

985049
Министерство высшего и среднего специального образования РСФСР

Московское
ордена Ленина и ордена Трудового Красного Знамени
высшее техническое училище имени Н. Э. Баумана

НА ДОМ
НЕ ВЫДАЕТСЯ

На правах рукописи

В. П. ЧУМАКОВ

Теоретические основы технологии намоточных процессов в приборостроении

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
доктора технических наук



985049

Чумаков В. П. Теоретически

В директивах XXIII съезда КПСС по пятилетнему плану развития народного хозяйства СССР на 1966—1970 гг. указано: 3. «Повысить эффективность производства на основе технического прогресса...»

В этом существенная роль отводится комплексной механизации и автоматизации.

Комплексная механизация и автоматизация всех отраслей народного хозяйства СССР проводится на основе широкого использования средств электроники, счетно-решающих и управляющих устройств.

В этих устройствах находят большое применение разнообразные потенциометры, катушки индуктивности, дроссели, трансформаторы, проволочные сопротивления, электродвигатели, сельсины и другие узлы с обмотками.

Изготовление таких элементов связано с проведением намоточных процессов, применением специальных станков и контрольно-измерительной аппаратуры. От правильности проведения процессов наматывания зависят электрические характеристики, формы и размеры обмоток.

Намоточные работы имеют сравнительно большой удельный вес в технологических процессах изготовления многих изделий радио-электроники, приборостроения и электромашиностроения. Однако состояние намоточных работ характеризуется сравнительно низким уровнем механизации и автоматизации и недостаточно высоким качеством выполнения, что во многом объясняется отсутствием обоснованных рекомендаций и руководящих технических материалов. Режимы проведения намоточных процессов мало изучены и освещены в литературе.

Исследованию процессов наматывания уделяется недостаточное внимание. Известные теоретические работы касались лишь некоторых вопросов технологии изготовления обмоток. (Цветков Н. М., Скуратов А. Е., Лактаев В. С., Белевцев А. Т. и др.).

Анализ работы намоточного оборудования на многих приборостроительных предприятиях показал, что оно не отвечает требованиям массового производства изделий из-за низкой

670586

скорости наматывания и недостаточно высокой надежности (2; 6; 9)*).

Реферируемая диссертация посвящена разработке теоретических основ технологии намоточных процессов, созданию методов расчета их параметров и исследованию путей и средств повышения производительности намоточных операций.

В диссертации дано обобщение научно-исследовательских работ, проведенных автором в период с 1950 по 1965 гг.

I часть. ОСНОВНЫЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

ИССЛЕДОВАНИЕ ГРАНИЧНЫХ УСЛОВИЙ ДОПУСТИМЫХ УСИЛИЙ НАТЯЖЕНИЯ ПРОВОЛОКИ ПРИ НАМАТЫВАНИИ

Исследование имело целью установить влияние различных факторов на выбор оптимального натяжения проволоки при наматывании, обеспечивающего высокие качество, надежность и производительность изготовления обмоток.

В диссертации разработаны и обоснованы рядом исследований критерии граничных условий усилия натяжения проволоки при наматывании (14; 52; 62). Критерии учитывают технические требования к обмоткам, особенности их эксплуатации, свойства материала проволоки, изоляции и каркасов. **К критериям условия максимально-допустимого усилия натяжения** относятся (62, 111): тензочувствительность проволоки к деформациям (16, 31), тензочувствительности проволоки к напряжениям (49-а; 62), прочность и качество изоляции, предельная величина деформации каркасов малой жесткости (51), допустимое изменение физических свойств материала каркаса от натяжения проволоки (11), требования, вызываемые особыми условиями эксплуатации (31) и другие (62).

Даны формулы для подсчета тензочувствительности проволоки. По результатам экспериментальных исследований тензочувствительности различных видов обмоточной проволоки построены графики, указаны кривые изменения омического сопротивления, не исчезающего после снятия нагрузки. По графикам можно установить предельно допустимое натяжение проволоки при наматывании с учетом заданных допусков на обмотки и отклонений механических свойств проволоки.

*) Здесь и далее указаны работы автора по списку литературы в диссертации.

Предлагается специальная установка для определения тензочувствительности тонкой проволоки (54). При измерении на этой установке исключаются погрешности омического сопротивления от переходного сопротивления контактов и провисания проволоки и значительно уменьшаются другие составляющие погрешности измерения.

Разработана методика испытания качества изоляции на точечное повреждение в процессе растяжения тонких проводов. Рекомендуются установка для испытания (31). Установлены причины нарушения изоляции при наматывании.

К критериям условия минимально-допустимого усилия натяжения относятся критерии (62, 111), учитывающие необходимое усилие натяжения для изгиба проволоки и получения заданных по чертежу размеров и формы обмотки (50, 58, 63), получение требуемого коэффициента заполнения обмотки (11), удельного давления проволоки на каркас или межслоевую изоляцию (31) и другие (62).

МЕТОДЫ РАСЧЕТОВ СИЛЫ НАТЯЖЕНИЯ И ИЗГИБАЮЩИХ МОМЕНТОВ ПРОВОЛОКИ ПРИ НАМАТЫВАНИИ

При проектировании намоточных процессов, расчете и эксплуатации намоточного оборудования важно знать величины силы натяжения и моментов при наматывании. Знание этих величин дает возможность не только выбрать оптимальные режимы процессов наматывания, но и рассчитать ответственные узлы и детали намоточного оборудования и определить требуемую мощность электромотора.

