

## ТЕКСТИЛЬНЫЕ ЭЛЕКТРОНАГРЕВАТЕЛИ В ПРОМЫШЛЕННОСТИ И В БЫТУ

### ТС-31. Электробытовые приборы

#### ВВЕДЕНИЕ

В последнее время отмечается появление ряда новых направлений в области электронагрева. К существующим видам нагревательных устройств прибавились нагреватели на основе электропроводящих пленок, красок, бумаги, полимеров и т.п. Особо следует выделить давно известные, но только в последнее время получившие заметное развитие и применение на основе новых материалов и технологических процессов текстильные электронагреватели (ЭН). Среди существующих типов плоских гибких электронагревателей, отличающихся небольшой массой, эластичностью, простотой монтажа на обогреваемой поверхности, текстильные ЭН являются одними из наиболее перспективных, поскольку, кроме перечисленных преимуществ, обладают устойчивостью к механическим воздействиям, надежностью в работе и широким диапазоном тепловых и электрических характеристик.

Благодаря своим положительным свойствам текстильные ЭН могут применяться в самых различных промышленных устройствах и бытовых электроприборах. В настоящее время имеются нагревательные устройства различного назначения с использованием этих нагревателей. В данной работе сделана попытка обобщить материалы, имеющиеся в отечественной и зарубежной литературе по текстильным ЭН различного типа, уделив особое внимание использованию их в промышленности и быту.

#### ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ТЕКСТИЛЬНЫХ ЭЛЕКТРОНАГРЕВАТЕЛЕЙ

##### Классификация текстильных электронагревателей

К текстильным ЭН относятся такие нагревательные устройства, в которых одним из существенных элементов является текстильный материал, что позволяет получать гибкие ЭН малой толщины и большой поверхности нагрева, имеющие значительную механи-

ческую прочность, устойчивость к ударным нагрузкам и вибрациям и обладающие рядом других положительных качеств, свойственных текстильным материалам.

Все текстильные ЭН могут быть разделены на три большие группы. Первая группа включает нагреватели, в которых используется готовый электропроводящий текстильный материал, являющийся нагревательным элементом: металлические сетки, полученные на ткацких станках или трикотажных машинах, углеграфитовая ткань, изготовленная из вискозных волокон с последующей графитизацией, ткани, ставшие электропроводящими вследствие обработки различными веществами, и другие подобные материалы. По своим характеристикам и способам использования эти материалы близки к материалам других эластичных плоских нагревательных устройств, таких как электропроводящая резина, пластмасса и т.п. При их монтаже обязательно применение дополнительной изоляции. В нагревателях второй группы используются изоляционные свойства текстильных материалов. Получают их соединением нагревательного элемента с изолирующим текстильным основанием посредством пришивания, приклеивания, приваривания и т.д. Третьей группе текстильных ЭН относятся такие устройства, которые изготавливаются непосредственно на текстильном оборудовании путем комбинирования изолирующих и проводящих элементов в единое целое, что позволяет получать различные соединения нагревательных элементов и обеспечивает широкий диапазон электрических параметров нагревателей. Именно этой группе текстильных ЭН уделено наибольшее внимание в обзоре.

Учитывая особенности технологии производства и основные свойства текстильных ЭН третьей группы, их можно разделить на следующие виды.

Тканые электронагреватели представляют собой ткань из электроизоляционных нитей, в которую в процессе изготовления на ткацком станке введена нить из электропроводящего материала — нагревательный элемент. Таким образом, тканый ЭН состоит из нескольких систем электроизоляционных и проводящих нитей. Последние могут располагаться вдоль ткани (в ее основе) и поперек (в утке). Согласно этому различают основные и уточные ЭН, конструкция которых в наиболее простом виде представлена на рис. 1. Участки нагревательного элемента изолированы друг от друга нитью из изоляционного материала, которая, переплетая нагревательный элемент, связывает его с тканым основанием и закрепляет в определенном положении. В большинстве случаев, однако, применяют более сложные конструкции ткани для обеспечения заданной мощности нагревателя, его габаритных размеров, необходимой электрической прочности изоляции нагревательного элемента (которая также может быть получена в процессе изготовления нагревателя), а также других параметров.

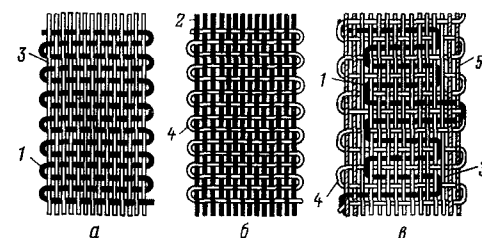


Рис.1. Уточный (а), основной (б) и секционный (в) тканые электронагреватели

1 и 2 — уточная и основная токопроводящие нити (нагревательный элемент); 3 и 4 — изолирующие нити основы и утка; 5 — токопроводящие шины

Вид переплетения и структура тканого ЭН существенным образом зависят от требований электрической и тепловой изоляции.

Нагревательный элемент может входить в качестве структурного элемента в однослойную нагревательную ткань, располагаться на поверхности тканого полотна, между двумя соединенными друг с другом полотнами или же внутри многослойной ткани, что соответственно предполагает и различную степень изоляции.

И при основном, и при уточном расположении нагревательного элемента могут применяться различные его соединения, выполненные непосредственно в процессе изготовления нагревателя на ткацком станке. Например, для параллельного соединения участков нагревателя с элементом, расположенным в утке, применяются переплетающиеся с ним основные нити из медной проволоки, выполняющие роль токонесущих шин. Образуются секции нагревателя, параллельно включенные на питающее напряжение (см. рис. 1).

Тканые ЭН выпускаются в виде лент шириной до 80 мм, изготавливаемых на лентоткацких станках, или нагревательной ткани шириной до метра и более, изготавливаемой на челночных ткацких станках. Различное расположение нагревательного элемента в ткани (в утке или в основе), изменение плотности его размещения в плоскости ткани, применение для него различных материалов — все это обеспечивает изготовление тканых ЭН практически любых заданных размеров, удельной мощностью от долей ватта до нескольких ватт на квадратный сантиметр поверхности для широкого диапазона питающих напряжений [1, 2]

Трикотажные электронагреватели изготавливаются на трикотажных машинах (плоских и кругловязальных) и содержат по крайней мере две необходимые составные части — гибкий резистивный нагревательный элемент и изолиру-

ющие нити. Как и для любого нагревательного устройства важнейшим параметром трикотажного ЭН является его удельное электрическое сопротивление. Последнее, в свою очередь, зависит от характера расположения нагревательного элемента в полотне, определяемого видом переплетения, характером взаимосвязи нагревательного элемента с изолирующей нитью, плотностью расположения нагревательного элемента в полотне, формой петли, теми электрическими соединениями, которые могут быть выполнены как в процессе изготовления трикотажного ЭН, так и после его завершения и т.д.

По своей структуре трикотажные нагревательные полотна могут быть разделены на два типа, в одном из которых большая часть нагревательного элемента располагается прямолинейно, а в другом нагревательный элемент выполнен в виде петель (рис.2). Форма петель при этом существенно зависит от того, насколько близки физико-механические свойства текстильной изолирующей нити и проводящей нити (нагревательного элемента).

В зависимости от способа производства трикотажное полотно может быть основовязанным и кулирным в зависимости от вида и расположения петель: в кулирном полотне петли, изготовленные из одной нити, располагаются в одном петельном ряду, а в основовязаном — в разных. Оба вида полотен представлены на рис. 2.

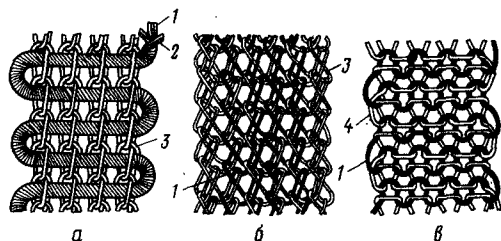


Рис.2. Основовязанный (а, б) и поперечновязанный (в), трикотажные электронагреватели  
1 — нагревательный элемент, 2 — изолирующая оплетка; 3 — основная изолирующая нить; 4 — кулирная изолирующая нить

Прямолинейное (в виде утка) расположение нагревательного элемента в трикотажном полотне обеспечивает последовательное соединение отдельных участков, при этом полное сопротивление нагревателя равно сумме сопротивлений всех нагревательных элементов. То же самое имеет место при расположении нагревателя в полотне в виде рядов кулирных петель, между которыми поперек полотна располагаются ряды петель из изолирующей нити. Измене-

нием количества последних можно менять плотность расположения нагревательного элемента в полотне, а следовательно его электрические и тепловые характеристики. В основовязанных полотнах ряды петель из проводящей нити располагаются вертикально (вдоль полотна) и отделены друг от друга изолирующими промежутками. Они могут соединяться по краям друг с другом различными способами.

Существует большое количество трикотажных переплетений, позволяющих получать ЭН с различными электрическими характеристиками. Хотя разнообразие структур нагревательных полотен, полученных на трикотажном оборудовании, меньше, чем у тканых, трикотажные ЭН имеют перед последними ряд преимуществ таких, как растяжимость многих структур, большая производительность при их изготовлении и т.д. [3].

Петельные электронагреватели изготовлены на плетельных машинах, отличительным признаком их является наличие нитей, расположенных по диагонали. Все нити, образующие плетельные ЭН, делятся на нити оплетки, которые, сходя, с установленных на веретенах шпуль и располагаясь по диагонали, переплетаются между собой, образуя основной фон плетельного изделия, и нити основы, не участвующие в переплетении и располагающиеся вдоль изделия между нитями оплетки. Нагревательным элементом могут служить как те, так и другие [4]. Оба случая представлены на рис. 3.

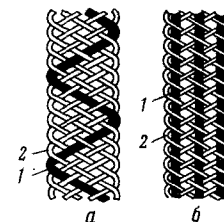


Рис.3. Плетельные электронагреватели с диагональным (а) и продольным (б) расположением нагревательного элемента  
1 — нагревательный элемент; 2 — изолирующая нить

Нетканые текстильные электронагреватели. Нетканые текстильные материалы объединяют широкий класс плоских волокнистых материалов, полученных на текстильных машинах, у которых, однако, не все составляющие их элементы имеют строго регулярное расположение. Нетканые текстильные материалы классифицируются соответственно

способам их производства. Наиболее целесообразно использовать для изготовления текстильных ЭН вязально-прошивной способ, при котором в качестве основы материала используются волокна, нити или готовый текстильный материал. Введение нагревательного элемента осуществляется в процессе формирования полотна. На рис. 4 показан нетканый текстильный ЭН, в котором нагревательный элемент закреплён между двумя холстами из электроизоляционных волокон, прошитыми на вязально-прошивной машине [5]. Другой способ получения нетканых текстильных ЭН заключается во внедрении определенного количества электропроводящих волокон в волокнистый холст, служащий для производства нетканого материала [6].

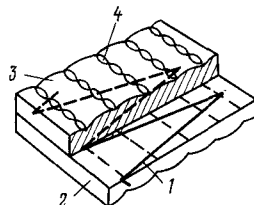


Рис. 4. Нетканый текстильный электронагреватель  
1 — нагревательный элемент; 2, 3 — холст из изоляционных волокон; 4 — провязывающие нити

Из описанных выше типов текстильных ЭН, изготавливаемых непосредственно на текстильном оборудовании, наибольшее распространение получили тканые. Существует также значительное количество нагревательных устройств с использованием трикотажных ЭН. Остальные типы текстильных ЭН применяются сравнительно редко.

Кроме структурных характеристик, основанием для классификации текстильных ЭН является также температурный диапазон их применения. Однако последний в значительной степени зависит от того, какие материалы использованы для нагревательного элемента и его изоляции.

#### М а т е р и а л ы, п р и м е н я е м ы е д л я и з г о т о в л е н и я т е к с т и л ь н ы х э л е к т р о н а г р е в а т е л е й

Как видно из описания конструкций текстильных ЭН, для их изготовления применяются волокнистые материалы двух видов: электропроводящие — в качестве материала для нагревательного элемента и электроизоляционные, обеспечивающие конструктивную целостность нагревателя и изолирующие участки нагревательного

элемента друг от друга и от внешних объектов. Кроме того, применяются также изолирующие материалы для создания дополнительной изоляции текстильных ЭН. Характеристики этих материалов влияют как на конструктивные особенности текстильных ЭН, так и на их свойства, а также определяют технологические возможности их изготовления. Ниже рассмотрены наиболее часто применяемые материалы.

