/техотчете №... "Измерение нагрева частей электромашины методом термопар." Здесь мы считаем необходимым остановиться на вопросе измерения термоэлектродвижущей силы термопар, поскольку до сего времени на электромашиностроительных заводах для измерения ЭДС термопара пользуются несовершенным методом.

ЭДС термопары может быть измерена двумя способами:

- 1/Применением милливольтметра магнитно-электрической системы
- 2/Применением потенциометра.

1. При применении милливольтметра свободные концы термопары присоединяются непосредственно или при помощи компенсационных проводов к зажимам милливольтметра.

Принцип действия приборов магнитно-электрической системы основан на взаимодействии магнитного поля постоянного магнита с током проходящим по обмотке подвижной катушки, помещенной в этом поле.

Под действием вращающего момента, создаваемого указанным взаимодействием магнитного поля и проводника с током, подвижная часть прибора стремится повернуться на своей оси.

Противодействующий момент создается спиральными пружинами заправленными одним кольцом к оси подвижной части прибора, а вторым концом к неподвижной части прибора, а в приборах с подвешенной подвижной системой подвесками. *Величина* . . . вращающего момента *Mв* создаваемого в магнитно-электрическом приборе, может быть выражена следующим уравнением

$$M_{в} = \frac{2H\alpha r^2 n}{9810} \text{ гсм} \quad (1)$$



- где  $H$  - напряженность магнитного поля  
 $I$  - сила тока в катушке в амперах  
 $l$  - длина одного витка в см.  
 $r$  - радиус обмотки в см.  
 $n$  - число витков

Этому вращающему моменту противодействует в приборах на .....  
 крутящий момент спиральных пружинок, а в приборах с подвешенной  
 подвижной системой крутящий момент подвесок

Момент закручивания для спиральных пружинок равен

$$M_{кр \text{ пруж.}} = \frac{6h^3}{12} \frac{E_m}{L} \varphi \quad 12/$$

а для подвесок

$$M_{кр \text{ подв}} = 0.275 \frac{b^3 h^3 p}{(b^2 + h^2) e} \varphi \quad 13/$$

где  $b$  - ширина ленты, из которой изготовлена спиральная пружинка  
 или подвеска в см

- $h$  - толщина ленты в см  
 $E_m$  - модуль упругости при растяжении  
 $p$  - модуль упругости при сдвиге  
 $L$  - длина развернутой спиральной пружины в см  
 $e$  - длина подвески в см  
 $\varphi$  - угол закручивания.

В обоих случаях можно принять, что противодействующей пово-  
 роту рамки упругий момент  $M_{кр}$  пропорционален углу  $\varphi$  поворота  
 подвижной системы, т.е.

$$M_{кр} = C \cdot \varphi \quad 14/$$

Из условия равновесия т.е. когда  $M_{вр} = M_{кр}$  можно  
 написать

$$\frac{2H I r_2 n}{9810} = \frac{6h^3}{12} E \varphi \quad 15/$$

или

$$\frac{2H I r_2 n}{9810} = \frac{0.275 b^3 h^3 p}{(b^2 + h^2) e} \varphi \quad 16/$$



Силу тока в подвижной катушке можно выразить уравнением

$$I = \frac{E}{R_m + R_{np} + R_g} \quad (17)$$

где  $E$  - электродвижущая сила термометра

$R_m$  - сопротивление термометра

$R_{np}$  - " " соединительных проводов

$R_g$  - " " милливольтметра

подставляя значение  $I_{us}$  уравнения (7) в уравнение (5) получим:

$$\frac{2824}{9810} \cdot \frac{HE}{R_m + R_{np} + R_g} = \frac{6h^3}{124} E \varphi \quad (18)$$

Для угла отклонения подвижной системы милливольтметра получим следующее выражение:

$$\varphi = \frac{2824}{9810} \cdot \frac{HE}{E(R_m + R_{np} + R_g)} \cdot \frac{124}{6h^3} \quad (19)$$

Данные катушки -  $l, z, n$ , а также данные пружинок  $b, h, 4$  являются постоянными величинами, а поэтому можно уравнение (9) написать в следующем виде

$$\varphi = K \frac{HE}{E(R_m + R_{np} + R_g)} \quad (20)$$

Из этого выражения следует, что на угол отклонения стрелки милливольтметра кроме ЭДС термометра влияет, еще целый ряд других величин, изменяющих свое значение при температурных колебаниях.