При наматывании в сечении проволоки могут возникнуть в различных соотношениях упругие и пластические деформации от изгиба и растяжения. До сего времени не были определены истинные диаграммы деформирования и модули упругости различных видов намоточной проволоки. Все это вызывает известные затруднения в проведении расчетов.

Все возможные встречающиеся в практике виды взаимного проявления деформаций и напряжений при наматывании могут быть сведены к трем основным случаям расчета.

I-й случай, когда суммарные деформации или напряжения от изгиба и растяжения находятся в пределах упругой области.

II-ой случай, когда в наматываемой проволоке возникают пластические деформации.

III-й случай. Наматывание проволоки большой прочности с очень малым относительным удлинением.

В диссертации предлагаются методы расчетов силы натяжения и моментов при наматывании для всех указанных случаев и получены необходимые характеристики механических свойств различных марок проволоки (50, 52, 63).

Наибольшее распространение в практике нашел второй случай с возникновением пластических деформаций. В расчете используется гипотеза плоских сечений для упругопластического изгиба при наличии растягивающей силы и схематизированная диаграмма деформирования при растяжении мягкой проволоки. Автором получены истинные диаграммы деформирования (58), путем схематизации которых определены величины условных пределов текучести и модулей упругости различных видов отожженной проволоки.

Вычисления проведены применительно к четырем расчетным случаям, соответствующим различным соотношениям изгибающего момента и растягивающей силы.

В результате вычисления построены номограммы (фиг. 19 и фиг. 20).

Номограммы позволяют определить силу натяжения и моменты при наматывании в зависимости от $\bar{e}_и$ для различных $\bar{e}_р$ при $\bar{G}_т = 0,06$,

где

$$\bar{e}_и = \frac{e_и}{e_t} ; \bar{e}_р = \frac{e_p}{e_t} ; \bar{G}_т = \frac{G_t}{E} ;$$

$e_и$ — относительная деформация от изгиба,

e_p — относительное удлинение от растяжения,

e_t — относительное удлинение, соответствующее пределу текучести.

В приложении № 1 к диссертации приводятся результаты подсчетов силы натяжения и моментов для всех случаев в зависимости от $\bar{e}_и$ для различных $\bar{e}_р$ и $\bar{G}_т$.

Для проволоки, характеризующейся весьма малым остаточным удлинением, у которой имеют место при наматывании только упругие деформации, предлагается метод расчета допустимых усилий натяжения по характеристикам прочности с введением необходимых величин коэффициентов запаса (III-й случай).

Результаты расчетов по предлагаемой методике показали, что в ряде случаев намоточные станки имеют неоправданно увеличенные мощности и размеры деталей.

ИССЛЕДОВАНИЕ НАТЯЖЕНИЯ ПРОВОЛОКИ ПРИ ПРОХОЖДЕНИИ ЧЕРЕЗ НАПРАВЛЯЮЩИЕ УСТРОЙСТВА НАМОТОЧНЫХ, ОПЛЕТОЧНЫХ И ИЗОЛИРУЮЩИХ СТАНКОВ (64, 65)

На различных участках своего перемещения натяжение проволоки неодинаковое; оно изменяется при прохождении проволоки через направляющие устройства станков. Это может повлиять на качество и режим операций. Без учета изменения натяжения проволоки в направляющих устройствах станков нельзя правильно рассчитать и спроектировать намоточные и оплеточные процессы, натяжные, тяговые и другие устройства. Для некоторых видов станков важно знать, какая при этом затрачивается работа.

В диссертации дается определение и анализ составляющих работы, идущей на преодоление сопротивлений при прохождении проволоки через ролик: работы силы трения скольжения проволоки по ролику, работы упругого гистерезиса при изгибе и растяжении проволоки, работы потенциальной энергии, работы трения в опоре ролика и работы пластической деформации проволоки.