#### Э л е к т р о п р о в о д я щ и е м а т е р и а л ы .

В качестве материала для нагревательных элементов текстильных ЭН применяются нити из разных проводящих материалов. Наиболее распространенными благодаря своим механическим и электрическим свойствам являются металлические нити, которые используются в виде мононити, комплексной или комбинированной нити.

Металлическая мононить — это проволока из различных металлов небольшого диаметра (от 0,04 до 0,5 мм).

Комплексная металлическая нить состоит из нескольких металлических нитей, расположенных параллельно или скрученных между собой. Число кручений может достигать до 200–400 на 1 м нити. При этом сильное скручивание делает нить более компактной, но увеличивает ее жесткость. Эти свойства играют существенную роль при переработке нити на текстильном оборудовании.

Комбинированные проводящие нити состоят из соединенных вместе металлических и простых текстильных нитей. При этом возможны такие виды соединения, как обкручивание металлической нити текстильной, навивание ее на текстильную нить как на сердечник и, наконец, скручивание металлической и текстильной нити между собой (рис. 5).

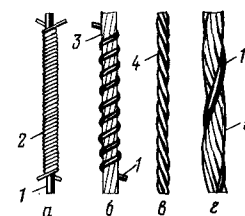


Рис. 5. Виды нагревательных элементов  
а — токопроводящая нить, обмотанная изолирующей нитью;  
б — токопроводящая нить, навитая на изолирующий сердечник;  
в — несколько токопроводящих нитей, скрученных вместе; г — токопроводящая нить, скрученная с изолирующей нитью; 1 — нагревательный элемент; 2 — нагонная нить; 3 — стержневая нить; 4 — крученая нить; 5 — изоляционная стренга

В первом случае проводящая нить, практически не теряя первоначальной гибкости, приобретает электрическую изоляцию, не склонна к образованию петель (сукрутин) и легче перерабатывается на текстильном оборудовании. При навивании проводящей нити на текстильную при той же длине нагревательного элемента сама нить будет иметь большую длину. В этом случае по сравнению с самой проводящей нитью растяжимость нагревательного элемента может быть повышена, а если используется металлическая проволока малого диаметра, то повышается и механическая прочность. Такой нагревательный элемент может быть дополнительно изолирован как текстильной нитью, так и слоем полимера.

В качестве материала металлических нитей, используемых для нагревательных элементов текстильных ЭН, применяются стали или сплавы высокого сопротивления, а в ряде случаев — чистые металлы (например, медь). Свойства и назначение материалов для нагревательных элементов приведены в табл. 1. Наибольшее распространение, как и в других типах нагревательных устройств, получил сплав никеля и хрома — нихром, имеющий высокое удельное сопротивление и выдерживающий большие температуры. Сплавы на железной основе, хотя и более дешевы, применяются реже, поскольку удельное сопротивление их меньше, а при нагреве до температуры 700°С они становятся хрупкими. Недостатком многих чистых металлов является их низкое сопротивление и высокая окисляемость при нагреве, но в некоторых случаях при изготовлении нагревателей на малые температуры и низкие напряжения нагревательные элементы из этих материалов (особенно меди) являются наиболее приемлемыми. Металлы, имеющие высокую температуру плавления (тантал, ниобий, вольфрам), могут применяться для высокотемпературных ЭН.

В качестве составляющей металлических комплексных нитей может служить не только металлическая проволока малых диаметров, но и особые металлические волокна диаметром 8–25 мкм. Металлические волокна отличаются от проволоки как способом производства, так и свойствами.

По физико-механическим свойствам они аналогичны текстильным волокнам [7]. Их используют в виде комплексной нити, а также небольшими отрезками, смешанными с текстильными волокнами и скрученными в нить (пряжу). В последнем случае электрическое сопротивление нити зависит не только от ее геометрических размеров и свойств металла, но и от процентного содержания металлического волокна в ней [8].

Из неметаллических проводящих материалов наиболее перспективными для текстильных ЭН являются углеграфитовые волокна, получаемые из вискозных путем их графитизации в инертной среде при высокой температуре (около 3000°С) [9]. В текстильных ЭН они могут применяться в виде отдельной нити или жгута, состоящего из нескольких нитей. В некоторых текстильных ЭН

Таблица 1

Материал нагревательного элемента	Удельное сопротивление, Ом·мм <sup>2</sup> /м	Относительное удлинение, %	Рабочая температура, °С	Температура плавления, °С
Нихром:				
X14H60	1,02–1,12	6–18	1000	1370
X20H80	1,00–1,12	6–18	1100	1390
Медь:				
ММ	0,0178	6–35	100–150	1083
МТ	0,0178	0,5–2,5	100–150	1083
Манганин	0,48–0,5	9–15	250–300	960
Константан	0,45–0,52	15–20	400–700	1270
Молибден	0,052	6–12	2000	2622
Вольфрам	0,055	12–15	2000	3400
Нержавеющая сталь	1,2–1,6	2–11	600–700	1350
Углеродное волокно	0,3–1,5×10 <sup>3</sup>	7–10	200–1000	3000

Таблица 2

Волокно	Удлинение, %	Удельное сопротивление, Ом·см	Температура плавления, °С	Температура размягчения, °С	Температура рабочей, °С
Хлопок	7–9	1,0/10 <sup>3</sup>	150	—	100
Шерсть	25–35	1,0×10 <sup>3</sup>	130	—	100
Асбест	—	10 <sup>6</sup> –10 <sup>10</sup>	1500	550	400
Капрон	20–25	1,96×10 <sup>9</sup>	215	170	120
Лавсан	20–25	1,0×10 <sup>3</sup>	260	230	175
Полиэтилен	15–40	1,0×10 <sup>3</sup>	132	110–132	75
Полипропилен	15–30	1,0×10 <sup>3</sup>	160	140	100
Стекловолокно	3,6–5	4×10 <sup>12</sup> –2×10 <sup>15</sup>	1200–1600	500–800	350–550

Продолжение таблицы 2

Волокно	Удлинение, %	Удельное сопротивление, Ом·см	Температура плавления, °С	Температура размягчения, °С	Температура рабочая, °С
Кварцевое	1-2	$3 \times 10^{17}$	1700-1800	спекание 1450-1500	1100
Керамическое	1-2	-	1815	1650	1435
Кремнеземное	-	$3 \times 10^{17}$	спекание без размягчения 1450-1500	-	1200

углеграфитовые волокна входят в состав волокнистого холста, составляющего основу полотна, и придают ему определенную электрическую проводимость.

Конструкционные материалы должны обладать не только изоляционными свойствами, но также достаточной механической прочностью и термостойкостью. Основной конструкционный материал текстильных ЭН — нити из электроизоляционных волокон. В зависимости от назначения и условий работы текстильных ЭН можно использовать нити из природных, искусственных и синтетических волокон. Характеристики основных материалов приведены в табл. 2.

Среди нитей, способных выдерживать высокую температуру, стеклонити наиболее пригодны для изготовления текстильных ЭН. Основное сырье для их выработки — это кварцевый песок, сода, доломит, полевой шпат и др. Механическая прочность стеклонитей в несколько раз превышает прочность нитей из других материалов. Они отличаются стойкостью к различным химически активным веществам, к воздействию микроорганизмов и т.д.

Стеклонити обладают высокой термостойкостью. Прочность стеклонити полностью сохраняется при нагревании ее до 250°С, в то время как ткани из органических волокон при этой температуре разрушаются. Для прочности нити при термообработке большое значение имеет состав стекла (рис. 6). Прочность волокон из бесщелочного стекла значительно снижается при температуре 400°С, прочность же кварцевых волокон при этой температуре практически не меняется. В последнее время получают широкое распространение из-за высокой термостойкости кремнеземные и каолиновые волокна.

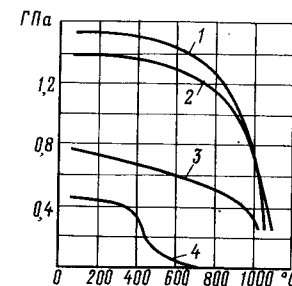


Рис. 6. Влияние температуры на механическую прочность термостойких волокон диаметром 6-8 мкм  
1 — кварцевое волокно; 2 — каолиновое волокно; 3 — кремнеземное волокно; 4 — асбестовое волокно

При температуре 1450-1500°С наблюдается спекание этих волокон, но без размягчения; хрупкими они становятся при температуре выше 1100-1200°С в условиях многократного нагрева и охлаждения.

Следует учитывать, что при нагреве волокна из различных видов стекла претерпевают усадку: их линейные размеры уменьшаются соответственно температуре нагрева. Этот недостаток устраняется предварительной термообработкой нити или же последующей термостабилизацией готового изделия.

К недостаткам стеклонити следует также отнести некоторое падение сопротивления при повышении температуры (табл. 3).

Таблица 3

Температура, °С	50	100	150	200	250
Удельное сопротивление, Ом·м	$1 \cdot 10^{15}$	$5 \cdot 10^{15}$	$3 \cdot 10^{15}$	$4 \cdot 10^{14}$	$2 \cdot 10^{13}$

Другой недостаток стеклонитей — их малая устойчивость к многократному изгибу, а также малая величина удлинения (1-3%), что существенно ухудшает их переработку на текстильном оборудовании.

Одним из распространенных видов термостойких волокон является асбестовое волокно. Асбест — природный материал, состоящий из волокон длиной несколько сантиметров, обладающий электроизоляционными свойствами и выдерживающий температуру до 400°С. Асбестовое волокно по сравнению с органическими текстильными волокнами более жесткое и менее прочное. Для улучшения механических свойств асбестовой нити при переработке в нее добавляют от 5 до 20% волокон хлопка.

Из синтетических волокон в качестве конструкционного материала для текстильных ЭН применяется волокно из полиэфирных смол — лавсан, которое по таким свойствам как нагревостойкость, эластичность, стойкость к химическим реагентам превосходит другие синтетические волокна. Существенным преимуществом лавсановых нитей по сравнению со стеклянными и асбестовыми являются их отличные технологические свойства, однако использоваться они могут только для текстильных ЭН, рабочая температура которых находится в пределах -60...+120°С.

В течение последних пятнадцати лет в СССР и за рубежом разработан ряд новых синтетических волокон, отличающихся устойчивостью к действию высоких температур (до 350°С). Характеристики наиболее важных из них приведены в табл. 4.

Т а б л и ц а 4

Волокно	Разрывная прочность, кг/текс	Удлинение, %	Температура потери 50% прочности, °С	Остаточная прочность после нагрева при 300°С в течение 100 ч, %	Усадка после нагрева при 300°С в течение 4 ч, %
Номекс (США)	54	15	230	—	—
Фенилон	45	15-20	268	54	5-6
Сулфон	35-40	16-18	300-320	85	4-6
Аримид	45-50	6-8	260-320	62	1,2
Оксалон	40-60	4-8	—	50	—

Физико-механические свойства этих волокон, от которых зависит их переработка на текстильном оборудовании, лучше, чем у стекловолокон, но хуже лавсановых. Кроме того, в настоящее время они выпускаются в небольшом количестве и стоимость их довольно высока.

Все перечисленные природные, искусственные и синтетические волокна используются как для образования структуры текстильных ЭН, так и для изготовления волокнистых холстов, тканей и трикотажных полотен, предназначенных для дополнительной изоляции нагревателей.

Изоляционные материалы. Внешняя изоляция нагревательного элемента может осуществляться изолирующими нитями, включенными в структуру текстильного ЭН, или полотнами, изготовленными из изолирующих нитей. Однако в некоторых случаях для улучшения электрической изоляции, а также для придания текстильным ЭН соответствующих свойств (например, влагостойкости) прибегают к нанесению на них дополнительного изоляционного слоя из термостойких материалов. Некоторые из них представлены в табл. 5 с указанием рабочих температур нагревателей, при которых они могут использоваться.

Т а б л и ц а 5

Материал	Температура, °С
Эпоксидные компаунды	до 100
Пластмассы	до 120
Пленочные материалы	60-80
Резина	80-150
Силиконовая резина	200
Фторопласт	150-250
Кремнийорганические лаки	600

Из пластмасс наиболее широко в качестве изоляции текстильных ЭН применяются полиэтилен и полипропилен, обладающие высокими диэлектрическими свойствами и легко поддающиеся различного вида термообработкам: литью, прессованию, экструдированию. В виде пленки они легко свариваются. Их недостаток — сравнительно малая гибкость.

Гибким материалом является резина, она стойка к многократным перегибам, влагостойка, однако под действием тепла со временем стареет, неустойчива к действию масел, бензина и т.п. Для изоляции текстильных ЭН пригодна силиконовая резина, работающая при высоких температурах и химически более стойкая. Одним из важных преимуществ силиконовой резины является ее способность вулканизироваться при низких температурах, что осо-

бенно существенно для использования в текстильных ЭН низко-температурных конструкционных материалов.

