

---

---

*Кандидат технических наук доцент И. М. КОВТУН*

**О РАБОТАХ ПРОФЕССОРА П. П. КОПНЯЕВА  
В ОБЛАСТИ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН  
ПОСТОЯННОГО ТОКА**

В 1904 году в Харькове вышел из печати учебник адъюнкт-профессора Харьковского технологического института П. П. Копняева под названием «Динамомашинны постоянного тока. Их теория, испытание, конструкция и расчет».

Этот учебник состоял из двух частей, из текста на 290 страницах и атласа, составленного из 35 таблиц, включающих 275 чертежей и рисунков.

В 1926 году Государственное издательство Украины выпустило второе переработанное издание учебника П. П. Копняева — профессора Харьковского технологического института имени В. И. Ленина, под названием «Электрические машины постоянного тока» на 478 страницах с 382 чертежами и рисунками в тексте.

В предисловии ко второму изданию П. П. Копняев писал: «Настоящая работа по теме является вторым изданием моей книги «Динамомашинны постоянного тока», подвергшейся здесь столь существенной переработке как со стороны материала, так и изложения, что содержание первого издания использовано только в незначительной части».

Действительно, во втором издании учебника нашло свое отражение в основном все то новое, что дало развитие электромашиностроения в области машин постоянного тока за 22 года, прошедшие с момента первого издания учебника П. П. Копняева по машинам постоянного тока.

Учебник проф. П. П. Копняева «Электрические машины постоянного тока», изданный в 1926 году, содержит следующие главы: 1. Основные понятия. 2. Магнитная цепь машин. 3. Обмотка якоря. Образование обмоток. Кольцевой якорь. Барабанный якорь. 4. Реакция якоря. 5. Коммутация. 6. Способы возбуждения. 7. Характеристики генераторов. 8. Потери в машинах. 9. Соединения генераторов. 10. Общие свойства электродвигателей. 11. Шунтовой двигатель. 12. Последовательный двигатель. 13. Машины и их соединения специального назначения. 14. Исследование машин. Прямое измерение отдачи. Отдача методом определения потерь. Разделение потерь. Магнитное исследование машин. Исследование коммутирования. 15. Конструкция машин. 16. Поле междужелезного пространства. 17. Расчет машин. 18. Примерный расчет машин. 19. Алфавитный указатель. 20. Обозначения. 21. Оглавление.

Уже сам перечень глав, составляющих учебник, свидетельствуют о том большом объеме материала, который включен в эту книгу.

Характерно, что проф. П. П. Копняев изложение курса машин постоянного тока начинает с магнитной цепи, а не с обмоток, как это обычно принято в программах по курсу электрических машин вузов и в распространенных учебниках.

Следует подчеркнуть, что перемена местами этих двух разделов («Магнитная цепь» и «Обмотки якоря») имеет определенный смысл с методической точки зрения. Дело в том, что раздел магнитной цепи обычно легче усваивается студентами и этим облегчается последующее изучение более сложного раздела по обмоткам якоря. Обратный порядок изложения вначале несколько затрудняет понимание студентами раздела по обмоткам, поскольку более детальное изучение устройства якоря в общей связи со всей магнитной цепью дается, естественно, при изучении магнитной цепи.

Приступая к расчету магнитной цепи, проф. П. П. Копняев рассматривает различные формы магнитной системы индукторов: подковообразный тип, панцирный, манчестерский тип, имевшие некоторое применение на различных стадиях исторического развития электрических машин постоянного тока, дает им критическую оценку и обосновывает наиболее целесообразную конструктивную

форму магнитной системы, когда станина выполняется в форме кольца, а полюса располагаются по внутренней ее поверхности, выступая в радиальных направлениях.

Расчет магнитной цепи машины постоянного тока проф. П. П. Копняев излагает с достаточной полнотой, используя графический метод построения трубок магнитного поля при определении расчетной ширины полюса, коэффициента воздушного зазора и коэффициента утечки. Такой метод изложения расчета магнитной цепи в большей мере способствует усвоению физической сущности явлений, чем метод использования приближенных соотношений и эмпирических формул.

Характерно, что изложив метод расчета магнитной цепи, проф. П. П. Копняев дает сразу же методические указания об использовании этого метода при решении практических вопросов, связанных с проектированием электрических машин постоянного тока.