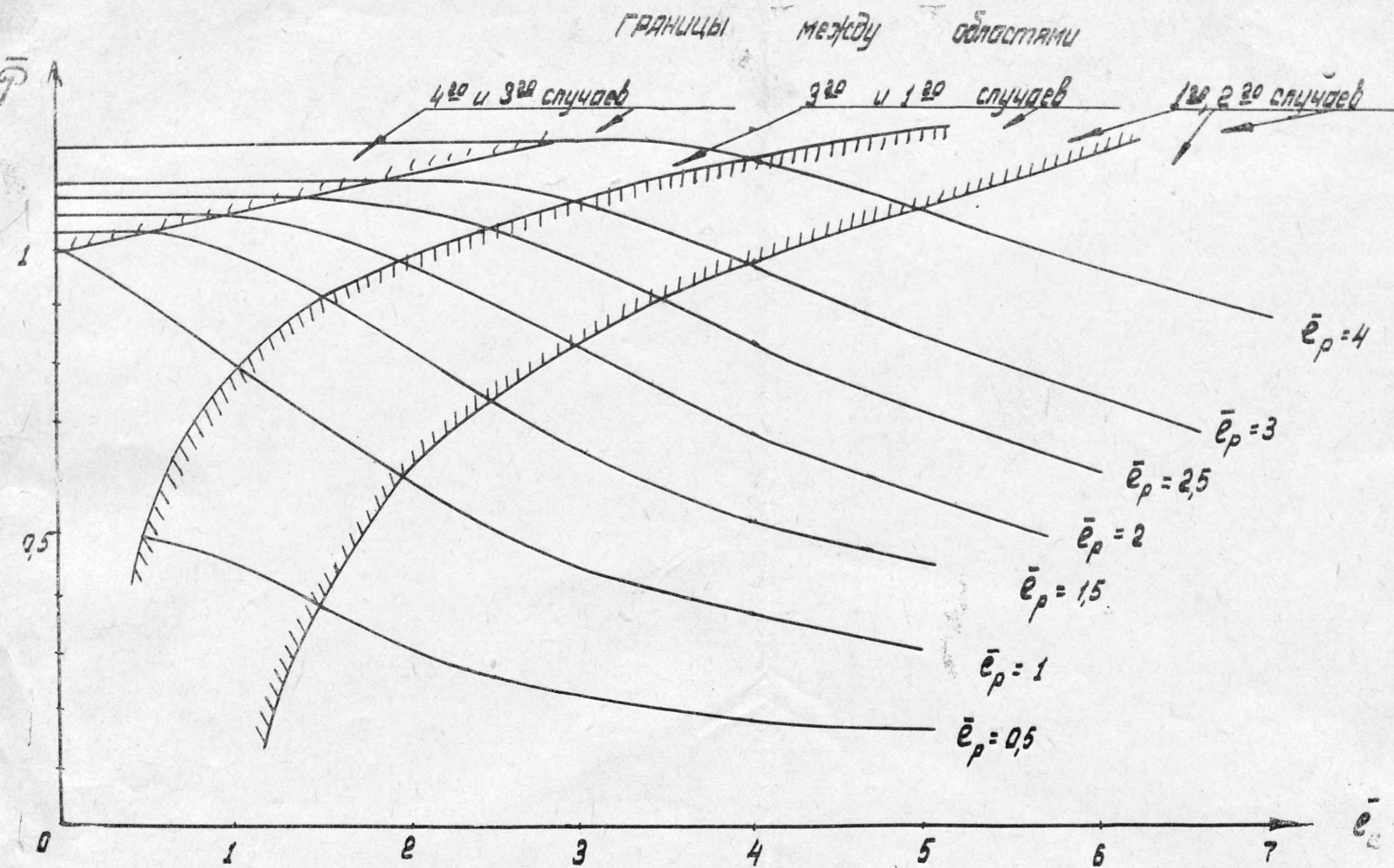
Анализ показал, что работа, идущая на преодоление сопротивлений проволоки при прохождении через ролик зависит, главным образом, от энергии, затрачиваемой на пластический изгиб и выпрямление проволоки, а также на преодоление момента трения в опоре ролика.

Из условий равенства работ внешних сил, приложенных на набегающем и сбегающем концах проволоки, и работ, идущих на преодоление сопротивления проволоки при прохождении через ролик, получена формула (37) для определения натяжения проволоки на набегающем конце.

Рассмотрено перемещение проволоки через криволинейные неподвижные направляющие детали станков. Выведены формулы для определения затрачиваемой работы и величины изменения силы натяжения проволоки для следующих случаев: а) идеально-упругий случай (проволока имеет изгибную жесткость), б) с учетом пластических деформаций проволоки.

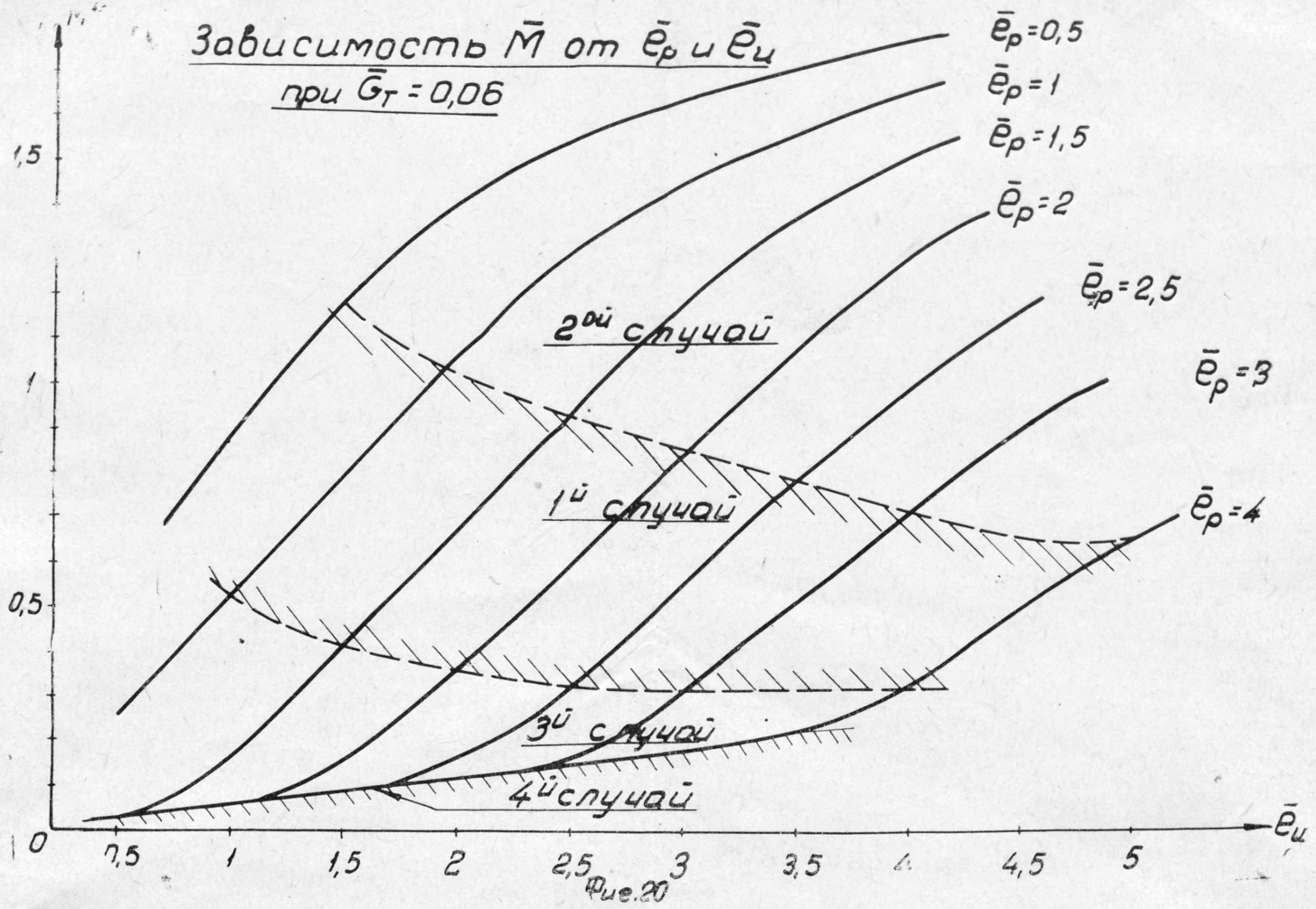
Для использования выведенных формул во многих случаях практики определены коэффициенты трения тонких проводов с различной изоляцией (122).