Фторопластовая изоляция применяется преимущественно в виде листов и пленок, а кремнийорганические лаки — в виде пропиток.

### Технология производства текстильных электронагревателей

Конструктивные особенности текстильных ЭН существенным образом зависят от типа и возможностей текстильного оборудования, используемого для их изготовления. Для выработки текстильных ЭН используется большое количество различных устройств, выполняющих ряд последовательных технологических операций по подготовке сырья, образованию нагревательного полотна и его отделке. Для каждого вида текстильных ЭН используются соответствующие текстильные машины, предназначенные для формирования определенных текстильных материалов, ибо они в основном и придают текстильным ЭН их специфические свойства.

Рассмотрим технологию производства ЭН на некоторых текстильных машинах.

Тканые ЭН изготавливаются на различных ткацких станках, отличающихся конструктивным исполнением рабочих органов и других элементов. Однако принцип выработки текстильного изделия на всех ткацких станках, пригодных для изготовления такого вида термического оборудования, остается неизменным и может быть объяснен на принципиальной схеме челночного ткацкого станка, представленной на рис. 7.

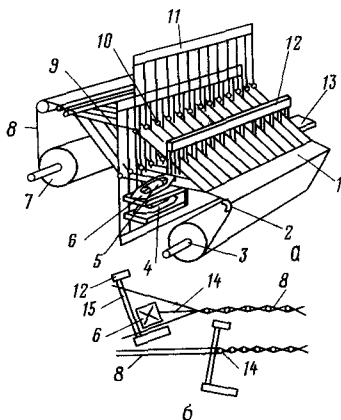


Рис. 7. Схема образования тканого электронагревателя  
а — ткацкий станок; б — образование элемента ткани  
14

Продольные нити (нити основы) 8, навитые на ткацкий навой 7, проходят через глазки 10 галев 9 и между пластинами 15 берда 12. Раздвигаемые галевыми 9, собранными в ремизки 11, нити основы образуют зев, в зоне которого между бердом 12 и краем (опушкой) ткани 1 прокидывается челнок 6. Расположенная в челноке шпуля 5 несет на себе уточную нить 14, прокладываемую в зев при движении челнока. После прокладывания уточной нити движение ремизок в вертикальном направлении приводит к закрытию зева. Одновременно уточная нить 14 пластинами 15 при движении батана 13 прибавляется к опушке ткани, образуя очередной ее элемент рядом с другими уточными нитями 8. Опушка ткани образуется грудницей 2. Ткань отводится из зоны формирования путем навивания ее на товарный валик 3.

Для изготовления некоторых типов тканых ЭН необходимо применять несколько челноков (см. рис. 2). Например, для уточных ЭН можно использовать два челнока — один (6) с нагревательным элементом, второй (4) — с изолирующей нитью, меняющиеся в процессе работы по заданной программе. Имеются ткацкие станки с тремя и четырьмя челноками. Смена челноков может осуществляться с одной или с обеих сторон станка, соответственно этому станки обладают различными возможностями по изготовлению тканых ЭН. Существенное значение имеет количество ремизок, определяющее возможное количество групп разнопереплетающихся нитей. На ткацком станке может быть установлено несколько навоев с нитями основы, что увеличивает его возможности по выработке тканых электронагревателей различных конструкций.

Технология изготовления тканых ЭН в значительной степени определяется физико-механическими свойствами исходных материалов. Если эти свойства мало отличаются от обычных текстильных материалов, то технология выработки тканых ЭН аналогична обычной текстильной технологии [10]. Однако во многих случаях технологические свойства материалов, особенно используемых для нагревательных элементов, отличны от обычных текстильных, причем возникает необходимость одновременной переработки материалов с существенно различными физико-механическими свойствами. Различные жесткость, удлинения, релаксация и другие свойства сказываются не всех технологических переходах: кручении нитей, подготовке навоя, самом ткачестве, последующей отделке. Все эти особенности вызывают необходимость соответствующего выбора структуры нагревательной ткани и подбора технологических параметров ее изготовления.

Трикотажные ЭН вяжутся на трикотажных машинах различных конструкций. Технология вязания зависит от конструктивных особенностей трикотажной машины и структуры трикотажного полотна [11]. На рис. 8 представлена в качестве примера схема вязания нагревателя, выполненного кулирной гладью, при помощи язычковых игл.



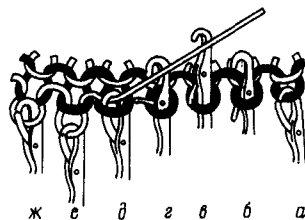


Рис.8. Схема образования трикотажного электронагревателя

Образование петель происходит в петельном ряду из одной нити последовательно на каждой игле при их вертикальном возвратно-поступательном перемещении. На игле а, движущейся вверх, находится готовая петля предыдущего ряда из проводящей нити. Игла б, поднимаясь, открывает такой же петлей язычок, на игле в аналогичная петля оказалась ниже язычка, а под крючок прокладывается изолирующая нить, из которой должен образоваться следующий ряд петель при движении игл вниз. Игла г начинает опускаться, захватив крючком изолирующую нить; при этом петля предыдущего ряда из проводящей нити закрывает язычок, что позволяет игле вместе с изолирующей нитью бесппятственно пройти через нее. Следующая игла е образует новую петлю из изолирующей нити; на игле ж, начавшей новый подъем, находится уже готовая петля этого ряда. Далее процесс повторяется.

Как и для тканых ЭН особенности технологии выработки трикотажных ЭН в значительной степени определяются применением материалов, имеющих худшие по сравнению с обычным сырьем технологические свойства, а также одновременной переработкой нитей с различными физико-механическими характеристиками. Проволока, часто применяемая для нагревательного элемента, имеет большую жесткость и меньшую растяжимость, чем обычная нить, поэтому, если при вязании обычных нитей напряжения, возникающие в них при образовании петли, сводятся к продольному натяжению, то для проволоки значительную долю допустимых напряжений составляют напряжения, обусловленные изгибом проволоки конструктивными элементами петлеобразования. В связи с этим все нагрузки, которым подвергается проволока, должны быть сведены к минимуму. Для улучшения скольжения проволоки по рабочим органам машин в некоторых случаях ее смазывают глицерином или машинным маслом. Для облегчения процесса вязания подбирают соответствующие переплетения, применяют вязание на двоянных иглах и другие меры улучшения условий переработки.

В обзоре не описана технология выработки плетельных и нетканых текстильных ЭН, так как их производство в основном такое же, как производство обычных текстильных изделий, которое достаточно полно описано в [12, 13]. Отличительные особенности ее, связанные с характерными свойствами перерабатываемых материалов, аналогичны отмеченным выше для тканых и трикотажных ЭН.

По описанной выше технологии может быть изготовлен целый ряд текстильных ЭН для применения в разнообразных нагревательных устройствах. Конструктивные особенности нагревателей связаны с условиями их применения и будут отмечены при рассмотрении конкретных случаев.

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТЕКСТИЛЬНЫХ ЭЛЕКТРОНАГРЕВАТЕЛЕЙ В ПРОМЫШЛЕННОСТИ

### Обогрев емкостей и трубопроводов

Наиболее распространенный случай применения текстильных ЭН в промышленности — обогрев различного рода баков и других емкостей, а также трубопроводов для транспортирования жидких продуктов. В обоих случаях текстильные ЭН применяются как для поддержания температуры продукта, так и для дополнительного подвода тепла к нему. Благодаря свойствам текстильных ЭН форма обогреваемого оборудования может быть различной и в то же время достаточно сложной.

Для обогрева резервуаров и емкостей применяют как тканые, так и трикотажные ЭН. Так, например, на рис. 9 представлена конструкция нагревательного устройства для обогрева бака цилиндрической формы на основе трикотажного ЭН. Нагреватель состоит из нескольких отрезков трикотажного полотна, образованного поочередным провязыванием стеклонити и металлической монокити кулирной гладью. Количество и размеры этих отрезков зависят от требуемых параметров нагревательного устройства.

Отрезки, образующие секции нагревательного устройства, соединяются между собой параллельно посредством двух токонесущих шин. Такое соединение обеспечивает работоспособность устройства даже при выходе из строя одной секции. Все устройство с обеих сторон закрывается листами изоляционного материала и обертывается вокруг бака или другой цилиндрической поверхности [14].

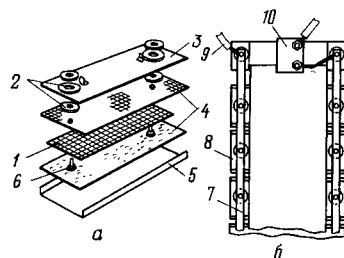


Рис.9. Нагревательное устройство для обогрева баков  
а - конструкция нагревательного элемента; б - подключение нагревательных элементов

1 - трикотажный электронагреватель; 2 - изолирующие шайбы; 3 - защитная пластина; 4 - изолирующие прокладки; 5 - кожух; 6 - контакты; 7 - шина; 8 - нагревательный элемент; 9 - токопровод; 10 - терморегулятор

Для уменьшения непроизводительных потерь тепла нагревательные устройства покрывают тепловой изоляцией. Имеются такие конструкции ЭН, которые сами создают односторонний отвод тепла. Нагреватель выполняется в виде многослойной ткани, на одной стороне которой закреплен нагревательный элемент.

Структура же изолирующего основания обеспечивает и электрическую, и тепловую изоляцию нагревательного элемента [15]. Возможны различные виды переплетений элементов ткани, обеспечивающих преимущественно односторонний отвод тепла от нагревательного элемента. С этой целью используют различные многослойные структуры ткани, или, как показано на рис. 10, на поверхности ткани выполняют ворсовый покров из изолирующих нитей [16].

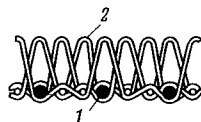


Рис.10. Тканый электронагреватель с односторонним отводом тепла

1 - нагревательный элемент; 2 - изолирующий ворс

При обогреве емкости большого размера целесообразно изготовлять нагревательные панели на основе текстильных ЭН в виде секций, отдельно крепящихся на обогреваемой поверхности. Такое исполнение нагревательного устройства позволяет изменять

нагрев различных участков в зависимости от технологических требований (например при изменении уровня продукта [17]). Располагая секции на емкости, как показано на рис. 11, поврежденную секцию легко можно заменять.

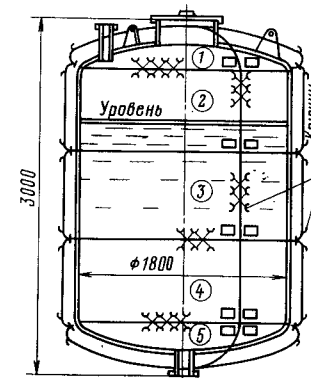


Рис.11. Расположение нагревательных панелей (1-5) на обогреваемой емкости

Тканые ЭН используются для обогрева не только стационарных сосудов, но благодаря удобству монтажа и виброустойчивости применяются для поддержания заданной температуры или нагрева передвижных емкостей, например, железнодорожных цистерн. В ряде случаев необходимо независимо от погодных условий транспортировать содержимое цистерн при постоянной температуре или не допустить снижения ее уровня ниже определенного. При транспортировании вязких жидкостей (например, мазута) при снижении температуры затруднен слив из цистерны, что приводит к простоям цистерн и потерям ценных веществ. В этих случаях целесообразен дополнительный электрообогрев цистерн. Используемый ЭН представляет собой ткань, состоящую из основных изолирующих и утепленных токопроводящих нитей, изготовленных из медной проволоки, навитой на сердечник из изолирующей текстильной нити и покрытой изолирующим материалом (резиной). Токопроводник может быть также сделан из нескольких проволок, соединенных друг с другом [18]. В других конструкциях тканых ЭН для цистерн материалом токопроводящей нити служит нихром, что соответственно меняет электрические характеристики нагревателя [19].

Более сложную задачу представляет собой обогрев сосудов, имеющих коническую форму. Необходимая форма нагревательного устройства достигается за счет сшивания нескольких отрезков нагревательного полотна трапециевидной формы, имеющих соответствующее расположение токопроводящей нити (рис. 12). Нагре-

вальный элемент из нихромовой проволоки удерживается изолирующими нитями из стекловолна, образующими многослойную структуру, обеспечивающую прочное закрепление и электрическую изоляцию нагревательного элемента [20]. Такого рода ЭН может быть использован для обогрева литников, воронок и других устройств, имеющих коническую форму.