«Для выяснения потока утечки необходимо знать размеры всего машинного остова; но при расчете машины размеры магнитных сердечников могут быть определены только по выяснении проходящего по ним магнитного потока, следовательно, необходимо иметь предварительно хотя бы приблизительную величину коэффициента утечки. Для такой ориентировки в величине поперечного сечения магнитов для значения  $\sigma$  могут быть взяты цифры, приведенные в § 5 для различных типов индукторов.

Если между предварительно принятой и полученной потом по расчету величиной выходит значительная разница, то, желая сохранить избранную индукцию  $B_m$ , придется соответственно изменить сечение магнитов»<sup>1</sup>.

Следует подчеркнуть своеобразность изложения в книге проф. П. П. Копняева одного из наиболее трудных разделов теории машин постоянного тока, а именно, раздела об обмотках якоря. Сначала даются общие соображения об образовании параллельных и последовательных обмоток, простых и кратных, на примере кольцевого и барабанного якоря. Затем приводится довольно простой вывод общей формулы обмотки:

$$y = \frac{js + 2ac}{2p},$$

<sup>1</sup> П. П. Копняев. Электрические машины постоянного тока. Государственное издательство Украины. Харьков, 1926. Стр. 39



где  $y$  — полный шаг обмотки,  
 $f$  — шаг обмотки в магнитном поле,  
 $s$  — число индуктирующих сторон во всей обмотке,  
 $a$  — число пар параллельных ветвей,  
 $c$  — число активных сторон в секции,  
 $p$  — число пар полюсов.

После вывода общей формулы обмотки приводится ряд примеров на различные типы обмоток кольцевого и барабанного якоря, показывается применение для них общей формулы и отмечаются их особенности. После вывода формулы электродвижущей силы якоря:

$$E = \Phi \frac{N}{a} \frac{pn}{60} 10^{-8},$$

где  $\Phi$  — поток,  
 $N$  — число проводников обмотки якоря,  
 $n$  — число оборотов в минуту,

даются практические указания об использовании этой формулы при расчете машин постоянного тока. Имея заданную электродвижущую силу  $E$  и число оборотов  $n$ , можно после выбора обмотки с числом проводников  $N$  и числом пар параллельных ветвей  $a$  определить необходимый поток

$$\Phi = \frac{60a E 10^8}{p n N}$$

и приступить к определению магнитодвижущей силы обмотки возбуждения.

В заключение раздела об обмотках доказывается, что мощность машины при прочих равных условиях не зависит от принятого типа якорной обмотки. Если, например, электродвижущая сила последовательной обмотки будет в  $p$  раз больше, чем у параллельной, то соотношение токов при равных условиях нагревания будет обратным, поэтому мощность машины с параллельной или последовательной обмоткой будет одна и та же при прочих одинаковых условиях.

Важнейший и труднейший вопрос теории машин постоянного тока — коммутация — изложен достаточно подробно. Математически исследованы основные условия коммутирования, доказано условие безискровой коммутации, приведен расчет реактивной электродвижущей силы и проанализированы основные способы улучшения коммутации.

В главе «Соединения генераторов» рассматривается не только параллельная работа генераторов параллельного возбуждения и параллельная работа генераторов смешанного возбуждения, как это принято в учебной литературе, но рассматривается также параллельная работа генератора параллельного возбуждения совместно с аккумуляторной батареей, затем последовательное соединение генераторов с независимым и последовательным возбуждением и, наконец, последовательное соединение генераторов параллельного возбуждения с генераторами смешанного возбуждения.

Подробное изложение теории электрических двигателей постоянного тока, их особенностей и характеристик сопровождается многочисленными практическими указаниями по управлению электродвигателями, а также приводится ряд цифровых примеров по расчету различных характеристик двигателей параллельного возбуждения и двигателей последовательного возбуждения. Здесь же приводится указание о значении метода графического построения характеристик: «...приведенный здесь графический прием построения характеристик полезен в том отношении, что уясняет целый ряд связей между различными величинами двигателя и, кроме того, он является единственным средством для выяснения характеристик при проектировании двигателя»<sup>1</sup>.

В главе «Машины и их соединения специального назначения» рассматриваются машины с разомкнутой обмоткой якоря, делители напряжения, машины для освещения поездов и сварки, система генератор-двигатель (система Г-Д и система Г-Д с маховиком).