Коэффициенты трения определялись при движении проводов по направляющим деталям, изготовленным из различных материалов. Установлен ряд зависимостей коэффициен-



фиг. 19 Зависимость $\bar{P}$ от $\bar{e}$, для различных $\bar{e}_p$ и $\bar{\sigma}_r = 0.06$

Зависимость $\bar{M}$ от $\bar{e}_p$ и $\bar{e}_u$
 при $\bar{G}_T = 0,06$



тов трения от скорости перемещения проволоки и нормального давления.

Коэффициенты трения проводов с волокнистыми видами изоляций (ГОСТ 6329—52) по стали, алюминию, бакелиту и глазированному фарфору с увеличением скорости перемещения проводов возрастают.

Коэффициенты трения эмалированных проводов (ГОСТы 2773—51 и 7262—54) по указанным выше материалам с увеличением скорости перемещения проводов — уменьшаются. Полученные результаты и примененные методы исследований рекомендуются конструкторам и технологам, проектирующим намоточные и оплеточные станки и технологические процессы изготовления обмоток, оплеток и других изделий.

II часть. ИССЛЕДОВАНИЕ НАТЯЖНЫХ УСТРОЙСТВ НАМОТОЧНЫХ СТАНКОВ

Разработана классификация устройств для натяжения и демпфирования проволоки при наматывании. Все устройства можно разделить на четыре группы: тормозные устройства, демпфирующие устройства, регуляторы и устройства с неподвижной катушкой.

Систематизация натяжных устройств дает известные удобства при проектировании и унификации намоточного оборудования и типизации технологических процессов изготовления обмоток.

Устройства третьей группы являются более совершенными и находят широкое применение в современных намоточных станках. В течение продолжительного времени нами проводились исследования регуляторов в лабораторных и производственных условиях. Ряд расчетов и результатов исследований опубликован в печати (57, 75, 80). Исследование и расчет натяжных устройств с применением сельсинов, а также электромагнитных муфт, показали, что они не обеспечивают высокие скорости и качество наматывания (71, 81).

Натяжные устройства четвертой группы обладают рядом преимуществ и должны найти широкое распространение в приборостроении. Однако они мало исследованы.

ТЕОРИЯ, РАСЧЕТ И ИССЛЕДОВАНИЕ БЕЗЫНЕРЦИОННЫХ НАТЯЖНЫХ УСТРОЙСТВ

В безынерционных натяжных устройствах проволока при сматывании совершает сложное движение: она перемещается вдоль своей оси и вращается (баллонирует) вокруг оси ка-

тушки. Теоретическое исследование такого устройства представляет известные трудности. Исследование процессов сматывания тонкой проволоки в приборостроении необходимо разделить на два основных случая.

I-й случай. Сматывание тонкой мягкой отожженной проволоки, которую можно рассматривать при расчетах как идеальную гибкую нить.

II-й случай. Сматывание проволоки, изгибная жесткость которой может оказать существенное влияние на динамику процесса, натяжение проволоки и размеры баллона.

Сматывание мягкой проволоки. Исследован процесс баллонирования проволоки без ее продольного перемещения. Установлена зависимость натяжения проволоки и размеров баллона от ряда факторов.

При осевом сматывании проволоки большое влияние на ее натяжение, форму и размеры баллона оказывает сила инерции Кориолиса.

Действие кориолисовой силы в верхней половине баллона направлено в сторону вращения проволоки и против силы сопротивления воздуха, в нижней наоборот — против вращения проволоки и совпадает с направлением силы сопротивления воздуха.