Колебания температуры среды помещения могут выражаться в пределах 10-25°.

При таких колебаниях температуры надлежит считаться с температурными ~~коэф.~~  $K$

магнитного поля  $H$  -  $K_H = 0,0002-0,0003$

модули упругости  $E$  -  $K_E = 0,0002-0,0004$

Материал подвижных <sup>термометра и проводов</sup> проводов катушки

прибора . . . . .  $K = 0,004$



Таким образом в магнитоэлектрическом приборе от температур зависят электрическое сопротивление проводников, магнитный поток постоянного магнита и упругость пружинок.

Модуль упругости *фосфористой* бронзы уменьшается примерно от 0,02% до 0,04% при повышении температуры на 1°, что вызывает соответствующее уменьшение противодействующего момента, а следовательно увеличение отклонения подвижной системы/погрешность по избытку/. Магнитный поток постоянного магнита уменьшается примерно на 0,02+0,03% при повышении температуры на 1°, что вызывает соответствующее уменьшение вращающего момента /погрешность по недостатку/.

*Сопротивление* медной или алюминиевой проволоки подвижной катушки увеличивается приблизительно на 0,4% при увеличении температуры на 1°, что вызывает ослабление вращающего момента вследствие возрастания сопротивления катушки и соответствующего уменьшения тока в катушке.

Приведенные погрешности в значительной части могут быть скомпенсированы, но все же измерение ЭДЭ термометры при помощи милливольтметра может оказаться недостаточно точным если температура среды при которой производятся измерения будет резко отличаться от температуры среды при которой производится тарировка термометра.

Помимо погрешностей связанных с изменением внешней среды возможны погрешности показаний магнитоэлектрического милливольтметра <sup>от</sup> паразитных термоэлектрических, электростатических и магнитных полей.

Существует много способов компенсации погрешностей милливольтметра, как-то: применение последовательного с рамкой сопротивления с отрицательным температурным коэффициентом, применение переменного магнитного шунта, перекрывающего зазор между полезными ~~индукционными~~ индукционными наконечниками и др. Все эти способы не обеспечивают достаточной точности показаний милливольтметра.

Для повышения точности измерения ЭДЭ термометры целесообразно применить компенсационный метод измерения электродвижущих сил.

Этот метод в настоящее время широко применяется не только в лабораторной, но и в производственной обстановке.

Отмечаем, что <sup>9м</sup> измерения температур нагревов электромашинами этот метод на наших электромашиностроительных заводах до сего времени к сожалению не применяется.



Сущность компенсационного метода измерения термоэДС заключается в том, что навстречу измеряемой ЭДС подается равное, противоположно-направленное и точно известное напряжение. Ток в цепи измерения и в этом равен нулю, следовательно, сопротивление соединительных проводов, переходных контактов и внутреннее сопротивление источника ЭДС не сказывается на точности измерения. ⊕

Отсутствие тока в цепи измерения определяется нульгальванометру. Поскольку гальванометр здесь играет роль электроуказательного прибора, служащего только для обнаружения тока, но не для его измерения, все недостатки гальванометра о которых говорилось выше, при применении его в компенсационной схеме, не имеют значения. Важна только чувствительность гальванометра.

Простейшая схема измерения ЭДС компенсационным методом изображена на рис. 1.

В цепь аккумулятора АК включено последовательно регулируемое сопротивление  $R$ . Параллельно к цепи может быть



Рис. 1

подключена навстречу либо термопаре, либо нормальный элемент. Востона разливальной при 20°C постоянную электродвижущую силу равную 1.0183 вольт и обладающий небольшим температурным коэффициентом /около 0,04% на 1°C/.

Разность потенциалов между точкой  $a$  и любой точкой  $b$  движка реостата будет пропорциональна сопротивлению  $R_1$ , участка  $ab$ .