Рассматривая делители напряжения, П. П. Копняев указывает, что Доливо-Добровольский первый предложил очень простой тип делителя напряжения с реактивной катушкой, а Зенгель, применив вместо одной три реактивных катушки, включенные звездой под углом  $120^\circ$ , по существу только несколько видоизменил схему включения нейтрального провода в делителе напряжения, изобретенном Доливо-Добровольским.

Особое значение с методической точки зрения имела глава «Исследование машин». В то время еще не было

<sup>1</sup> П. П. Копняев. Электрические машины постоянного тока. Харьков, 1926. Стр. 213.

таких пособий по испытанию электрических машин, как появившиеся позже руководства проф. Л. М. Пиотровского, проф. В. С. Кулебакина и др.

В главе «Исследование машин» рассматриваются почти все основные способы испытания электрических машин постоянного тока: измерение сопротивления обмотки якоря, измерение сопротивления контакта щеток, измерение общего сопротивления якоря, измерение сопротивления обмотки индукторов и ее температуры, измерение температуры якоря и коллектора; способы определения коэффициента полезного действия машины, прямое измерение отдачи колодочным тормозом, саморегулирующимся ленточным тормозом, способом вспомогательного двигателя, способом преобразования; нахождение отдачи методом определения потерь, способом холостого хода и короткого замыкания, методом взаимной нагрузки; разделение потерь методом холостого хода, методом самоторможения; снятие кривой распределения индукции магнитного поля в зазоре, снятие потенциальной кривой, определение коэффициента утечки, снятие кривой коммутирования. Этот раздел написан настолько живо и конкретно, с числовыми иллюстрациями на ряде примеров, что и до сих пор студенты иногда обращаются к этой главе при выполнении учебных работ по исследованию машин постоянного тока в электромашинной лаборатории.

В главе XVII «Расчет машин» в последовательном порядке изложен электрический расчет машины постоянного тока с включением основных расчетов на механическую прочность и приближенного теплового расчета.

Проектирование электрической машины постоянного тока требует тщательного подхода к расчету каждого элемента машины, вдумчивого выбора электрических, магнитных, тепловых и механических нагрузок, учета распределения потерь и условий охлаждения при обеспечении заданных характеристик, высокого коэффициента полезного действия, наименьшего веса, трудоемкости и стоимости.

Удачно сконструированная машина имеет не только хорошие эксплуатационные показатели, но является также нетрудоемкой в производстве, удобной в сборке, сравнительно легкой по весу и относительно дешевой. Удовлетворить всем этим требованиям можно лишь с учетом ком-



плекса вопросов, обусловленных расчетом, конструированием и технологией производства электрических машин.

Обращая внимание на эти вопросы, проф. Копняев пишет: «... конечной целью расчета генератора или двигателя является стремление сконструировать такую машину, которая была бы в состоянии развить данную мощность при выбранном напряжении и числе оборотов, а также при определенном коэффициенте полезного действия. Кроме этого основного требования должны быть выполнены другие условия правильной работы — коммутирование без искрения, не чрезмерное нагревание отдельных частей, возможность регулировать напряжение при генераторе или обороты при моторе и т. п.; наконец, машина должна быть не только совершенной в техническом отношении и прочной, но в то же время и возможно дешевой»<sup>1</sup>.

Метод электрического расчета машины постоянного тока проф. П. П. Копняев излагает в следующем порядке: 1) Выбор числа полюсов. 2) Выбор типа обмотки. 3) Определение диаметра и длины якоря. 4) Расчет обмотки якоря. 5) Определение размеров паза и зубца. 6) Расчет коллектора и выбор щеток. 7) Определение размеров полюсов и станины. 8) Определение намагничивающей силы при холостом ходе и при нагрузке машины. 9) Расчет обмотки возбуждения. 10) Расчет реостата в цепи возбуждения. 11) Расчет пускового реостата. 12) Расчет добавочных полюсов. 13) Определение потерь и коэффициента полезного действия. 14) Проверка нагревания машины. 15) Построение характеристик машины. 16) Расчеты на механическую прочность.

Каждый этап расчета проф. П. П. Копняев сопровождает конкретными указаниями об условиях использования не только специальных научных и технических принципов, но и данных, полученных из практики, в результате чего весь ход проектирования получается обоснованным принципиальными и практическими соображениями. При этом он предостерегает, что расчет электрической машины нельзя вести путем механической подстановки величин в соответствующие формулы. Необходимо тщательно, вдумчиво и критически анализировать как используемый при расчете материал, так и получаемые результаты.