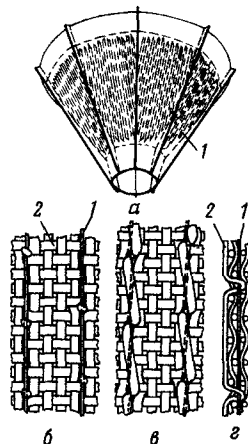


Рис.12. Размещение (а) и структура (б – вид сверху, в – вид снизу, г – разрез) тканого электроннагревателя для обогрева конических сосудов

1 – нагревательный элемент; 2 – изолирующая нить

Текстильные ЭН применяются для обогрева лабораторного оборудования и прежде всего сосудов разнообразной формы. Использование тканых ЭН позволяет равномерно расположить нагревательный элемент по всей обогреваемой поверхности [21]. Трикотажные ЭН, обладающие по сравнению с ткаными большей эластичностью, легко принимают форму обогреваемого сосуда. На рис. 13 показано устройство для нагрева лабораторных колб и других сосудов, имеющих сферическое дно. В теплоизолирующем корпусе полусферической формы спирально по всей поверхности нагрева расположена нагревательная трикотажная лента. Такое расположение возможно благодаря структуре трикотажного полотна, имеющего подвижность в нескольких направлениях. Трикотажный ЭН (его структура аналогична показанной на рис. 2, а) представляет собой основовязаное полотно, у которого основные нити из стекловолна выполняют функции конструкционного материала, удерживая расположенный на утке нагревательный элемент из комплексной металлической нити, оплетенной изоляционными нитями [22].

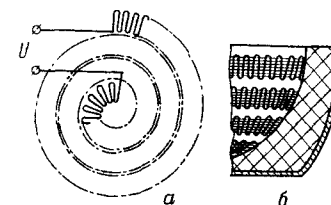


Рис.13. Нагреватели для обогрева сосудов со сферическим дном а – форма нагревателя; б – размещение нагревателей в устройстве

Благодаря своей гибкости, равномерности нагрева и другим качествам текстильные ЭН получили широкое применение для обогрева трубопроводов. С этой целью используются текстильные ЭН различных конструкций: тканые и трикотажные, выполненные в виде широкого полотна, и ленточные. В зависимости от конструкции ЭН монтаж его на трубопроводе выполняется различными способами. Например, ленточные текстильные ЭН укладываются на трубопровод либо в виде спиральной навивки, либо располагаются вдоль его оси – преимущественно снизу. Широкие нагревательные полотна одевают на трубу в виде жакетов, кофужов или круглых рукавов. Некоторые виды монтажа текстильных ЭН на трубопроводе показаны на рис.14.

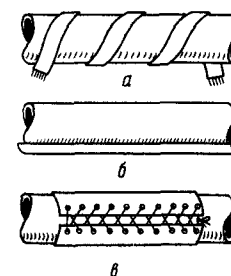


Рис.14. Расположение электроннагревателя на обогреваемом трубопроводе

а – спиральное; б – линейное, в – в виде жакета

В зависимости от размеров трубопровода, необходимой мощности, величины напряжения питания и других факторов тканые ЭН, предназначенные для обогрева трубопроводов, могут содер-

жать нагревательный элемент в утку или в основе. Уточное расположение нагревательного элемента позволяет получить большее сопротивление 1 м нагревателя, чем основное, поэтому его обычно применяют при меньших размерах нагревателя, меньшей удельной мощности или же при больших напряжениях питания. Ленточный ЭН для обогрева трубопровода с уточным расположением нагревательного элемента может быть выполнен как с одним [23], так и с двумя [24] нагревательными элементами. В последнем случае нагревательные элементы расположены параллельно и изолированы друг от друга нитями из изоляционного материала.

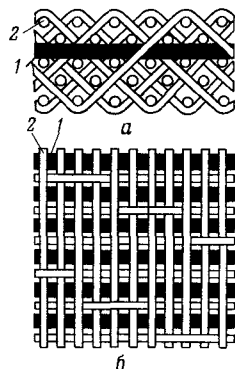


Рис. 15. Выхотемпературная нагревательная лента  
а - разрез; б - вид сверху;  
1 - нагревательный элемент; 2 - изолирующая нить

Если для обогрева трубопровода требуется значительная мощность, то с этой целью в тканых ЭН чаще всего применяют основное расположение нагревательного элемента. На рис. 15 изображен тканый ленточный ЭН, предназначенный для нагрева трубопроводов до температуры 500-600°C и представляющий собой ленту из кремнеземных волокон шириной 50 мм, в которой нагревательный элемент, состоящий из 48 нихромовых проволок диаметром 0,4 мм, расположен вдоль образующей ленты. Структура ленты обеспечивает изоляцию нагревательного элемента, достаточную для включения его на сетевое напряжение. Для повышения мощности нагревателя и обеспечения симметричности нагрузки используются параллельно навитые ленты, соединенные звездой. Контакты привариваются к нагревательным элементам, которые присоединяются к хомуту, закрепленному на трубопроводе через изоляцию.

Трехфазный тканый ЭН может быть выполнен в виде одной ленты различной ширины, причем использование нагревательного элемента с соответствующим сопротивлением на 1 м длины позволяет получить широкий диапазон мощностей нагревателей. На рис. 16 представлена номограмма для выбора ленточного тканого ЭН шириной 50 мм с количеством нихромовых проводников 15х3, питающегося от сети трехфазного тока напряжением 380 В. Диаметр проводников выбирается в зависимости от длины и мощности нагревателя.

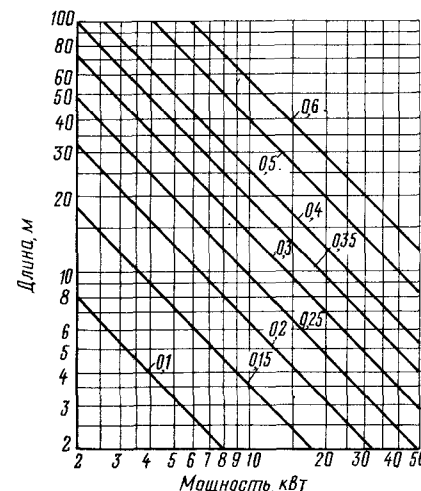


Рис. 16. Номограмма для расчета мощности трехфазной тканой электронагревательной ленты в зависимости от длины и диаметра проводников

Поскольку удельная мощность ленточного тканого ЭН зависит не только от величины его удельного сопротивления (сопротивления на 1 м длины) и напряжения питания, но и от длины нагревательной ленты (причем при прочих равных условиях мощность 1 м нагревателя будет тем ниже, чем больше его общая длина), то возникает необходимость даже при заданной величине подводимой мощности на 1 погонный метр трубопровода иметь значительное количество нагревателей с различными удельными сопротивлениями или же выполнять сложную коммутацию, параллельно подключая отдельные их участки одинаковой длины.

Для упрощения коммутации был предложен тканый ленточный ЭН, представленный на рис. 17, в котором параллельно нагревательному элементу расположены токонесущие проводники, являющиеся составными элементами ткани. Благодаря такой конструкции вся необходимая коммутация может быть выполнена на самой нагревательной ленте без дополнительных проводников [25]. Другим вариантом решения является тканая нагревательная лента с основным расположением нагревательного элемента, имеющая вдоль обеих кромок токонесущие проводники, закрепленные на ней специальными скобами [26], что позволяет выполнять каждый участок нагревателя в виде законченной конструкции с заделкой концов и последовательно располагать на трубопроводе с подключением к одному источнику питания.

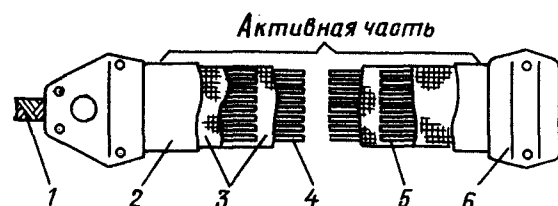


Рис.17. Тканый ленточный электронагреватель с токонесущими проводниками  
1 - токоподвод; 2 - изоляция; 3 - слой ткани из изолирующих нитей; 4 - нагревательный элемент; 5 - токонесущие проводники; 6 - концевая заделка

Тканые нагревательные ленты для обогрева трубопроводов, используемые на открытом воздухе или в среде повышенной влажности, изолируются дополнительно. Описанные выше нагревательные ленты изолированы силиконовой резиной, поэтому их применяют для обогрева надземных нефтепроводов. На рис. 18 показано размещение ЭН на трубопроводе с целью повышения текучести нефтепродуктов при их перекачке.

Для обогрева трубопроводов различной длины более удобны тканые ленточные ЭН, удельная мощность которых постоянна и не зависит от общей длины нагревателя [27]. Конструкция такой ленты представлена на рис. 19. Нагревательный элемент из нихромовой проволоки расположен в утке, а в основе - проводники с низким удельным сопротивлением, выполняющие роль токонесущих шин. Нагревательный элемент образует по длине нагревателя отдельные секции с известными технологическими параметрами. В конце секции нагревательный элемент переплетается с правой или левой группой токонесущих проводников, к которым подводится напряжение питания.

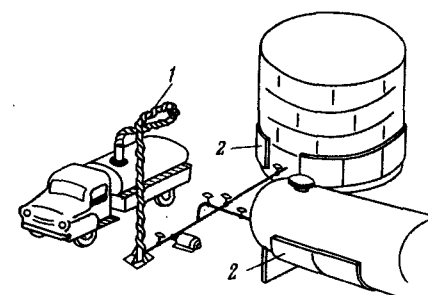


Рис.18. Использование тканых электронагревателей для нагрева нефтепродуктов  
1 - нагревательная лента; 2 - нагревательная панель

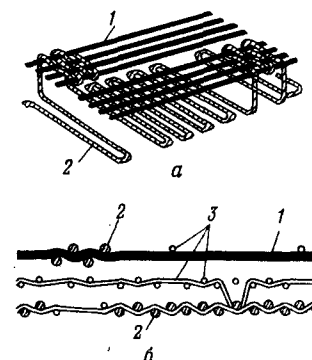


Рис.19. Секционный ленточный электронагреватель  
а - схема соединений; б - разрез;  
1 - токоподвод; 2 - нагревательный элемент; 3 - изолирующая нить

При необходимости обогрева небольших участков трубопроводов значительного диаметра нагреватели для них выполняют в виде кожухов, включающих текстильный ЭН в виде широкого нагревательного полотна или нагревательной ленты, зигзагообразно расположенной на изолирующем текстильном основании. В одной

из конструкций такого нагревателя тканая лента пришивается к одной стороне стеклоткани шириной 150 мм и длиной 180 см таким образом, что она проходит зигзагообразно вдоль листа стеклоткани, образуя несколько расположенных на определенном расстоянии параллельных рядов. Конец и начало электронагревательной ленты имеют выводы на одной стороне стеклоткани. После изоляции нагревательной ленты несколькими листами стеклоткани такую панель помещают между двумя полосами листового металла, из которых одна полоса уже, чем вторая. Большая полоса обжимается вокруг меньшей. Конструкция нагревателя показана на рис. 20. Полученному нагревательному листу придают С-образную форму [28]. Для установки его на трубе на концах сделаны ручки. При разведении ручек нагреватель надевается на трубу, затем ручки затягивают винтом для надежного крепления устройства к трубопроводу.

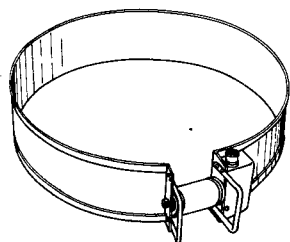


Рис. 20. Нагреватель для трубопроводов большого диаметра

Для обогрева трубопроводов применяются главным образом тканые ЭН, однако известны случаи использования трикотажных ЭН, выполненных на основовязальной машине в виде ленты с продольным расположением нагревательного элемента [29]. Нагревательный элемент включен в трикотажное полотно в виде петель, образующих продольные полосы аналогично структуре, изображенной на рис. 2, б. Края ленты выполнены в виде полос из изолирующей нити, что позволяет крепить нагреватель к тканому или трикотажному основанию, выполняющему функции электрической или тепловой изоляции.