т.е.

$$U_a - U_b = \frac{U_a - U_c}{R} R_1$$

Для измер<sup>ения</sup> ЭДС термопары надлежит передвигать контакт  $b$  до тех пор пока стрелка гальванометра ~~не~~ <sup>стает</sup> на нуль. Это будет тогда <sup>когда</sup> ток в цепи термопары не будет, т.е. потенциал на зажимах термопары будет равен потенциалу на зажимах реостата, т.е.  $E_T = \frac{U_a - U_c}{R} R_1$  (1)



Затем присоединив при помощи переключателя вместо термопары элемент ЭД и ЭДС  $E$  мы отрегулируем реостат  $R_{\text{так}}$  что нуль гальванометр показывал отсутствие тока в цепи тогда

$$E = \frac{V_a - V_c}{R} R_L \quad /12/$$

разделив почленно уравнение /11/ на уравнение /12/ получим

$$E_T = E \frac{R_1}{R_2} \quad /13/$$

Таким образом, как видно из приведенного уравнения /13/ величина ЭДС термопары определяется соотношением только постоянных факторов и совершенно не зависит от сопротивлений самой термопары, соединительных проводов, катушки прибора, а также переходных сопротивлений электрической цепи. Однако, следует иметь в виду, что значительное увеличение сопротивления внешней цепи уменьшает точность уравнивания, так как чем больше сопротивление цепи, тем меньше чувствительность нульприбора. Поэтому сопротивление внешней цепи не должно превышать определенных пределов.

В качестве совершенно надежного компенсационного прибора для измерения ЭДС термопар следует рекомендовать потенциометр типа III производства треста Теплоконтроль Министерства азиатской промышленности ~~№ 1-2-3~~

Опыт нашей работы с этим потенциометром показал хорошие и точные результаты.

Особо следует отметить, что для измерения термоэлектродвижущих сил термопар вложенных в роторе  $R.e.$  для измерения температур в роторе потенциометр неизменен.



Как указывалось выше в нагруженную машину было заложено около 50 термомпар. В целях обеспечения максимальной точности тепловых испытаний машины нами были протарированы все термомпары без исключения.

Для одновременной тарировки группы термомпар при помощи одного измерительного прибора и для последующих измерений *температур* этими термомпарами необходимо включение в схему соответствующего переключателя.

Поскольку в термоэлектрических цепях напряжения весьма малы, должны быть обеспечены: надлежащая изоляция самих термомпар и всех проводов, хорошие контакты, как неподвижные, так и подвижные /в цепях ротора/. Применяемые переключатели должны быть весьма надежны.

Термомпары закладываемые в электромашину имеют между собой электрический контакт через железо или медь машины. В создаваемых таким образом отдельных электрических цепях будут возникать ТЭДС. В результате этого в замер перегревов машины будут допущены ошибки, которые могут достигать большой величины.

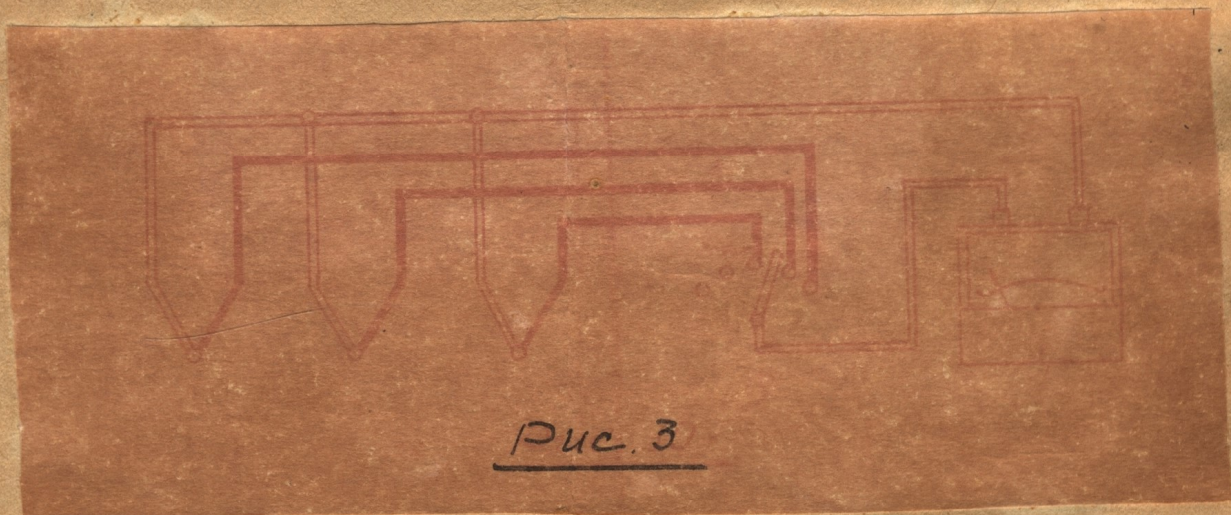


Рис. 3

Поэтому ни в коем случае не рекомендуется применять однополюсную схему включения приведенную на рис. 3, а применять исключительно двухполюсную схему соединения с двухполюсным переключателем как показано на рис. 4.