<sup>1</sup> П. П. Копняев. Электрические машины постоянного тока. Госиздат Украины. 1926. Стр. 346.

Проф. Копняев указывает: «Очень часто изменение или неудачный выбор одной из величин сказывается весьма сильно на характере работы и на качествах самой машины; предварительное построение характеристик, раскрывающих главные особенности работы проектируемой машины, а также возможность осветить теорией все основные явления в генераторах и моторах позволяют проектирующему уяснить себе тесную связь между отдельными величинами и распорядиться ими согласно поставленным требованиям»<sup>1</sup>.

Проф. П. П. Копняев считал, что поскольку электрическая машина является важнейшим элементом в любой области электрификации, каждый инженер-электрик, окончивший вуз, должен быть вооружен отчетливыми знаниями основ электрического расчета машин, чтобы в своей инженерной деятельности уметь творчески сочетать теорию и практику в их развитии. Поэтому не только специализировавшимся в области электромашиностроения, но и в области электротяги, электропривода, электроаппаратостроения и электроэнергетики проф. П. П. Копняев излагал основы электрического расчета машин. Этим и объясняется то, что сравнительно большое место в его учебнике по электрическим машинам постоянного тока заняла глава, посвященная расчету электрических машин, а также подробно изложен в главе XVIII примерный расчет генератора постоянного тока на 60 квт, 120 вольт, 225 об/мин.

Большой фактический материал и методические указания, приведенные в главах по расчету электрических машин постоянного тока, направлены на то, чтобы научить студентов в процессе изучения ими курса электрических машин и выполнения курсовых проектов по электрическим машинам решать основные инженерные задачи по своей электротехнической специальности, опираясь на обобщенные данные теории и практики.

Глава XVI под названием «Поле междужелезного пространства» представляет собою извлечение из большой научной работы проф. Копняева «Магнитное поле в междужелезном пространстве электрических машин».

При расчете и исследовании электрических машин в ряде случаев необходимо знать распределение поля в воз-

<sup>1</sup> П. П. Копняев. Электрические машины постоянного тока. Госиздат Украины. 1926. Стр. 346.



душном зазоре. Форма кривой поля тесно связана с формой полюсного наконечника. Проф. Копняев пишет: «Можно указать на два пути для определения кривой поля: один заключается в том, что вычерчиваются возможно правильное силовые трубки поля, и уже отсюда выясняется его сила в той или другой точке поверхности якоря; другой способ, минуя вопрос о самой форме силовых трубок, выясняет поле в данной точке якоря, пользуясь чисто магнитными соотношениями, например, взаимодействием между намагниченными массами индуктора и якоря»<sup>1</sup>.

Если известна форма полюсного наконечника, то построение кривой поля может быть выполнено путем вычерчивания картин магнитных трубок в воздушном зазоре (метод Арнольда).

Известно, что распределение поля устанавливается всегда такое, при котором обеспечивается наибольшая магнитная проводимость. Поэтому следует на глаз вычертить несколько вариантов наиболее вероятного распределения поля и выбрать то распределение, которое даст нам наибольшее значение магнитной проводимости между полюсным наконечником и поверхностью якоря.

Магнитная проводимость трубки, имеющей в направлении оси машины размер  $l_n$  [м], равна (рис. 1)

$$\Lambda_x = \mu_0 l_n \frac{b_x}{\delta_x}, \text{ где } \mu_0 = 4\pi 10^{-7} \frac{\text{гН}}{\text{м}}.$$

Пронизывающий трубку магнитный поток

$$\Phi_x = \Lambda_x M_n$$

где  $M_n$  — м.д.с., действующая между полюсным наконечником и якорем.

Полный поток в зазоре:

$$\Phi = \Sigma \Phi_x.$$

При построении кривой поля величина магнитной индукции в любой точке  $x$  поверхности якоря определится по формуле

$$B_x = B_0 \frac{b_x \delta}{a_x \delta_x},$$

где  $B_0$  — индукция под серединой полюса.

Для точек, расположенных вблизи нейтрали, приведен-

<sup>1</sup> П. П. Копняев. Электрические машины постоянного тока. Госиздат Украины. 1926. Стр. 323.

ная формула даст приувеличенные значения, так как при построении кривой поля рассматриваемым методом не учитывается влияние соседних полюсов. Эта ошибка должна быть исправлена на глаз (рис. 1), учитывая, что на нейтрале  $B_x = 0$ .