#### Текстильные электронагреватели на транспорте

Выше уже упоминалось применение текстильных ЭН для обогрева железнодорожных цистерн. Благодаря малой толщине и массе, механической прочности, способности принимать задан-

ную форму, равномерности нагрева и другим положительным свойствам текстильные ЭН нашли также применение в железнодорожном транспорте для отопления пассажирских вагонов. По сравнению с ТЭНами, применяемыми в настоящее время при отоплении вагонов, текстильные ЭН обеспечивают более равномерный поверхностный нагрев при том же потреблении электроэнергии. На рис. 21 изображен тканый ЭН для обогрева железнодорожных вагонов. Основа ткани может быть из хлопчатобумажных, шерстяных, асбестовых или стеклянных нитей,

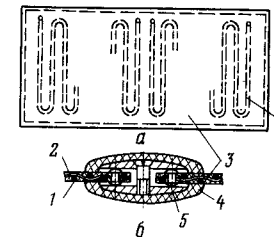


Рис. 21. Нагревательная панель

а - общий вид; б - схема соединений панелей;  
1 - нагревательный элемент; 2 - изолирующая нить; 3 - внешняя изоляция; 4 - изоляционная накладка; 5 - токоподвод

Два нагревательных элемента проходят параллельно друг другу и имеют выводы с одной стороны ткани. Возможны различные варианты подключения секций нагревателя - параллельно, последовательно или выборочно. Для токопроводящего утка используется проволока высокого удельного сопротивления из нихрома или другого хромоникелевого сплава. Готовую ткань пропитывают синтетической смолой и помещают между двумя слоями бумаги, асбеста или другого материала, также пропитанных синтетической смолой [30]. Панели на основе текстильных ЭН можно устанавливать непосредственно в пассажирском салоне. Благодаря декоративной отделке они хорошо вписываются в интерьер. Расположение таких панелей показано на рис. 22 [31].

При помощи текстильных ЭН можно обогревать не только пассажирские, но и грузовые вагоны. Разгрузка грузовых вагонов, предназначенных для перевозки топлива, связана с рядом трудностей. Топливо на морозе густеет, что значительно замедляет и усложняет его разгрузку. Применяя разогрев продуктов перед разгрузкой, можно существенно сократить время, необходимое для полного опорожнения цистерны. На рис. 23 показано устройство, специально предназначенное для этой цели. Нижняя часть вагона сконструирована таким образом, что предполагает крепле-

ние четырех нагревательных плит, имеющих форму трапеции. Плита выполнена разборной. На внутреннюю поверхность нижней плиты зигзагообразно уложена тканая нагревательная лента, состоящая из стеклянных нитей и металлических проводников, расположенных в основе ЭН. Для получения хорошей теплоизоляции с одной стороны на ленту наносят несколькими слоями теплоизоляционный материал и затем сверху накрывают крышкой [32].

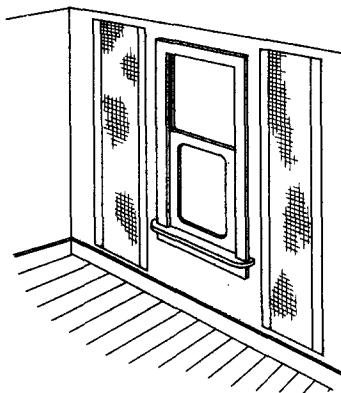


Рис.22. Размещение нагревательных панелей возле окна

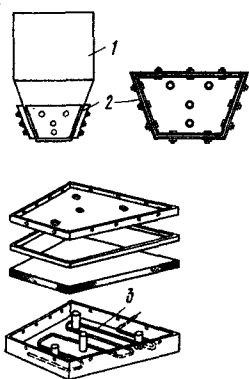


Рис. 23. Устройство для обогрева железнодорожных вагонов  
1 - вагон; 2 - нагревательное устройство; 3 - тканая нагревательная лента

Не менее важным представляется использование тканых ЭН для обогрева автомобилей. Известно, какое большое значение имеет обогрев салона автомобилей, особенно в суровых условиях Севера. Применяя электронагрев, можно улучшить условия работы водителей, повысить производительность их труда, уменьшить аварийность на дорогах. В зимнее время водители сталкиваются

с проблемой пуска двигателей. Для его ускорения используются специальные обогреваемые чехлы. Двухслойная нагревательная ткань, применяемая для изготовления чехлов, состоит из термостойких нитей (силикатной пряжи) и углеграфитовых нитей. Углеграфитовая нить выполняет функции нагревательного элемента и расположена в утке. Основа ткани включает как термостойкие, так и углеграфитовые нити. По кромкам ткани продолжены медные шины, служащие для подвода электрического тока [33]. Недостатком углеграфитовых нитей является их низкая устойчивость к истиранию. Лучшими механическими характеристиками обладают металлические нити. Включение металлических нитей в структуру ткани или трикотажного полотна позволило получить ЭН для обогрева сидений и пола автомобилей. Используемая для таких нагревателей нить состоит из 90 филаментов диаметром 12 мкм, изготовленных из нержавеющей стали. В качестве дополнительной изоляции металлическая нить может покрываться слоем смолы или иметь изоляцию в виде обмотки органическими волокнами. Нагревательная ткань для обогрева сидений автомашин содержит металлические нити в основе ткани, расположенные на расстоянии 13 мм друг от друга. Размер сидения 425x750 мм. При напряжении питания 12 В мощность составляет около 78 Вт.

Сидение может также обогреваться с помощью трикотажных электронагревателей, представляющих собой основовязаное или поперечновязаное полотно. В основовязаном полотне токопроводящие нити расположены в основе, а в поперечновязаном - поперек полотна подобно утке в ткани. Металлические нити чередуются с органическими или синтетическими нитями, выполняющими роль конструкционного материала и изолятора. По такому же принципу можно изготавливать ковры для пола автомашин, причем в таких коврах токопроводящая нить введена в изнанку ковра. Расположение нагревателей на сидениях и полу автомобилей показано на рис. 24, а [34].

Текстильные ЭН находят применение при обогреве аккумуляторов, устанавливаемых в автомашинах и самолетах для запуска двигателей и питания электроосветительной сети.

ЭДС большинства источников тока, в том числе и аккумуляторов, существенно зависит от температуры [103]. В зимнее время труднее завести двигатель, так как с уменьшением температуры скорость реакции электролита уменьшается. Аккумулятор вставляется в ящик, в стенки и дно которого вмонтированы ЭН, представляющие собой тканые секционные нагреватели, состоящие из токопроводящей уточной нити, медного токоподвода из фольги и стеклонити. Нагреватели помещены между двумя слоями резины или пропитаны синтетической смолой. В одной из стенок предусмотрено крепление устройства для подвода тока к нагревательному элементу (рис. 24, б).

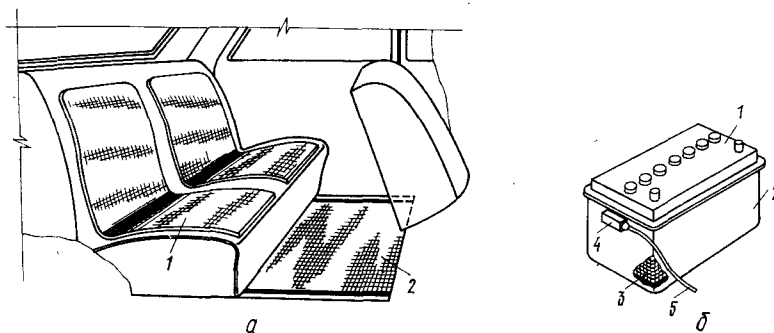


Рис.24. Применение трикотажных электронагревателей для обогрева автомобилей  
а — для обогрева салона, 1 — нагреватель для сидения; 2 — нагреваемый коврик; б — для обогрева аккумуляторов, 1 — аккумулятор; 2 — слой изоляции; 3 — электронагреватель; 4 — токоподвод; 5 — провод.

Сравнительно новым направлением является обогрев стекол автомобилей текстильными ЭН. Ткань для обогрева стекол состоит из стеклянных нитей в основе и утка из меди. Нагревательный элемент расположен с интервалами 5 мм. Плотность ткани составляет приблизительно 12 нитей/см. Готовую ткань покрывают прозрачным материалом и подвергают тепловой обработке. Стекло, содержащее нагревательные элементы, обеспечивает 70% прозрачности [35]. Существует способ изготовления прозрачного обогреваемого стекла, когда металлические нити вяжут или плетут поочередно с изоляционными нитями. Металлические нити в полотне располагаются не прямолинейно, а волнообразно. После изготовления полотна производят сплавление нитей электроизоляционного материала с прозрачной пленкой из пластика, затем соединяют пленку со стеклянной панелью, получая обогреваемое прозрачное стекло [36].

Одной из наиболее важных областей применения текстильных нагревателей является авиация, где они также могут найти применение для обогрева. В связи с развитием самолетостроения и все более суровыми условиями полетов возрастает необходимость применения ЭН не только для обогрева салонов, но и тех частей самолета, которые подвержены обледенению. Дополнительные сложности связаны с тем, что поверхность самолета имеет весьма сложную форму. Текстильные ЭН наиболее полно отвечают предъявляемым требованиям.

Для обогрева пропеллеров самолетов используется ткань, в которой вплетенные проводники разделены на отдельные группы.

Их число и порядок подключения можно варьировать в зависимости от конкретных условий. Как показано на рис. 25, ткань включает токопроводящие нити как в основе, так и в утке, разделенные нитями из электроизоляционных материалов. Токопроводящие нити утка соединяют между собой нагревательные элементы, расположенные в основе, образуя секции. Для получения электронагревателя требуемой формы и мощности ткань разрезается по секциям [37].

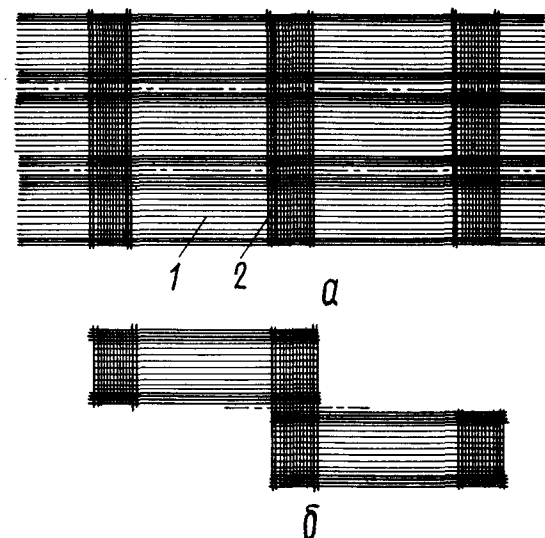


Рис.25. Ткань для нагревателей сложного контура  
а — общий вид ткани; б — вариант разрезания;  
1 — нагревательный элемент; 2 — токонесущие шины

Для предотвращения образования льда на крыльях самолета количество тепла, подаваемое на различные участки крыла, должно зависеть от вероятности образования на них льда большой толщины. С этой целью можно использовать ЭН, разбитый на зоны, имеющие неравномерную отдачу тепла. Неодинаковая концентрация тепла на разных участках достигается либо за счет различной плотности расположения нагревательного элемента, либо применением токопроводящих нитей различного удельного сопротивления, либо объединением в группы того или иного числа проводящих нитей. Последний способ представлен на рис. 26. Здесь нагревательный элемент выполнен в виде основных нитей, а изолирующие нити расположены в утке. Для дополнительного подвода тепла подводящими могут быть и уточные нити, при этом сам нагре-



вательный элемент должен иметь изоляцию. После изготовления нагревателя на ткацком станке нагревательный элемент коммутируется в требуемом порядке. Для подвода тока в некоторых случаях по краям ткани прокладываются шины из медной проволоки [38].

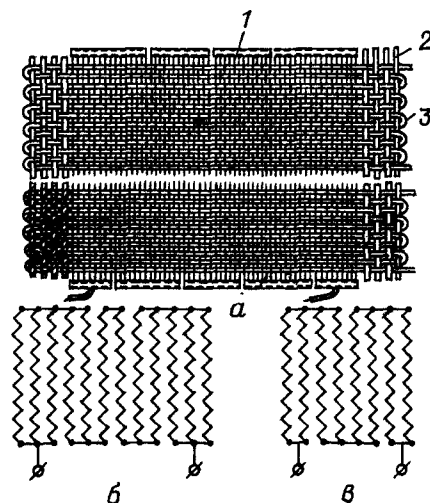


Рис.26. Тканый электроннагреватель с неравномерной теплоотдачей  
а - общий вид электроннагревателя; б, в - варианты соединений;  
1 - нагревательный элемент; 2 - шины; 3 - уточная нить

Еще один текстильный нагреватель для самолетов с неравномерной отдачей тепла изображен на рис. 27. Прямые участки нагревательного элемента, расположенные в виде утка, имеют неодинаковую длину и располагаются в определенной последовательности в соединенных между собой секциях [39].