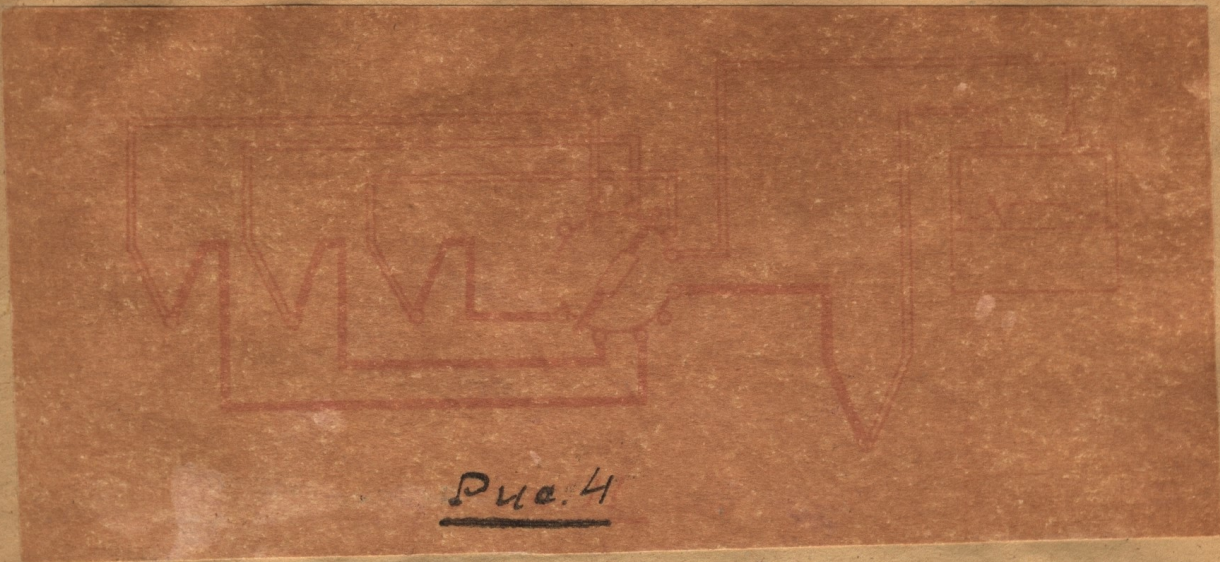


Рис. 4

Не лишне отметить, что в распространенной книге В. Матлян "Методы испытания двигателей трехфазного тока" по этому вопросу допущена ошибка. В этой книге рекомендуется однополюсная схема включения группы термодпар/см. §21, фиг. 38/.

На рис. 5 дана примененная нами схема пиометрической сети исследуемого двигателя.

Поскольку измерение ТЭДС заложенных термодпар измеряется одним прибором, в схему включено несколько несколько стандартных переключателей завода М. . . . МАП весьма надежной конструкции. Каждый переключатель предназначен для включения 10-ти термодпар.

Как видно из схемы рис. 5 включение каждой термодпары на измерительный прибор производится путем установки ручки переключателя на контакты соответствующей термодпары. При работе на первом переключателе ручки всех последующих переключателей должны стоять на нулевых контактах.

После прохода по всем контактам первого переключателя <sup>7</sup> надлежит ручку его поставить на нулевые контакты и затем перейти к следующему переключателю. Особенность этой схемы является то, что если ручка предыдущего переключателя ошибочно не будет установлена на нуле, то работы схемы не будет нарушена, так как работа всякого последующего переключателя <sup>исключает</sup> из схемы предыдущий переключатель.

Помимо измерений температур отдельных частей электромашины при помощи термодпар нами были применены также и ртутные термометры для измерения температур.



11



Puc 5



1. Корпуса машин на входе и на выходе Термометры устанавливались в отверстиях высверленные в корпусе и наполненные маслом.

2. Воздуха внутри машин в газонепроницаемой камере на входе и на выходе. Эти термометры были помещены в камерах через просверленные отверстия в крышках двигателя. Как видно из сводной таблицы перегревов черт. 4, температура воздуха в камере со стороны противоположной вентиляции при номинальной *нагрузке* составляет 103°.