Метод Арнольда требует нескольких построений и сопоставления результатов, причем для выполнения необхо-

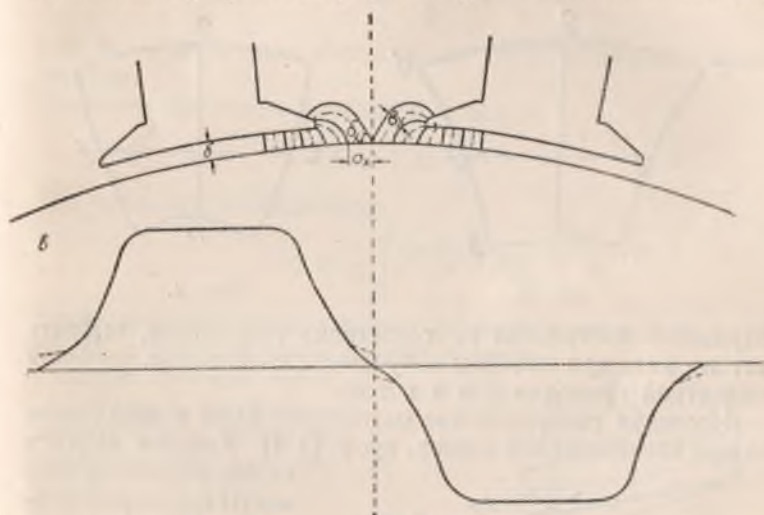


Рис. 1.

димых построений требуется известный навык у пользующихся этим методом.

Следует учесть, что вычерчивание картины поля значительно облегчается, если одновременно строить и равнопотенциальные поверхности, пересекающие магнитные линии под прямым углом.

Обычно, по предложению Лемана, строят единичные трубки наподобие криволинейных квадратных клеток с равными расстояниями между серединами противоположных сторон и с прямыми углами в вершинах (рис. 2,3).

Проводимость таких трубок независимо от их размеров и формы будет всегда равна единице, если третий размер, перпендикулярный к чертежу, будет равен единице. Поэтому и потоки всех трубок тоже равны:

$$\Phi_x = p_0 I_n M_k.$$

Полный поток

$$\Phi = \Phi_x n,$$

где  $n$  — число единичных трубок во всем рассматриваемом пространстве.

И по способу Лемана картина поля строится в известной мере на глаз, поэтому необходимо выполнить несколько



Рис. 2.

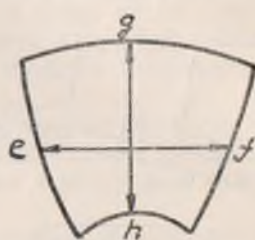


Рис. 3.

вариантов построений и, сопоставив результаты, выбрать тот из них, при котором получаются наибольшие значения магнитной проводимости и потока.

Исследуя распределение магнитного поля в воздушном зазоре электрических машин, проф. П. П. Копняев задался

целью устранить элементы некоторой произвольности в существующих способах построения картины поля (методы Арнольда и Лемана) и разработать такой метод, который был бы более объективным по существу и требовал бы более простых приемов

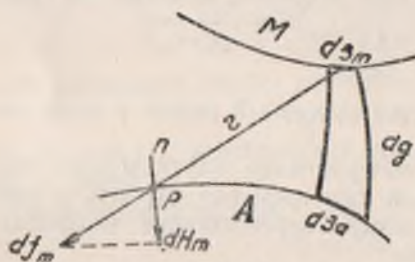


Рис. 4.

при его применении. Такой метод проф. П. П. Копняеву удалось найти. Рассмотрим сущность этого метода. Предположим, имеются поверхности  $M$  полюсного наконечника и  $A$  якоря (рис. 4),

обозначим:

$ds_m$  — элемент на поверхности полюса,

$ds_a$  — сечение элементарной трубки на поверхности якоря,



$df_m$  — сила в точке  $P$  от действия элемента полюса  $ds_m$ ,  
 $dg$  — проводимость трубки потока, выходящего из элемента  $ds_m$ .

Математическое исследование дает выражение для индукции в точке  $P$ :

$$B = \frac{1,25 M_l}{4\pi} \int_M \frac{\cos(r, n)}{r^2} dg,$$

где  $M_l$  — магнитодвижущая сила двух воздушных промежутков.

Напишем последнее равенство в виде:

$$B = 1,25 \frac{M_e}{2} \gamma,$$

где удельная проводимость

$$\gamma = \frac{1}{2\pi} \int_M \frac{\cos(r, n)}{r^2} dg.$$

Здесь интеграл распространен по всей поверхности полюса  $M$ , с которой поток входит в якорь.