Подбором нескольких нагревательных лент различной ширины и длины можно получить обогреваемую панель, в которой различные участки имеют разную теплоотдачу. Ленты ткются отдельно и затем соединяются по требуемой схеме. ЭН подобной конструкции предложен для обогрева крыльев самолета. Лента состоит из стеклонитей, выполняющих роль конструкционного материала, и токопроводящей проволоки в утке, покрытой изоляционным слоем. Как видно из рис. 28, одна из лент находится в глубине крыла, другие же ленты разделены на группы и располагаются параллельно кромке. Сверху ленты покрывают двумя слоями неопрена и формируют в автоклаве. Полученный ЭН жесткой конструкции крепят на поверхность крыла самолета [40].

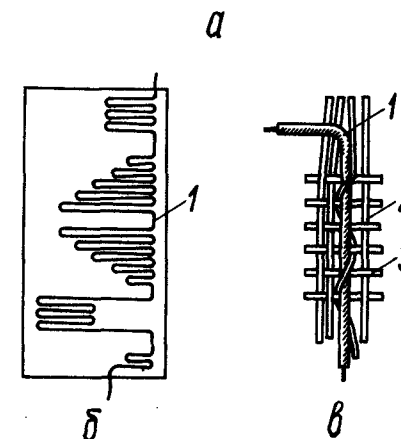
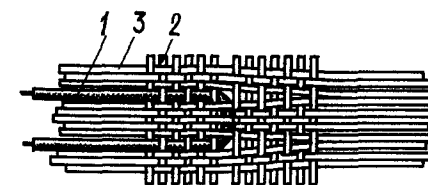


Рис.27. Нагреватель с неравномерной теплоотдачей  
а - вид переплетения; б - расположение нагревательного элемента; в - крепление протяжек нагревательного элемента между секциями  
1 - нагревательный элемент; 2 - изолирующая основная нить;  
3 - изолирующая уточная нить

Для обогрева и устранения обледенения самолетов могут применяться также трикотажные ЭН (рис. 29). Токопроводящие металлические нити в нем расположены по сложной извилистой траектории, что позволяет выдержать относительно большие механические нагрузки и свести к минимуму их деформацию и повреждения во время установки, например, на крыльях самолета. ЭН описанной конструкции изготавливается на основовязальной машине. Изменяя число металлических нитей, их сдвиг и т.д., можно получить различные варианты трикотажных ЭН такого типа. Материал изоляционных нитей должен обеспечить требуемые прочностные характеристики и быть технологичным.

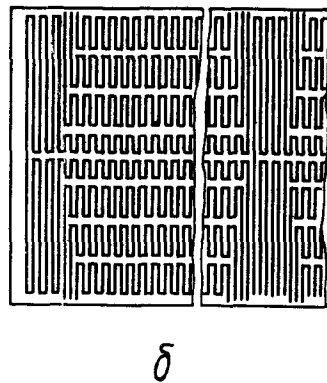
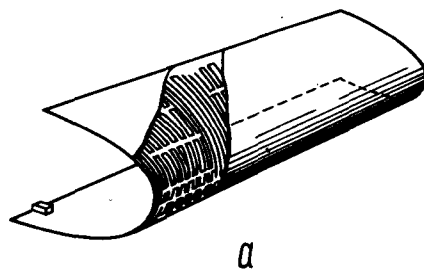


Рис.28. Нагреватель для крыла самолета  
а — общий вид электронагревателя; б — расположение нагревательного элемента

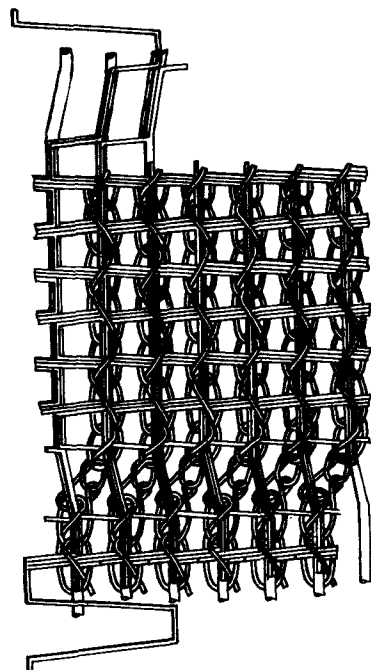


Рис.29. Трикотажный электронагреватель для антиобледенителей самолетов

Выбор материала токопроводящих нитей обусловлен требуемой степенью нагрева; этим материалом может быть нихром или медно-никелевый сплав. Сечение токопроводника — овальное, круглое или плоское. Токопроводящая нить перерабатывается в виде мононити, кабеля или жгута, причем в металлических жгутах смежные нити выполнены с круткой в противоположных направлениях, чтобы предотвратить скручиваемость трикотажа. После осуществления электрических соединений полотно с двух сторон изолируют слоями непроводящего материала, такого как каучук. Затем в процессе вулканизации под действием температуры и давления каучук обволакивает металлические нити, изолируя их одну от другой [41].

Использование текстильных электронагревателей в технологическом оборудовании и другие случаи их применения

Обогревание технологического оборудования — одна из наиболее широких областей применения текстильных ЭН. Кроме описанных выше нагревателей для емкостей и трубопроводов, имеются нагреватели для обогрева пускорегулирующей арматуры, клапанов, насосов и т.п. [42]. В этих случаях конструкция ЭН подгоняется под конструкцию существующего устройства. Имеется ряд технологических аппаратов, в которых текстильные ЭН являются составной частью и обеспечивают те или иные положительные качества и частично определяют конструктивные особенности этих аппаратов.

Один из интересных случаев применения текстильных ЭН — использование их для высокотемпературных печей, которые работают в вакууме или газовой среде. Вольфрам или молибден в виде проволоки, применяемый в качестве нагревательного элемента, имеет ряд недостатков, а именно: становится ломким при высоких температурах, низкое сопротивление этого металла требует трансформаторов для их питания. Чтобы устранить эти недостатки, было предложено вместо проволоки для нагревательных элементов применять многофиламентные металлические нити из тех же металлов. Несколько проволочек (от 5 до 10 шт.) диаметром 0,01–0,3 мм скручены или собраны в прядь. Текстильный материал, полученный вязанием таких филаментных нитей, не ломкий и сохраняет гибкость и эластичность даже после длительной работы при температуре 2000°C [43].

В легкой промышленности при изготовлении швейных изделий значительное место занимают операции влажно-тепловой обработки, помогающие придавать изделиям нужную форму, и от правильного выполнения которых в значительной степени зависит внеш-

ний вид, форма и качество изделий. Для выполнения влажно-тепловых работ применяют различные утюги, pulverизаторы, колодки и т.п. Наиболее прогрессивным технологическим процессом является прессование, для которого применяются прессы различных конструкций. Нагревательным элементом в прессе могут быть ТЭНы, несколько рядов проволоки или другие токопроводящие материалы. Применение текстильных ЭН для подушек гладильных прессов имеет ряд преимуществ по сравнению с вышеперечисленными, так как они обеспечивают равномерное распределение тепла по всей прессующей поверхности. Обычно нагревательные элементы вводят в одну из прессующих поверхностей. На рис. 30 показан разрез нагревательной плиты брючного пресса. Как видно из рисунка, плита имеет слоистую конструкцию и состоит из металлической пластины, за которой расположено несколько слоев теплоизоляционного материала. Между этими слоями помещен тканый ЭН, выполненный из изоляционных (в основе) и теплопроводящих (в утке) нитей. Сверху теплоизоляционного материала помещен слой картона. С помощью винтов вся конструкция соединяется в единое целое [44].



Рис.30. Нагреватель для гладильного пресса

1 - металлическая пластина; 2 - нагревательный элемент; 3 - электроизоляционная нить; 4 - теплоизоляционный материал; 5 - картонное основание

В более сложной конструкции тканого ЭН для гладильного пресса нагревательный элемент расположен в утке и переплетается с металлическими проводниками диаметром 0,2 мм, проложенными в основе ткани (по кромкам), которые служат для подвода тока к нагревательному элементу. По своей структуре этот нагреватель аналогичен изображенному на рис. 1, в. Диаметр токопроводящей нити равен  $\sim 0,1$  мм. Материалом нити может быть нержавеющая проволока или нить, полученная путем намотки металлической полоски на изолирующую нить с круткой от 100 до 500 кручений на 1 м. Мощность одной секции такого нагревателя при напряжении питания 100 В составляет около 100 Вт. Изоляционные нити основы и утка ткани изготовлены из стекловолокна или кварцевого волокна, поэтому нагреватель работает даже при температуре 500-800°C. Однако рабочая температура пресса обычно не превышает 100°C. В прессующую плиту вставляется ЭН в изоляционной оболочке, которая может быть полу-

чена либо опусканием нагревателя в раствор изолирующего вещества, либо заключением его между слоями изоляционного материала, такого как полиуретан, пенопласт и др. [45].

Применение текстильных ЭН позволяет получить новый технический эффект в устройствах, предназначенных для вулканизации различных изделий, в частности, обуви [46]. Вулканизирующая подушка состоит из двух соединенных между собой полотен ткани, одно из которых представляет тканый ЭН, изготовленный из тканых лент. Нагревательный элемент в виде тонкой проволоки расположен в утке, а конструкционным материалом служат хлопчатобумажные или асбестовые нити. Нагреватель изолирован с обеих сторон прорезиненной тканью. Внутренняя полость подушки заполнена алюминиевыми опилками или порошком, обладающими высокой теплопроводностью. Благодаря тканой структуре ЭН устройство, как видно на рис. 31, можно легко приспособить к вулканизации изделий различной формы.

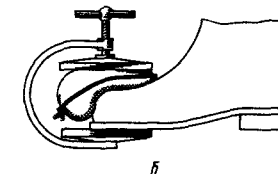
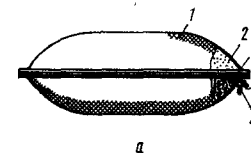


Рис.31. Устройство для вулканизации

а - нагревательная подушка; б - общий вид устройства; 1 - оболочка; 2 - теплопроводный наполнитель; 3 - тканый электронагреватель; 4 - токоподвод

Текстильные электронагреватели применяются в сельском хозяйстве для обогрева ферм и оборудования (главным образом трубопроводов) на них, изготовления подстилок для молодняка и других целей. Например, ЭН применяются в устройствах, выполняющих роль "наседки" и предназначенных для выращивания цыплят. В нагревательном устройстве имеются два рефлектора прямоугольной формы с небольшими закруглениями по краям (рис. 32). Каждый рефлектор собирают из двух (верхней и нижней) металлических оболочек, между которыми помещен слой теплоизолиру-

онного материала. Тканый ЭН, полученный путем переплетения стеклонитей и нагревательного элемента из нихромовой проволоки, крепится к рефлектору таким образом, чтобы оказаться в его фокусе [47].

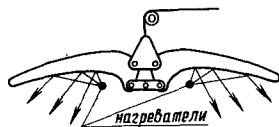


Рис.32. Электронагреватель для птицеферм

Создание нагревательных устройств большой площади с равномерным нагревом позволяет применять текстильные ЭН для обогрева грунта дорог и т.д., прокладывания их в необходимых местах.

Замерзание грунта спортивных сооружений зимой, обледенение дорог не только неудобно и ограничивает пользование ими, но в некоторых случаях даже опасно. Для разогрева грунта можно использовать тканые или трикотажные ЭН, которые могут укладываться не только в грунт, но и на его поверхность. В последнем случае, в отличие от других способов нагрева почвы, например прокладывания труб или кабелей под землей, текстильные ЭН более экономичны, так как не требуют дополнительных операций по установке и монтажу и обеспечивают равномерный нагрев всей поверхности грунта [48].

Для обогрева грунта могут применяться не только широкие, но и ленточные нагреватели. Один из видов ленточных нагревателей, предназначенных для этих целей, показан на рис. 33. Лента состоит из трех основ, между которыми зигзагообразно уложен нагревательный элемент. Такое переплетение создается работой трех челноков ткацкого станка, два из которых заправлены стеклонитью, а третий — проволокой. После изготовления ленту покрывают с двух сторон водонепроницаемым пластическим материалом. По бокам ленты оставлены края, свободные от нагревательного элемента, что позволяет крепить нагреватель к обогреваемой поверхности, сшивать несколько нагревателей вместе и т.д. При напряжении питания 230 В мощность 1 м нагревателя равна 9 Вт [49]. Нагревательный элемент может быть не только в утке. На рис. 34 показан нагреватель для дорог, выполненный из ткани, в которой нагревательные элементы в утке и основе изолированы друг от друга нитями из нейлона или стекловолокна.