Во многих случаях осевое сматывание проволоки с катушек проводится с большой скоростью ($v \geq 10$ м/сек) и влиянием нормальной силы инерции относительного движения нельзя пренебрегать. Результаты проведенных нами исследований аэродинамического сопротивления тонких проводов ПЭВ I и II, ПЭЛ и ПЭК показывают, что силы сопротивления воздуха по сравнению с силами инерции нормального ускорения и центробежной силой являются весьма малыми и при анализе процессов сматывания этих видов проводов аэродинамические силы можно не учитывать. В этом случае уравнения проекций на координатные оси действующих сил на элемент проволоки с учетом инерционной силы нормального ускорения в относительном движении будут:

$$\left. \begin{aligned} \frac{d}{dS} \left(T \frac{dx}{dS} \right) - m U^2 \frac{d^2 x}{dS^2} &= 0 \\ \frac{d}{dS} \left(T \frac{dy}{dS} \right) - m U^2 \frac{d^2 y}{dS^2} + m \omega^2 y - 2m \omega U \frac{dz}{dS} &= 0 \\ \frac{d}{dS} \left(T \frac{dz}{dS} \right) - m U^2 \frac{d^2 z}{dS^2} + m \omega^2 z + 2m \omega U \frac{dy}{dS} &= 0, \end{aligned} \right\} (42)$$

где T — натяжение проволоки,
 U — относительная скорость элемента проволоки, на-
 правленная продольно,
 m — масса единицы длины проволоки.

$$dS = \sqrt{1 + y'^2 + z'^2} \cdot dx$$

после преобразований и интегрирования, получим:

$$T = T_0 + \frac{m \omega^2}{2} (R^2 - r^2), \quad (46)$$

где T_0 — натяжение в месте отделения проволоки от катушки,
 r — радиус переменного сечения баллона.

Экспериментальные исследования показали, что T_0 — значительно колеблется. Максимальное значение натяжения проволоки возникает при $r=0$, т. е. в том месте, где проволока входит в направляющую втулку или ролик, или натяжное устройство. В случае многоволнового баллона имеется несколько точек с максимальными значениями натяжения. Минимальное значение натяжения возникает в точках наиболее удаленных от оси вращения.

АНАЛИЗ ПРОЦЕССОВ БАЛЛОНИРОВАНИЯ И СМАТЫВАНИЯ ПРОВОЛОКИ С УЧЕТОМ ВЛИЯНИЯ ЕЕ ЖЕСТКОСТИ

Учет влияния жесткости проволоки и действия всех сил и сопротивлений при ее сматывании значительно осложняет решение поставленных задач.

Динамическое равновесие баллона с учетом влияния изгибной жесткости проволоки ($U=0$).

На фиг. 37 показано действие сил и моментов на элемент dS баллонирующей проволоки.

Для его равновесия необходимо, чтобы главный вектор всех сил, действующих на элемент, был равен нулю:

$$-T_1 \bar{\tau}_1 + T_2 \bar{\tau}_2 - Q_1 \bar{n}_1 + Q_2 \bar{n}_2 + m y \omega^2 \bar{j} dS = 0, \quad (1)$$

выражение (1) можно записать в виде:

$$\frac{d}{dS} (T \bar{\tau}) \cdot dS + \frac{d(Q \bar{n})}{dS} dS + m y \omega^2 \bar{j} dS = 0. \quad (2)$$

После проектирования уравнения 2 на оси декартовой системы координат, преобразований и интегрирования получим:

$$\left. \begin{aligned} T \dot{x} + Q \dot{y} &= C \\ T \dot{y} - Q \dot{x} + \int_0^s m y \omega^2 dS &= 0, \end{aligned} \right\} \quad (6)$$

используя зависимости:

$$Q = \frac{dM}{dS} \quad (8)$$

$$M = EI k, \quad (8a)$$

где k — кривизна

$$k = \ddot{x} \dot{y} - \ddot{y} \dot{x}, \quad (9)$$

а также ряд тождеств, после преобразований получим:

$$\ddot{y} = \frac{\frac{1}{EI} \left[C_2 (1 - \dot{y}^2)^2 - C_1 \dot{y} \left(1 - \dot{y}^2 \right)^{\frac{3}{2}} - m \omega^2 \left(1 - \dot{y}^2 \right)^{\frac{2}{2}} \int_0^s y dS \right] - \ddot{y} \dot{y}^2}{1 - \dot{y}^2} \quad (13)$$

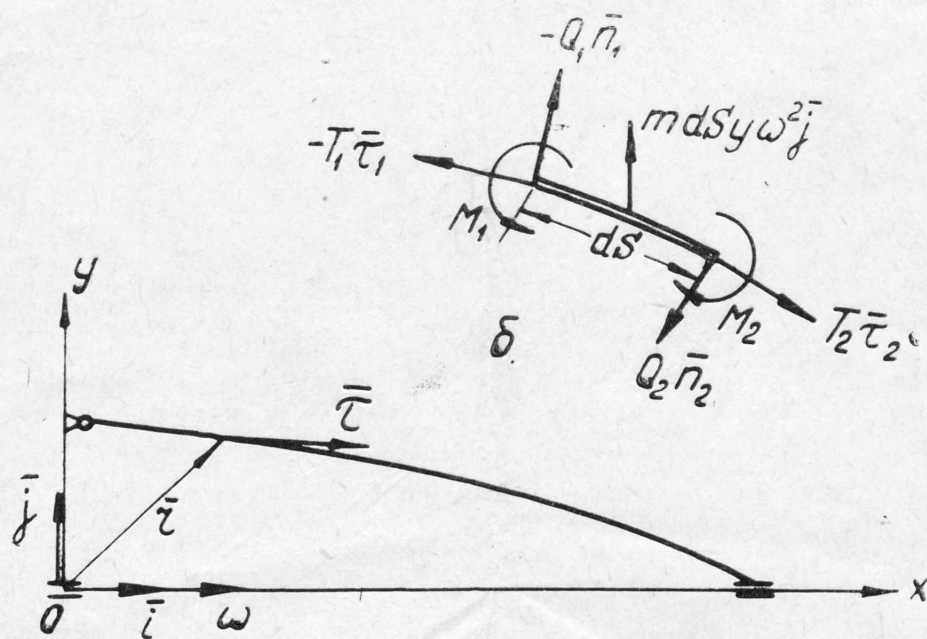
уравнение (13) вместе с уравнением

$$\dot{x}(S) = \sqrt{1 - \dot{y}^2} \quad (14)$$

решается численно на ЭЦВМ. Причем для данной системы уравнений решалась задача Коши. Экспериментальная проверка результатов численного решения показала, что разница в размерах баллона, определенных теоретическим и опытным путем не превышала 6—7%.