Если плоский полюс шириною  $b$  наклонен к якорию  $A$  под углом, то проводимость для точки  $P$ :

$$\gamma = \frac{\sin \alpha}{\pi \cdot a} \cdot \frac{\varphi}{h},$$

где  $\varphi$  — угол, под которым видна ширина полюса из данной точки,

$h$  — длина перпендикуляра, опущенного на поверхность полюса.

Соответственно с чертежом (рис. 5) углу  $\varphi$  можно дать такое аналитическое выражение:

$$\varphi = \arctg \frac{x_2}{h} - \arctg \frac{x_1}{h} = \arctg \frac{x_2 - x_1}{h \left( 1 + \frac{x_1 x_2}{h^2} \right)}.$$

Машины постоянного тока иногда выполняются с постоянным воздушным зазором  $\delta$  вдоль всей окружности полюсного наконечника (рис. 6).

Для построения кривой  $\gamma$  разворачиваем полюсный наконечник вместе с поверхностью якоря в плоскость, со-

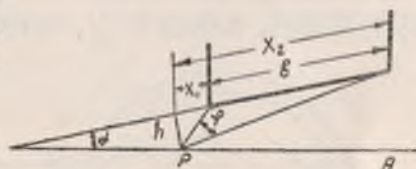


Рис. 5.

храня их взаимное положение, причем кривые линии заменяем ближайшими к ним прямолинейными отрезками. Теперь очертание полюсного наконечника будет составлено из прямолинейных отрезков (рис. 7).



Рис. 6.

В данном случае, когда полюсный наконечник по всей своей дуге концентричен с якорем

$$\frac{\sin \alpha}{\alpha} = 1,$$

поэтому  $\gamma = \frac{\pi}{\pi b}$ .

Пользуясь линейкой и транспортиром (см. рис. 7), можно легко вычислить и построить кривую  $\gamma$ .

Из построения видно, что против середины полюса проводимость близка к  $\frac{1}{b}$ , затем по мере приближения

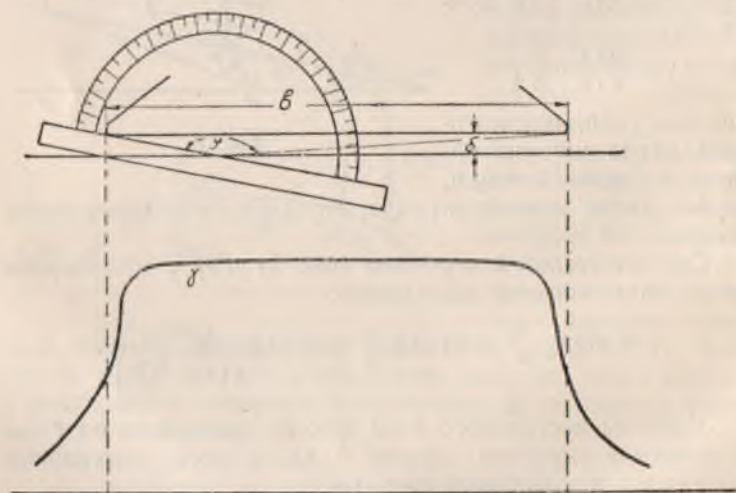


Рис. 7.

к краям полюса  $\gamma$  падает, сначала медленно, потом быстро и под краем полюса уменьшится почти вдвое, а дальше к нейтрали должна приближаться к нулю.

Метод проф. П. П. Копяева может быть использован для определения проводимости при любой форме полюсного наконечника. Зазор под полюсом  $\delta$  часто делается неравномерным

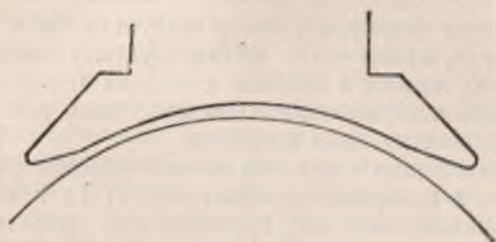


Рис. 8.

с целью уменьшения потерь от пульсации, а также для улучшения коммутации.