Проволоки основы и уток имеют выводы для параллельного подключения к источнику электрического тока и изолированы друг от друга [50].

В некоторых конструкциях нагревательных устройств, предназначенных для различных целей (обогрева помещений, аквариумов, изготовления электроодеял и т.д.) тканый материал используется

для подвода тока к нагревательному элементу, выполненному из другого гибкого плоского токопроводящего материала. Основным нагревательным элементом может быть резина, каучук или другие полимеры, наполненные каким-либо токопроводящим веществом, например частицами углерода. Для создания ЭН слой токопроводящего полимера наносят на текстильный материал. Токоподводы из тканых лент, включающие медную проволоку, могут пришиваться к материалу или металлические нити вводятся в структуру тканого ЭН в процессе ткачества [51, 52, 53].

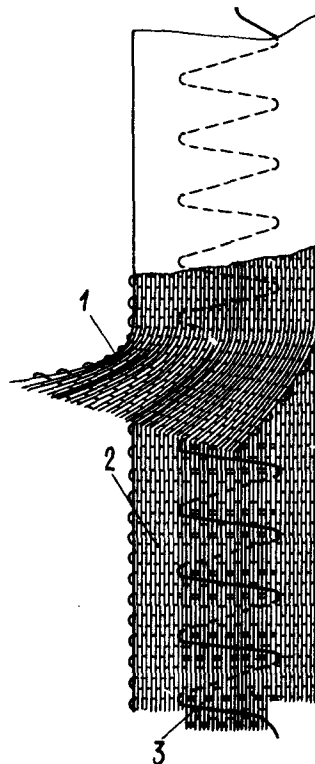


Рис.33. Ленточный электронагреватель для обогрева грунта  
1 — верхний изоляционный слой; 2 — нижний изоляционный слой; 3 — нагревательная лента

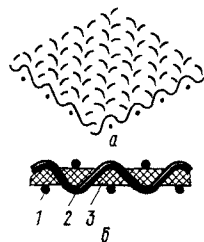


Рис.34. Нагреватель для дорог

а – схема расположения нагревательных элементов; б – разрез нагревателя; 1 – основной нагревательный элемент; 2 – уточный нагревательный элемент; 3 – изолирующий слой

## ПРИМЕНЕНИЕ ТЕКСТИЛЬНЫХ ЭЛЕКТРОНАГРЕВАТЕЛЕЙ В БЫТУ

### Одеяла и подушки с электронагревом

В настоящее время существует большое разнообразие бытовых нагревательных электроприборов. В ряде стран наиболее распространенным среди них является электроодеяло. Оно особенно популярно там, где принято поддерживать сравнительно низкую температуру в спальне, снижая расход электроэнергии на обогрев помещения.

Существуют различные модели электроодеял, отличающиеся конструктивными особенностями нагревательного элемента, схемой расположения его в изделии и изолирующим основанием, обеспечивающим необходимую электрическую изоляцию нагревательного элемента и определяющим внешний вид одеяла, электрической схемой регулирования температуры и защитой одеяла от перегрева и т.д. В связи с необходимостью обеспечить равномерный нагрев на сравнительно большой площади, с требованием небольшой массы, гибкости и воздухопроницаемости особое внимание разработчиков этого вида электроприборов привлекают текстильные ЭН. Известно применение для электроодеял различных типов текстильных ЭН – тканых, трикотажных, плетельных. Наибольшее распространение получили тканые ЭН.

Поскольку нагреватель для электроодеяла имеет сравнительно небольшую мощность, а в качестве напряжения питания используется сетевое, то обычно в тканых ЭН нагревательный элемент расположен в утке. Токпроводящий уток может иметь различную структуру. После изготовления на ткацком станке тканый электро-

нагреватель для обеспечения электрической изоляции нагревательного элемента располагают между двумя листами изоляционного материала [54].

Для создания комфортных условий электроодеяло снабжается регулятором мощности нагревателя. Однако и в самой конструкции нагревательного полотна предусматривается возможность изменения мощности в процессе эксплуатации.

Например, электроодеяло выполняют в виде секций, коммутация которых позволяет варьировать общую мощность. Существует ряд конструкций нагревателей с выводом от средней точки нагревательного элемента или с выводами от каждой секции, позволяющих путем последовательного или параллельного соединения секций или же подключением одной из них получать различные мощности электронагревателя при неизменном напряжении питания [55, 56]. На рис. 35 представлена одна из таких конструкций; причем кроме указанных выше различных соединений секций нагревательного элемента характерным для нее является различная плотность размещения последнего в полотне, что обеспечивает повышенный нагрев в центральной части электроодеяла, где теплоотдача выше [56].

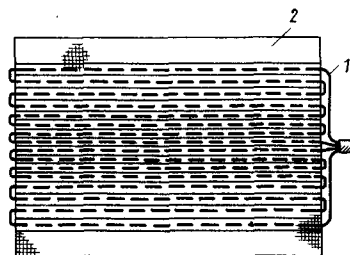


Рис.35. Нагреватель для электроодеяла с неравномерным нагревом  
1 – нагревательный элемент;  
2 – изолирующее основание

Однако в описанной конструкции при соединении секций последовательно или параллельно мощность нагревателя значительно изменяется (в четыре раза), что затрудняет регулирование температуры нагрева. Включение же одной секции, дающее среднее значение мощности, создает нагрев только части поверхности. Чтобы достигнуть равномерного нагрева по всей поверхности электроодеяла, обеспечив одновременно возможность регулирования мощности нагревателя, несколько ветвей (чаще всего две) нагревательного элемента располагают параллельно друг другу. Для этого обе ветви нагревательного элемента размещают между полотнами двухполотенной ткани, где они находятся в утке. При этом каждая ветвь нагревательного элемента может быть выполнена из материала с различной удельной проводимостью, что еще

больше увеличивает диапазон изменения мощности. Так, например, подбором материала нагревательного элемента и его поперечного сечения можно изготовить электроодеяло с мощностью отдельных ветвей 20 и 40 Вт, а общая мощность при подключении двух ветвей одновременно составит 60 Вт [57].

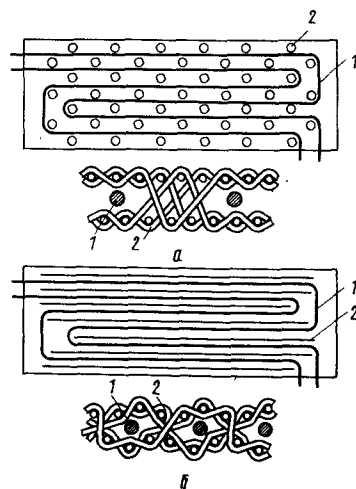


Рис. 36. Точечное (а) и линейное (б) соединения слоев изолирующего основания в тканых электронагревателях  
1 — нагревательный элемент;  
2 — места соединения слоев

Размещение нагревательного элемента между полотнами, кроме изоляции ветвей нагревательного элемента друг от друга, обеспечивает также их наружную изоляцию. При этом возможны различные варианты связи полотен между собой. На рис. 36 представлены два варианта нагревательной ткани, в которой полотна связаны между собой различными способами: в первом случае полотна ткани переходят из слоя в слой, образуя сплошную линию перехода, а в другом — полотна связаны между собой в отдельных местах по всей поверхности. Возможны также другие способы связи, например, при помощи нитей специальной перевязочной основы.

В качестве нагревателя для электроодеял могут применяться не только широкие нагревательные полотна, но и нагревательные ленты, закрепляемые между слоями изолирующей ткани. Например, используются тканые ленты с нагревательным элементом, расположенным в основе [58]. Нагревательные элементы — проволока из нержавеющей стали — размещены между слоями изолирующей ткани в каналах, образованных переходом полотен из слоя в слой аналогично описанному выше случаю, с той разницей, что каналы расположены вдоль, а не поперек ткани (рис. 37)

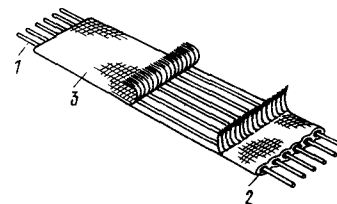


Рис. 37. Ленточный нагреватель для электроодеял  
1 — нагревательный элемент; 2 — канал; 3 — изолирующее полотно

Используя свойство усадки некоторых текстильных нитей под действием температуры, можно изготовить электроодеяла по виду напоминающие стеганые. Разрез ткани для электроодеяла показан на рис. 38. Нагреватель изготавливается из текстильных усадочных нитей в утке и нитей, которые не подвержены усадке — в основе. Под действием температуры усадочные нити, например, из винилхлорида, усаживаются, образуя полукруглые выступы на поверхности ткани, в центре которых находится нагревательный элемент. Такая структура нагревателя позволяет надежно изолировать ветви нагревательного элемента друг от друга [59].



Рис. 38. Разрез по основе тканого электронагревателя для электроодеял

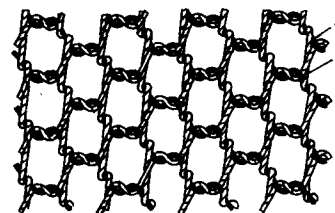


Рис. 39. Нагреватель для электроодеял  
1 — токопроводящая нить; 2 — изолирующая нить

Один из видов нагревателей для электроодеял можно вырабатывать на кружевной машине (рис. 39). По внешнему виду нагреватель похож на сетку с крупными ячейками, состоящую из двух систем нитей — изолирующих и токопроводящих. В готовом изделии токопроводящие нити расположены по диагонали. Нагревательный элемент образован несколькими прядями фольги, обернутой вокруг сердечника из изоляционного материала. Затем несколько таких прядей скручивают вместе или обкручивают текстильной нитью [60].

Для изготовления электроодеял используются также трикотажные электронагреватели в виде основовязаного полотна. Расположение нагревательного элемента в таком нагревателе и характер переплетения аналогичны показанным на рис. 2, а, однако в данном ЭН применяются две уточных нити, одна из которых токопроводящая. Для нагревательного элемента используется голая или изолированная проволока. Проволока прокладывается поперек полотна с определенным интервалом после провязывания нескольких рядов изолирующих текстильных нитей, чтобы предотвратить замыкание отдельных отрезков нагревательного элемента. Нити могут быть из асбеста, стекловолокна или других изоляционных материалов. Интервалы между прокладываемыми нагревательными элементами могут быть разными, что позволяет получить различную отдачу тепла по длине нагревателя (например, у ног больше, чем в верхней части одеяла) [61].

Используя текстильную технологию, можно изготовить не только электроодеяла, но и другие конструкции аналогичного назначения, например, покрывала. В известных конструкциях покрывал нагревательный элемент находится в утке [62, 63]. Чтобы предотвратить возможность короткого замыкания близлежащих ветвей нагревательного элемента, его помещают в карманах, получаемых в процессе ткачества. Ширина карманов — любая, например, она может изменяться в пределах от 25 до 100 мм.

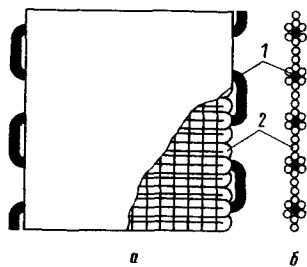


Рис. 40. Тканый матрас с электронагревом  
а — общий вид; б — разрез;  
1 — нагревательный элемент;  
2 — текстильные нити

Расположение нагревательного элемента в матрасе с электронагревом показано на рис. 40. Электронагревательный элемент выполнен из медной проволоки диаметром 0,1 мм, навитой на сердечник из текстильного материала, и проложен по утку ткани с определенным интервалом. Ветви нагревательного элемента изолированы стеклонитями [64].

Для матрасов с электронагревом можно также использовать ткань с двумя токопроводящими утками, которые затем соединяются параллельно. Утки в ткани расположены двумя параллельными рядами на расстоянии 12 мм друг от друга. С одной стороны матраса два нагревательных элемента сварены или спаяны, а вторые концы нагревателей также соединены вместе и подведены к источнику тока. Нагревательные элементы в ткани удерживаются хлопчатобумажными нитями основы и утка [65].

Широко распространены такие нагревательные устройства, как подушки с электрообогревом, применяемые для обогрева в холодное время, а также в медицинских целях. В конструкциях подушек и грелок с электронагревом в основном применяются текстильные ЭН с уточным расположением нагревательного элемента. Подушка с тканым электронагревателем показана на рис. 41. Нагревательный элемент в виде тонкой проволоки вделан в ткань как уток. Материалом основы могут быть асбестовые или стеклонити. Заданная температура поддерживается терморегулятором, вставленным в специальный карман, закрепленный на тканом материале. Тканый ЭН размещают между несколькими слоями изолирующей ткани [66].