Поставлена задача о расчете и исследовании баллона и натяжении проволоки при осевом сматывании с катушки безынерционного устройства с учетом изгибной и крутильной жесткости проволоки, сопротивления воздуха и всех инерционных сил.

При этом дается вывод общих дифференциальных уравнений движения элемента проволоки в декартовых координатах.



а

фиг. 37.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ СМАТЫВАНИЯ И БАЛЛОНИРОВАНИЯ ПРОВОЛОКИ ПРИ ПОМОЩИ СКОРОСТНОЙ КИНОСЪЕМКИ, ЭЛЕКТРОТЕНЗОМЕТРИИ И СТРОБОСКОПА

Исследование имело целью установить качественные и количественные характеристики процессов осевого сматывания и баллонирования проволоки. Определить влияние основных параметров и режимов сматывания на форму и размеры баллона и натяжение проволоки. Проверить выводы теоретических исследований. Для эксперимента была использована скоростная киносъемка, измерения при помощи электротензометрии и стробоскопа. Съемка проводилась при помощи двух одинаковых скоростных кинокамер (модернизированных) — «СКС» — 1М. Для согласования отдельных кадров киносъемок одновременно двумя камерами использовались лампы вспышки, управляемые от реле времени, а также миллисекундомеры. Примененные методы киносъемки баллонизирующего участка проволоки обеспечивали получение согласованных по времени проекций.

Измерения натяжения проволоки проводились на специальном стенде.

Установлено влияние ряда факторов на величину натяжения проволоки, размеры и форму баллона. Большое действие оказывают центробежная сила и сила инерции Кориолиса. Выводы теоретических исследований о характере действия силы Кориолиса на прогибы баллона подтверждаются экспериментальными данными. Скоростной киносъемкой зафиксировано значительное искривление баллона в трансверсальной плоскости (фото 48, 49).

В процессе сматывания проволоки с постоянной скоростью размеры и форма баллона изменяются, что может быть следствием заклинивания сматываемых витков проволоки, изменением центробежной силы и сил инерции от переменной массы сматываемой проволоки и других причин. Натяжение проволоки при постоянной скорости сматывания претерпевает изменения, которые по своему характеру можно разделить на четыре категории: а) весьма малые изменения (порядка нескольких грамм), вызываемые непостоянством сил трения витков, отклонениями от соосности направляющей втулки и катушки и другими причинами; б) сравнительно большие изменения, происходящие вследствие трения витков об обод катушки, изменений углов схода проволоки и других причин; в) скачки усилий натяжения проволоки, возникаемые под

влиянием случайных факторов: прилипания и заклинивания витков, дефектов изоляции и др.; г) систематическое и медленное увеличение натяжения проволоки по мере ее сматывания с катушки.

Форма баллона с меньшей высотой устойчивее, чем баллонов с большей высотой (при прочих одинаковых условиях сматывания).

В диссертации приводятся осциллограммы изменений натяжения проволоки при прохождении через различные притормаживающие приспособления.

Примененные методы целесообразно рекомендовать для исследования намоточного оборудования.

ИССЛЕДОВАНИЕ АЭРОДИНАМИЧЕСКОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ ТОНКИХ ОБМОТОЧНЫХ ПРОВОДОВ

В работе впервые установлено влияние сопротивления воздуха на траекторию движения и натяжение тонких проводов в процессе наматывания и баллонирования. Особенно это важно знать при высоких скоростях наматывания. Для выяснения этих вопросов были проведены две серии экспериментальных работ по специально разработанной методике:

а) определение аэродинамических сил, действующих на прямой неподвижный отрезок неподвижного провода при различных скоростях установившегося движения воздуха и расположения отрезка провода относительно направления скорости движения воздуха (122);

б) исследование формы баллона вращающегося отрезка провода при помощи скоростной киносъемки и стробоскопа.

В первой серии исследований определялись две проекции аэродинамической силы в плоскости отрезка испытываемой проволоки и вектора скорости на направление скорости движения воздуха (лобовое сопротивление Q) и на перпендикулярное к нему направление (подъемная сила Y) при различных углах α (углах атаки между направлением отрезка проволоки и вектором скорости v). Зная эти две проекции можно определить величину и направление действующей полной аэродинамической силы.

По данным измерений построены кривые изменений аэродинамических коэффициентов C_x и C_y для различных марок и диаметров тонких проводов в зависимости от скорости воздушного потока, углов атаки α и других факторов

(фиг. 64, 72). Получены зависимости изменений подъемной силы и лобового сопротивления от означенных факторов (графики на фиг. 73—76).

III часть. ПУТИ И СРЕДСТВА ПОВЫШЕНИЯ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ НАМОТОЧНЫХ РАБОТ

Анализируя пути и средства повышения производительности, особое внимание было уделено вопросам, которые специфичны для намоточных работ и во многом определяют повышение их производительности: технологичность конструкции обмоток (3, 16, 94, 96), типизация технологических процессов изготовления обмоток (5, 6, 12, 102, 106), создание прогрессивных нормативов по намоточным работам и другие (15, 16, 120).