Одновременно нами также определялась температура обмоток двигателя по рекомендованному нормами методу сопротивления.

Метод сопротивления состоит в определении температуры обмоток машины по увеличению *омического* сопротивления при нагревании.

При измерениях температуры по методу сопротивления превышение температуры медных обмоток в градусах Цельсия вычисляется по следующей формуле:

а/в машинах для продолжительной и *табурко* кратковременной работы:

$$\Delta T = \frac{R_{гор} - R_{холод}}{R_{холод}} (234,5 + t_{холод}) - (t_{гор} - t_{холод})$$

11/

б/в машинах для кратковременной работы

$$\Delta T = \frac{R_{гор} - R_{холод}}{R_{холод}} (234,5 + t_{холод})$$

12/

- где
- $R_{гор}$  — сопротивление нагретой обмотки
  - $R_{холод}$  — сопротивление холодной обмотки
  - $t_{холод}$  — температура среды при которой измерялось сопротивление холодной обмотки.
  - $t_{гор}$  — температура среды при которой измерялось сопротивление горячей обмотки — принимается температура воздуха при входе в машину.
  - $\Delta T$  — превышение температуры



Вывод формулы /2/ следующий

обозначим:

сопротивление при  $t_{хол} - R_{хол}$   
 " " при  $t_{гор} - R_{гор}$

В известной формуле  $R = R_0(1 + \alpha \Delta t)$  (3) заменим температурный коэффициент постоянной величиной, принятой для меди при  $1^\circ C \alpha = \frac{1}{234,5}$  другими словами за абсолютную температуру, у которой электрическое сопротивление меди практически равняется нулю -  $234,5^\circ C$ .

Аналогично формуле /1/ можно записать

$$R_{гор} = R_0 \left( 1 + \frac{t_{гор}}{234,5} \right) \quad /4/$$

$$R_{хол} = R_0 \left( 1 + \frac{t_{хол}}{234,5} \right) \quad /5/$$

Разделив уравнение /5/ на уравнение /4/ получим:

$$\frac{R_{гор}}{R_{хол}} = \frac{234,5 + t_{гор}}{234,5 + t_{хол}}$$

или

$$\frac{R_{гор} - R_{хол}}{R_{хол}} = \frac{t_{гор} - t_{хол}}{234,5 + t_{хол}}$$

откуда преобразование температуры нагретой обмотки над температурой холодной обмотки будет

$$\Delta T = t_{гор} - t_{хол} = \frac{R_{гор} - R_{хол}}{R_{хол}} (234,5 + t_{хол})$$

Измерение горячего и холодного сопротивления обмоток обычно производят по методу вольтметра-амперметра. Этот метод требует особой точности и одновременности в измерении тока  $I$  и напряжения  $V$ , так как небольшие сравнительно ошибки при этих замерах ведут к весьма большим ошибкам в определении температуры.

Более совершенным методом измерения сопротивления является применение двойного моста Томсона. На рис. 6 приведена примененная нами схема для измерения сопротивления обмотки *Стальной про.* как в холодном, так и в горячем состоянии.



Обмотка статора  
соединенная Δ-ком

Двойной мост Томсона

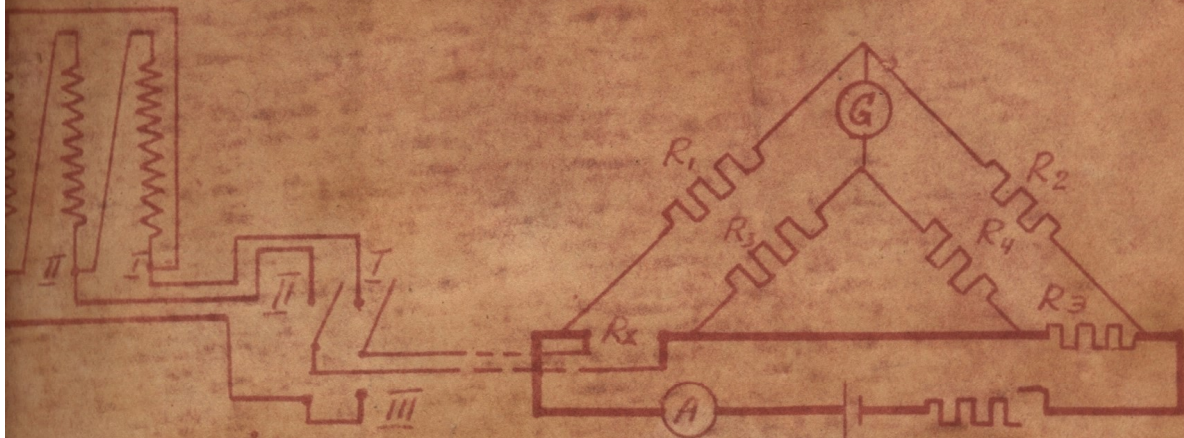


Рис. 6

Как видно из рис. 6 обмотка статора двигателя включена треугольником. Поочередным включением ножей переключателя замедляет сопротивления между точками I-II; I-III; и II-III.