Предположим, полюсный наконечник имеет слегка скошенные края (рис. 8). Развернем полюсный наконечник вместе с поверхностью якоря в плоскость, сохраняя их

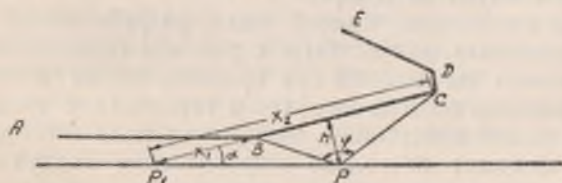


Рис. 9.

взаимное положение, причем закругления заменим ближайшими к ним прямолинейными отрезками (рис. 9).

В расчет принимаем только те из прямолинейных отрезков, из которых поток попадает в якорь. Это будет полюсная дуга  $AB$ , приподнятые края  $BC$  и радиальные обрезы наконечников  $CD$ .

Проводимость в любой точке  $P$  выразится суммой:

$$\gamma = \Sigma \gamma_i,$$

где каждое из трех слагаемых

$$\gamma_i = \frac{\sin \alpha}{\pi \cdot a} \cdot \frac{\varphi}{h}.$$



Для взятого отрезка с переменной точки будут изменяться только  $\varphi$  и  $h$ .

Для точки  $P_1$ , лежащей на продолжении  $BC$ , раскрытие неопределенности даст:

$$\gamma = \frac{\sin \pi}{\pi a} \left( \frac{1}{x_1} - \frac{1}{x_2} \right).$$

При выводе формулы  $\gamma$  линии индукции были приняты за дуги круга, кроме того, не было учтено влияние поля катушек возбуждения и влияние соседних полюсов. Проф. П. П. Копняев показывает, какими способами должны быть внесены соответствующие поправки.

После изложения сущности нового способа построения кривой поля в воздушном зазоре проф. П. П. Копняев подробно останавливается на практическом применении его методов для определения эквивалентной ширины потока  $b_i$ , для определения магнитной проводимости пространства между поверхностью полюсного наконечника и поверхностью зубчатого якоря, для определения коэффициента зубчатого якоря  $k_z$ .

В заключение главы XVI приводится описание способа учета влияния насыщения стали на кривую распределения потока в воздушном зазоре.

Метод построения кривой поля, разработанный проф. П. П. Копняевым, может быть с успехом использован для самых точных вычислений при проектировании электрических машин как постоянного, так и переменного тока. Этот простой способ построения магнитного поля в воздушном зазоре учитывает не только сопротивление воздуха, но и наличие стальных участков в магнитной цепи электрической машины.

Давая оценку своему методу построения магнитного поля в воздушном зазоре, проф. П. П. Копняев пишет: «При расчете машины этот метод используется мною для разрешения ряда вопросов, как построение кривой результирующего поля, определение для безискровой работы величины сдвига щеток и других задач, важных для проектирующего уже в том отношении, что перед ним в конкретной форме уясняется связь между основными факторами работающей машины».

В главе XVIII «Примерный расчет машины» для машины мощностью 60 квт при 120 вольтах и 225 об/мин. по способу проф. П. П. Копняева построена кривая удельной

магнитной проводимости  $\gamma$ , а по ней кривая магнитной индукции  $B_m^1$ , которая возникла бы при этих значениях проводимости под действием магнитодвижущей силы одного воздушного зазора и затем на некотором протяжении построена кривая действительной индукции  $B_m$  с учетом насыщения стали магнитной цепи.

Прошло 50 лет после выхода в России первого капитального учебника по электрическим машинам постоянного тока, написанного профессором Харьковского технологического института П. П. Копняевым. Прошло почти 29 лет после выхода второго переработанного издания этой книги. За эти годы советское электромашиностроение, электротехническое образование, так же как и вся советская наука и техника, ушли в своем развитии далеко вперед. Появилось много учебников и книг и по электрическим машинам (например, акад. К. И. Шенфера, акад. М. П. Костенко, проф. Г. Н. Петрова, проф. Л. М. Пиотровского, проф. И. М. Постникова и др.), освещающих и обобщающих опыт самого передового в мире советского электромашиностроения.

Однако, следует подчеркнуть, что большой и всесторонний опыт, накопленный заслуженным проф. П. П. Копняевым на протяжении многих лет работы в Харьковском технологическом институте, позволил ему написать настолько глубоко продуманный и ценный учебник по электрическим машинам постоянного тока, что по своей значимости в научном и методическом отношении он и теперь еще может служить образцом при создании новых пособий и учебников по электрическим машинам.

*г. Харьков*

---