Мероприятия, способствующие повышению технологичности обмоток, можно разделить на три категории. Мероприятия первой категории способствуют сокращению основного времени наматывания; второй — сокращению вспомогательного времени и третьей — повышению качества изготовления обмоток и обеспечению их взаимозаменяемости по электрическим характеристикам.

В результате проведенных исследований и расчетов (18, 95, 97) в диссертации анализируются и рекомендуются основные пути рационального проектирования обмоток, предлагаются расчетные формулы и графики (16, 30, 51).

Большое значение имеет выбор схем укладки обмоток и оформление конструкции каркасов (11, 17), наилучшим образом обуславливающих получение высокой производительности и качества проведения намоточных процессов, а также правильный учет влияния отклонений физических свойств и диаметра проволоки на выходные характеристики обмотки (49-а, 113, 114), и рациональное оформление конструкций элементов обмоток (коэффициенты заполнения, лобовые части, выводы, заделка и крепление концов проводов и др.) (115, 116).

Типизация технологических процессов изготовления обмоток явится прочной базой для их централизованного производства, снижению трудоемкости и создания руководящих технических материалов по их изготовлению. Однако эти мероприятия не могут быть внедрены в производство без разработанных конструктивно-технологических классификаций обмоток и оборудования.

В основу классификации обмоток положен процесс наматывания, точнее принцип образования и укладки витков. Форма обмотки образуется в результате взаимосвязанных движений каркаса и наматываемой на него проволоки. Так как эти движения обеспечиваются кинематикой и конструкцией намоточных станков, то предлагаемая классификация должна послужить базой для их типизации.

Все обмотки мы разделяем на три класса: открытые, кольцевые и пазовые. Разделение обмоток на классы определяется как общностью выполнения намоточных операций, так и сходностью применяемого для этих операций оборудования.

Открытые обмотки (12, 102). К ним мы относим такие обмотки, которые получаются при наматывании проволоки снаружи каркаса, вращающегося вокруг собственной оси. При этом проволока или каркас, кроме основных движений, в подавляющем числе случаев имеет еще дополнительное закономерное движение вдоль оси каркаса, необходимое для получения надлежащей раскладки витков.

Кольцевые обмотки (12) образуются при огибании проволоки вокруг оси сечения каркаса. Последний, имея форму кольца или полукольца, медленно вращается вокруг своей оси, обеспечивая этим движением необходимую раскладку витков. Для огибания проволоки вокруг сечения каркаса она должна быть проведена внутри наматываемого контура; это осуществляется или специальными кольцевым челноком или иглками (крючками), или посредством других деталей.

Пазовыми обмотками (3, 18) мы называем обмотки, размещаемые в пазах пакетов якорей, роторов и статоров машин постоянного и переменного тока согласно электрической схемы обмотки. Пазовые обмотки разделяются на два вида: с наружным расположением пазов на пакетах и внутренним расположением пазов. В диссертации приводится разделение указанных классов на группы и типы обмоток и их технологические характеристики.

Нами разработаны конструктивно-технологические классификации станков для открытой, кольцевой и пазовой обмоток (3, 5, 6, 16, 17, 18) и описаны в литературе (94, 103). Эти классификации получили одобрения ряда организаций и в решениях научно-технических конференций (6, 46, 96, 100, 107). Исходными материалами для разработки классификаций послужили проведенные работы по исследованию производительности и точности работы намоточных станков (5, 6, 17, 19, 29, 80, 104, 106, 108).

(Рассмотрено 160 типоразмеров намоточных станков отечественного производства и иностранных фирм).

В основу классификации намоточного оборудования положены составленные нами технологические классификации обмоток и классификатор типоразмеров обмоток, принципиальные схемы работы и устройства станков, возможности механизации и автоматизации переходов при выполнении намоточной операции и другие исходные данные.

а) Станки для открытых обмоток мы разделяем на:

Станки общего или широкого пользования, которые можно применять для разнообразных видов обмоток (рядовой, однослойной, многослойной, бифилярной и других).

Станки специального назначения, применяемые для определенных видов открытых обмоток, сечений и размеров каркасов и относительно узкого диапазона диаметров проволоки. Например, станки для наматывания на плоские каркасы, наматывания микропроводом и др.

Станки высокой производительности. Это в большинстве своем автоматы и полуавтоматы, предназначенные для определенных типов и групп обмоток. Многие переходы, выполняемые на этих станках без участия работницы, относятся не только непосредственно к укладке витков, но и другим операциям; например, прокладка изоляции, выброс петли наматываемого провода и другие работы.

б) Станки для кольцевых обмоток мы разделяем на три группы:

к первой группе относятся станки, у которых намоточным устройством является челнок со шпулей (станки типа СНТ-5, СНТ-10У и др.);

вторая группа объединяет станки, осуществляющих наматывание шпулей без челнока;

к третьей группе относятся станки, у которых способы укладки витков отличаются от способов наматывания станков предыдущих групп. Станки предназначены для наматывания торойдов с диаметром отверстия после намотки менее $3 \div 5$ мм (микроторов).

в) Станки для пазовых обмоток мы разделяем на две группы: станки для наматывания пакетов с наружными пазами и станки для наматывания пакетов с внутренними пазами.

Станки для наматывания пакетов с наружными пазами включают две подгруппы: станки, у которых при наматывании пакет вращается вокруг оси, перпендикулярной оси пакета и станки, у которых пакет при наматывании неподвижен.