Каждое из измеренных сопротивлений  $R_1, R_2 \text{ и } R_3$  состоит из сопротивления двух параллельных соединенных ветвей, одна из которых представляет собой две последовательно соединенные обмотки двух фаз, а другая состоит из сопротивления одной/третьей/фазы обмотки.

$$\text{Поэтому } \frac{1}{R_1} = \frac{1}{Z_1} + \frac{1}{Z_1 + Z_3}; \quad \frac{1}{R_2} = \frac{1}{Z_2} + \frac{1}{Z_1 + Z_3}; \quad \frac{1}{R_3} = \frac{1}{Z_3} + \frac{1}{Z_1 + Z_2}$$

По этим уравнениям можно определить сопротивление каждой фазы обмотки  $Z_1, Z_2 \text{ и } Z_3$ . Если, сопротивления фаз не сильно разнятся между собой, то измеренные сопротивления  $R_1, R_2 \text{ и } R_3$  будут равны или почти равны между собой. Сопротивление обмотки фазы статора будет определяться из формулы

$$Z_1 = Z_2 = Z_3 = \frac{3}{2} R_1 = \frac{3}{2} R_2 = \frac{3}{2} R_3$$

По этим уравнениям определялись нами сопротивления обмоток статора.

Если бы обмотка статора была бы соединена в звезду-рис. 7 то сопротивление каждой фазы статора, при равных сопротивлениях фаз составило

$$Z_1 = Z_2 = Z_3 = \frac{R_1}{2} = \frac{R_2}{2} = \frac{R_3}{2}$$







Таким образом измерив сопротивление обмотки в холодном и сопротивление обмотки в горячем состоянии - после проведения режима нагрузки, - можно по уравнению 4 определять температуру превышения нагревания обмотки статора.

### 3. ИСПЫТАНИЕ НА НАГРЕВАНИЕ

Испытание на нагревание заключается в том, что двигатель нагружают на определенный промежуток времени его номинальной нагрузкой и *произ*водят замеры температур отдельных частей машины по методом описанным в §2.

В нашем случае исследования работы электродвигателя тепловые режимы проводились для следующих нагрузок:

- 1/Холостой ход
- 2/80% номинальной нагрузки
- 3/Номинальная нагрузки

Учитывая то обстоятельство, что охлаждение отдельных частей машины при разных направлениях вращения оказалось, согласно аэродинамическим исследованиям, различным, испытания на нагревание проводилось и для правого и для левого вращений. Согласно норм определялись превышения температур частей машины, т.е. разность между температурой части машины и температурой охлаждающего воздуха.

Для каждого режима работы двигателя испытания проводились до тех пор пока температура отдельных частей машины практически не устанавливалась.

Согласно ГОСТ'a температура машины считается практически установившейся если изменение ее в течении часа не превышает  $1^{\circ}\text{C}$ , при условии что нагрузка машины и температура охлаждающего воздуха остается неизменными.

Нами аналогично тому как это принято в заводской практике испытание проводилось до большей точности - в течении нескольких часов температура оставалась неизменной.



Величины температур перегрезов двигателя измеренные по термометрам занесены на таблицу - чертёж №...

Испытания машины на нагревание начинают обычно проводить с практически холодного состояния ее при котором температура всех ее частей одинакова с температурой окружающего воздуха.

Продолжительность испытания машины на нагрев можно определить по таблице I где продолжительность испытания дана в зависимости от коэффициента "к" равного отношению кажущейся мощности в  $\gamma A$  и скорости вращения в об/мин

$$k = \frac{P \times \gamma A}{n \text{ об/мин}}$$

Таблица I

K	:Продолжит.в : :часак.	K	:Продолж.в: :часак.	K	:Продолжит.в: : часак.
0-10	2	100-200	5	500-700	8
10-30	3	200-300	6	700-3000	9
30-100	4	300-500	7	1000-1500	10

Испытание машины на нагревание может также начинаться и при нагретом состоянии машины. При этом в целях сокращения времени испытания машины, можно в начале испытания машину перегрузить против намеченного режима и после доведения до 80-90% предполагаемой температуры перегрева перевести машину на намеченный режим и продолжать нагревание машины до установившейся температуры.

Можно вести испытание на нагревание машины из холодного состояния машины до превышения температуры равного 80-90% от ожидаемого конечного значения превышения температуры, после чего машину отключить. В этом случае действительное конечное значение превышения температуры можно определить графическим построением как это указано в ГОСТ<sup>е</sup> 183-41.

В прямоугольной системе координат по оси абсцисс откладывает время, а по оси ординат температуру перегрева двигателя. По данным опыта строится кривая зависимости температуры перегрева от времени. Определяются приращения температур  $\Delta t$  за равные промежутки времени  $t$  влево от оси ординат строится график зависимости приращения  $\Delta t$  за данный промежуток времени от превышения температуры в начале промежутка



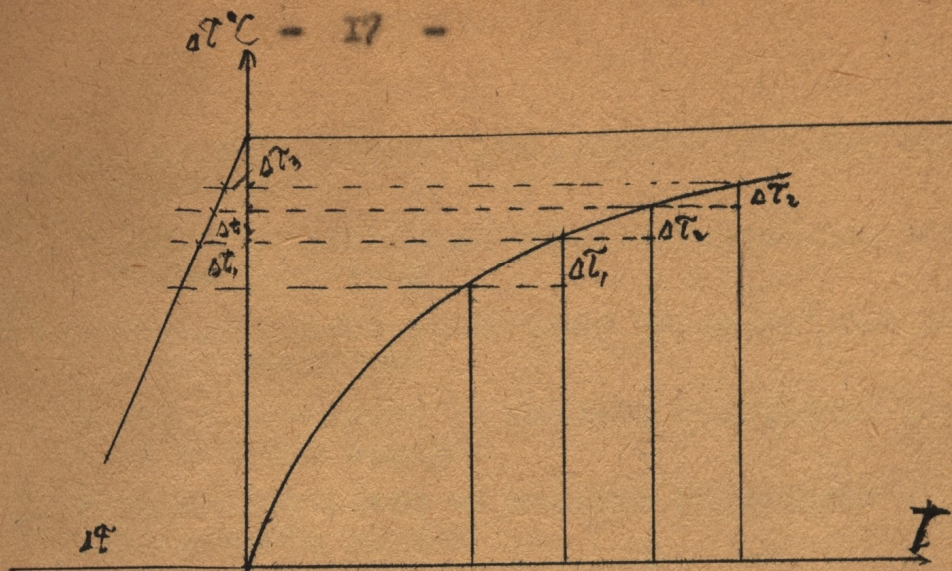


График будет представлять прямую линию, и если ее продолжить, то в точке пересечения с осью ординат получается величина установившейся температуры.

Для измерения превышения температуры обмоток по методу сопротивления необходимо тепловой режим машины вести до установившейся температуры перегрева.

После того как температура двигателя устанавливается двигатель отключается от сети и приступают к замерам сопротивления обмоток статора. Способ замера сопротивления был описан выше.

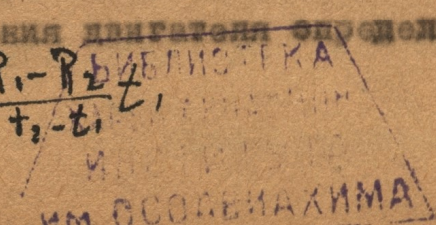
При измерении  $R_{гор}$  необходимо чтобы промежуток времени между выключением двигателя и измерением сопротивления был наименьшим.

После отключения двигателя от сети надлежит ускорить время остановки двигателя механическим торможением/доску упереть к валу двигателя/.

Как бы быстро после выключения двигателя не произвели измерения сопротивления, все же происходит некоторое остывание двигателя, которое приводит к уменьшению сопротивления, а вместе с тем — и ошибке в определении температуры нагрева обмотки двигателя при работе.