Подгруппу станков с вращающимся пакетом можно разделить на три типа: «станки широкого пользования», «специализированные» и «станки-полуавтоматы».

Станки для наматывания пакетов с внутренними пазами мы разделяем на две подгруппы: станки для раздельной намотки и укладки секций и станки, в которых намотка осуществляется посредством челнока.

В работе приводится дальнейшее разделение подгрупп классификации и указываются их типовые представители.

В диссертации рассмотрены вопросы создания прогрессивных нормативов по намоточным работам. На приборостроительных предприятиях нормирование намоточных работ производится, главным образом, с помощью опытностатистических норм и использования укрупненных показателей. Действующие нормативы отличаются между собой как по содержанию, так и по методике нормирования (120). Режимы наматывания в нормативах следует определять преимущественно расчетно-аналитическим путем с учетом предлагаемых автором критериев граничных условий натяжения проволоки и результатов научно-исследовательских работ.

В нормативах должны быть также указаны и обоснованы возможность и целесообразность в каждом типовом случае наматывания применение тех или иных мероприятий, повышающих производительность намоточной операции: многоступенчатое наматывание, механизация отдельных переходов и других. В наших работах (3, 16, 17, 18, 106) указываются пути и средства повышения производительности работ, учитываемых ручным и вспомогательным временем.

В диссертации указаны другие пути и средства повышения производительности намоточных процессов. В работах автора даны рекомендации по модернизации действующего намоточного оборудования и указаны основные направления по созданию высокопроизводительных станков (4, 16, 17, 103), повышению их качества и надежности (2, 17, 103).

*
* * *

В приложении к диссертации (II-й том) даются описания приборов и установок, примененных для исследований, результаты подсчетов по выведенным формулам, пояснения и схемы к технологическим классификациям обмоток и устройствам, регулирующим натяжение проволоки.

Диссертация была доложена в целом и по разделам и одобрена на ряде совещаний и конференций: «научном семинаре работников промышленности, исследовательских и учебных институтов», «Всесоюзном совещании по производству элементов электронной аппаратуры», «Всесоюзной конференции по приборостроению, организованной ВНИТОПРИБОРОм и ин-том машиноведения АН СССР», «Всесоюзном совещании по намоточному оборудованию», «на трех совещаниях научных работников технологических кафедр и представителей промышленности г. Москвы», «Всесоюзном совещании по снижению трудоемкости изделий» и других конференциях.

*
* *
*

По теме диссертации опубликованы 34 работы; среди них:

1. «О двух основных условиях операции наматывания». Труды МАТИ, сборник № 22, Оборонгиз, 1954 г.

2. «О скоростях и ускорениях при открытом наматывании». Труды МАТИ, сборник № 22, Оборонгиз, 1954 г.

3. «Изменение омического сопротивления тонкой проволоки в результате натяжения при наматывании». Сборник «Передовой опыт производства», Оборонгиз, 1954 г.

4. «Определение силы натяжения проволоки при наматывании». Журнал «Приборостроение» № 1, МАШГИЗ, 1959 г.

5. «Теоретическое исследование усилий при намотке». Сборник № 105, «Высокопроизводительные процессы и автоматическая оснастка в приборостроении» под ред. проф. Малова А. Н., Оборонгиз, 1961 г.

6. «Граничные условия, допустимых усилий натяжения проволоки при наматывании электроузлов». Журнал «Приборостроение», № 6, МАШГИЗ, 1965 г.

7. «Определение моментов при наматывании проволоки». «Известия высшей школы». Серия «Машиностроение» № 12, 1959 г. Гос. изд. «Советская наука».

8. «Об изменении натяжения проволоки при прохождении через направляющие устройства станков». Доклады «Высшей школы», серия «Машиностроение» и «Приборостроение» № 3, 1958 г. Гос. изд. «Советская наука».

9. «Единая технологическая классификация обмоток, как предпосылка для снижения трудоемкости намоточных процессов». Статья (совместно с преп. Николаевым Е. Н.) в «Сборнике трудов по снижению трудоемкости в приборостроении». Профиздат, 1957 г.

10. «О единой классификации обмоток». Статья в журнале «Авиационная промышленность» № 8, 1954 г., Оборонгиз.

11. «Общая классификация намоточных станков в приборостроении». Статья совместно со ст. преп. Николаевым Е. Н. в сборнике трудов кафедры «Технология приборостроения» МАТИ № 27, Оборонгиз, 1955 г.

12. «К вопросу о нормировании намоточных работ в приборостроении». Статья в сборнике «Высокопроизводительные процессы и автоматическая оснастка в приборостроении» под ред. проф. Малова А. Н., Оборонгиз, № 105, 1961 г.

13. «Вопросы точности технологических процессов намотывания электроузлов». Труды МАТИ № 127, Оборонгиз, 1956 г.

14. «Анализ работы принудительного привода катушки с проводом на станке СНП (для наматывания потенциометров на плоские каркасы)». Статья в сборнике П-8, № 105, Оборонгиз, 1961 г. (совместно с Комновым В. А.).

15. «О малоинерционном регуляторе». Статья в ЦБТИ № 8 Министерства электропромышленности, 1956 г. «Энергоиздат».

16. «Механизация обмотки малогабаритных якорей». Статья в сборнике трудов МАТИ № 33, Оборонгиз, 1957 г. и другие работы.



В области намоточных процессов и оборудования автором выполнены 23 научно-исследовательских работы.