Для определения сопротивления обмотки соответствующее моменту отключения двигателя необходимо внести соответствующую поправку. Для введения поправки надлежит выполнить 2 замера сопротивления с одновременным отсчетом времени. Принимая линейную зависимость изменения температуры по времени, сопротивление соответствующее моменту отключения двигателя определяется по следующему уравнению

$$R_{гор} = R_1 + \frac{R_1 - R_2}{t_2 - t_1} t_1$$





- где  $R_{гор}$  - сопротивление соответствующее моменту отключения двигателя  
 $R_1$  - сопротивление замеренное в первый раз после отключения двигателя  
 $R_2$  - сопротивление замеренное во второй раз после отключения двигателя  
 $t_1$  - время прошедшее от момента отключения двигателя до первого замера  
 $t_2$  - время прошедшее от момента отключения двигателя до второго замера

Определив действительное значение  $R_{гор}$  можно по формуле 1 §2 определить температуру перегрева обмоток двигателя. Результаты замеров температуры перегревов по методу сопротивления внесены в таблицу черт. №...

Согласно нового проекта ГОСТ"а 183-48 поправка не надлежит вносить, если замер сопротивления произведен в течении не свыше одной минуты с момента отключения двигателя.

Температура охлаждающего воздуха измерялась в соответствии с указаниями ГОСТ"а 183-41.

В сводной таблице длительных тепловых режимов - черт. №4 приведены все полученные данные нагревов и перегревов обмоток, железа и воздуха замеренные указанными выше методами.

#### 4. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ГРЕЮЩИХ ПОТЕРЬ

Сравнение различных вариантов охлаждения машины производится обычно на основании величины <sup>в функции</sup> перегрева сумми грейщих потерь  $\Delta t = f(\sum W_{гр})$   
 Определение грейщих потерь было произведено по поставленным опытам холостого хода и опыту нагрузки.

Данные упомянутых опытов и кривые приведены на черт. №№ 2,3. Отмечаем, что опыт нагрузки нами велся по принципу *рекуперации* электроэнергии. Для опыта холостого хода служил синхронный генератор, дававший плавную регулировку напряжения при постоянной частоте. Схема электроснабжения испытательных стандов лаборатории приведена на черт. №10.

Данные грейщих потерь приведены на таблице, черт. №4.

Согласно этим данным сумма грейщих потерь при номинальной нагрузке двигателя составляет

$$\sum W_{гр} = W_{сш.1} + W_{сш.2} + W_{fe} + W_{гоб} = 1695 + 825 + 610 + 119 = 3252 \text{ Вт.}$$

где  $W_{сш.1}$  потери в цепи стартера  $= \gamma^2 R$  /для соединения  $\Delta$ -ком/.



$W_{air}$  - потери в меди ротора =  $s P_s$  где  
 $S$  - скольжение ротора и  $P_s$  мощность переданная ротору статором

$W_{fe}$  - потери в железе статора  
 $W_{gos}$  - добавочные потери =  $0,005 W$  ~~показано~~

По потерям и перегреву воздуха нами вычислялся расход воздуха по формуле

$$Q = \frac{60 \sum W_{gp}}{1,125 \Delta t_{air}} \text{ м}^3/\text{мин}$$

для номинальной нагрузки расход воздуха должен быть

$$Q = \frac{60 \cdot 3,252}{1,125 \cdot 12,5} = 13,85 \text{ м}^3/\text{мин}$$

Соответственно для нагрузки 80% номинальный расход воздуха должен быть

$$Q = \frac{60 \cdot 2,027}{1,125 \cdot 8} = 13,9 \text{ м}^3/\text{мин}$$

и для холостого хода расход воздуха

$$Q = \frac{60 \cdot 0,930}{1,125 \cdot 3,5} = 14,5 \text{ м}^3/\text{мин}$$

Произведенный замер расхода воздуха в установленный подводящей трубе дал цифру расхода 14  $\text{м}^3/\text{мин}$

### 5. СОВПАДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ТЕПЛОВЫХ И АЭРОДИНАМИЧЕСКИХ ИСПЫТАНИЙ. Иллюстрации

Результаты тепловых испытаний в значительной своей части соответствуют результатам аэродинамических испытаний <sup>на</sup> ~~испытательной~~ машины

На черт. №№ 5, 6, 7 и 8 произведены кривые наглядно иллюстрирующие указанное.

Таким образом благодаря комплексной постановке аэродинамических и тепловых испытаний получен экспериментальный материал который дает возможность дать ряд ценных указаний по совершенствованию системы вентиляции электродвигателя.

*Handwritten signature*  
сн