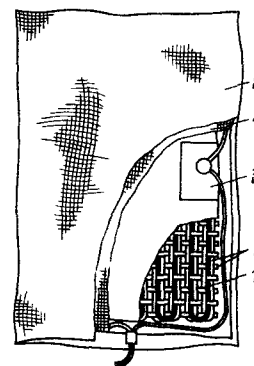


Рис. 41. Электродушка с тканым электронагревателем  
1 — нагревательный элемент; 2 — текстильная нить; 3 — терморегулятор; 4 — изолирующий слой; 5 — наволочка

Другие конструкции электронагреваемых подушек с уточным расположением нагревательного элемента отличаются материалом и строением нагревательного элемента. Например, в тканых ЭН для подушек нагревательный элемент выполняется в виде спирали, намотанной на жгут из стеклонитей, с дополнительной изоляцией

сверху [67, 68]. Такой нагревательный элемент пожаробезопасен и в течение долгого времени выдерживает повышенные температуры.

При расположении нагревательных элементов в основе ткани их чередуют с рядами изоляционных нитей. Подвод питания к нагревательным элементам осуществляется с помощью металлических нитей утка, проложенных по обеим сторонам подушки или грелки и выполняющих роль токопроводов (рис. 42). Подсоединение нагревательных элементов к токопроводам осуществляется пайкой или с помощью пустотелых заклепок [69].

Для изготовления грелок и подушек с электронагревом применяются также трикотажные ЭН. Структура трикотажного полотна аналогична приведенной на рис. 2, а. Нагревательный элемент проложен в каждом ряду основовязаного полотна по прямой линии и удерживается петлями, образованными текстильным материалом. Чтобы оградить нагревательный элемент от замыкания между рядами, после навивки на текстильный сердечник проволоку обматывают несколькими слоями изолирующих нитей [70].

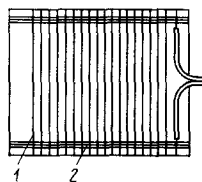


Рис.42. Тканый нагреватель для электрогрелки  
1 - нагревательный элемент; 2 - токопроводящие нити

На основе тканых ЭН разработаны электрогрелки, в которых в качестве теплоносителя используется вода. По сравнению с чисто электрическими они способны более длительное время сохранять тепло, обеспечивают равномерный и плавный нагрев. В таких грелках тканый ЭН после изготовления помещают между двумя листами резины, соединяемыми вместе горячей вулканизацией, и вставляют внутрь резинового баллона. Вода или другая жидкость занимает пространство между нагревателем и стенками грелки. Нагревательный элемент получают навивкой проволоки на сердечник из текстильного материала и дважды обматывают сверху изоляционными нитями, что придает готовому изделию эластичность и надежность в работе [71].

В качестве нагревателей для этих же целей могут применяться не только широкие ткани, но и тканые ленты. Несколько тканых лент коммутируют соответствующим образом и помещают в водозащитную оболочку (рис. 43). Нагреватель помещен внутри подушки и окружен жидкостью [72].

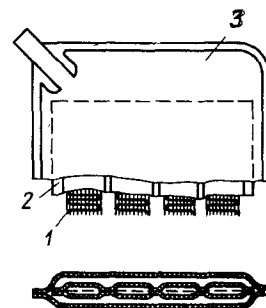


Рис.43. Электрогрелка с наполнением водой  
1 - тканая нагревательная лента; 2 - изоляция; 3 - резиновый баллон

Для изготовления одеял и спальных мешков с электронагревом можно использовать трикотажный ЭН, структура которого показана на рис. 44. Трикотажное полотно состоит из связанных между собой отдельными петлями двух слоев кулирной глади, между которыми расположен нагревательный элемент, проложенный по прямой линии и лишь на определенных участках для закрепления принимающий форму петли, посредством которой соединяется с грунтом. Материалом для слоев служат текстильные нити - капроновые, шерстяные, хлопчатобумажные или вискозные [73].

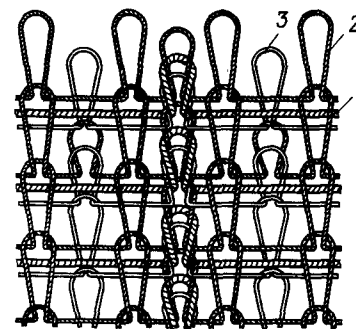


Рис.44. Трикотажный электронагреватель для электроодеял  
1 - токопроводящая нить; 2, 3 - текстильные нити

## Одежда с электрообогревом

При работе в условиях низких температур возникает необходимость в специальной одежде для предупреждения переохлаждения организма человека. Переохлаждение резко снижает темпы работ, отводится время на обогрев, а иногда и вовсе прекращаются ра-



боты. В обогреваемой одежде нуждаются не только жители районов Сибири и Крайнего Севера, где температура достигает в зимний период минус 40–50°С, но и рабочие холодильных предприятий, летчики, шоферы и рабочие других специальностей. Одежда с обогревом необходима людям в бытовых условиях: мотоциклистам, пожилым людям и т.д.

В настоящее время известны конструкции обогреваемой одежды с использованием различных источников тепла (химических, электрических и пр.). Создание теплозащитной одежды, имеющей внешний источник тепла, позволило значительно уменьшить ее массу и увеличить производительность труда рабочих. Одежда обогревается за счет ртути, циркулирующей по трубкам, прикрепленным к одежде, или к одежде прикрепляют проволоку, используемую как элемент нагрева [74]. Одна из фирм (Великобритания) освоила выпуск ткани из стекловолокна, покрытой равномерным слоем токопроводящего полимера [75]. Такую ткань применяют для пошива обогреваемой одежды; ее можно раскраивать, мять, смачивать без нарушения электрических свойств.

В Институте проблем материаловедения АН УССР (г. Киев) созданы модели обогреваемых комплектов "Пингвин" и "Енот".

Карбонизированная ткань, применяемая в качестве нагревателя, располагается на участках тела, наиболее подверженных холоду.

Для одежды с электронагревом применяют и текстильные ЭН. Это может быть ткань или трикотаж с заделанными в них токопроводящими нитями.

Для одежды используются в основном тканые ЭН с нагревательным элементом в утке. Тканые ленты, содержащие в своей структуре уточную проводящую нить, можно использовать для пошива обогреваемой одежды — пальто, брюк или перчаток. Токопроводящий уток образован несколькими проволочками, скрученными вместе. С обеих сторон ленты остается кромка, свободная от нагревательного элемента. Не опасаясь повреждения нагревателя, с помощью кромок его можно крепить к основному материалу одежды [76].

В описанной выше конструкции тканой нагревательной ленты токоподводящий уток проложен с лицевой и изнаночной стороны ткани. В некоторых случаях для получения одностороннего отвода тепла нагревательный элемент располагают с одной стороны ленты. Так, например, в электронагреваемых костюмах для летчиков применяют тканые ленты, в которых электропроводящий уток располагается над основными и уточными текстильными нитями. Края ленты свободны от проводников. Ленты пришиваются к материалу костюма на определенном расстоянии друг от друга как показано на рис. 45. Куртка и брюки к источнику питания подсоединяются раздельно. В комплект костюма входят носки и перчатки с тканым ЭН. На манжетах рукавов и брюках предусмотрены специальные клеммы для их подсоединения. Особенность конструкции костюма в том, что тканые ленты не одинаковы по ширине.

В области туловища и бедер, где требуется повышенное выделение тепла, ленты имеют большую ширину, чем на рукавах или в носках. Кроме того, плотность расположения нагревательного элемента разная. В узких лентах плотность нагревательного элемента подбирается такой, чтобы электрическое сопротивление обеих лент было одно и то же. Для нагревательного элемента применяется пара тонких проволок, которые раздельно изготовлены и затем соединены параллельно [77].

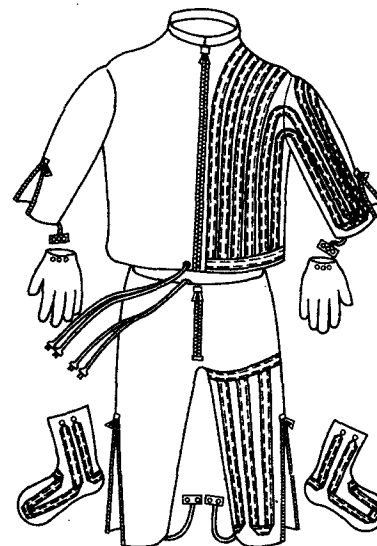


Рис.45. Костюм с электрообогревом

Для того чтобы ткани с токопроводящими элементами были как эластичными, так и растяжимыми, обеспечивали хорошее прилегание нагревателей одежды к телу человека, не ограничивая его движения, разработан ряд конструкций тканых ЭН. Такими свойствами обладает ЭН, в котором токопроводящий уток в ткани прокладывается под натяжением. После станка ткань усаживается, и токоподводящий уток приобретает волнистую форму. Чтобы он выдерживал большие нагрузки в момент натяжения при ткачестве, медную проволоку наматывают на текстильный сердечник [78]. Применяя в одной или нескольких системах эластичные нити, можно получить тканые ЭН с удлинением в направлении утка приблизительно 25–60%. Поперечный разрез такой ткани показан на рис. 46.

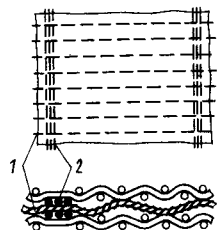


Рис.46. Нагреватель для одежды с электрообогревом  
1 - нагревательный элемент; 2 - токоподводящие шины

Проводники электрического тока уложены поперечно на определенном расстоянии друг от друга и заработаны в ткань в качестве утка. Для подвода тока к нагревательному элементу применяются основные нити. Токоподвод образован жгутом из шести медных проволочек, что позволяет избежать заметного увеличения жесткости ткани. В качестве нитей для токоподводов может применяться медная мишура, состоящая из хлопчатобумажной нити и тонкой медной полоски, спирально на нее навитой. Токоподводящим утком является нихромовая полоска, также спирально наматываемая на текстильный сердечник. Электрическое сопротивление токопроводящей нити составляет 5 Ом/см в невытянутом состоянии. Сочетание текстильных нитей основы с эластичными нитями утка придает ткани растяжимость. Одежда с применением таких ЭН эластична и деформируется в соответствии с движением человека [79].

Для электронагреваемой одежды применяются также основные тканые ЭН. Токопроводящие нити, выполненные из проволоки или текстильные нити, имеющие токопроводящее покрытие, расположены в основе ткани. По обоим концам и в центре ткани проложено несколько проволок, используемых для подвода электрического тока к нагревательным элементам. Напряжение питания 12 В обеспечивает температуру нагревателя около 50°C [80].

Кроме тканых лент с нагревателями в основе или утке, для одежды нашли применение тканые ленты в виде сетки, изготовленной из нержавеющей проволоки. Ряд тканых лент расположен с внутренней стороны комбинезона, перчаток или ботинок. Концы нагревательных лент прилегают к линии талии костюма и подсоединяются к источнику тока кнопкой. Другой конец контакта находится на поясе [81].

Известно также применение трикотажных ЭН для одежды с обогревом. Структура трикотажного ЭН аналогична показанной на рис. 2, в. и отличается от последней лишь тем, что имеет по обоим краям кромки. Вырабатывают такие нагреватели на круглотрикотажной машине, дающей полотно трубчатой формы. После

разрезания вязаной трубки на обоих ее развернутых краях образуется множество свободных концов проволочек, используемых в качестве токопроводящих элементов. Ряды проволочек из нихрома или константана чередуются с рядами нейлоновых нитей. Проволоки соединяются параллельно с помощью заклепок, вокруг которых они обкручиваются. Ширина полосок для одежды может быть от 25 до 40 мм [82].

Для подводных работ на больших глубинах разработан жилет с электрообогревом, одеваемый под гидрокостюм, со встроенными в него ткаными ЭН. Жилет состоит из нескольких панелей, соприкасающихся с телом человека (рис. 47). Каждая панель содержит несколько нагревателей, соединенных параллельно. Нагреватели выполнены из гибкой ткани, состоящей из стеклонитей и нихромовой проволоки, и помещены между двумя слоями водонепроницаемого материала, такого как резина или пластик [83]

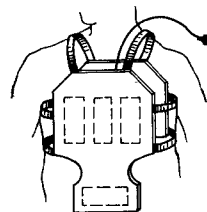


Рис.47. Жилет с электрообогревом  
----- - тканые нагреватели

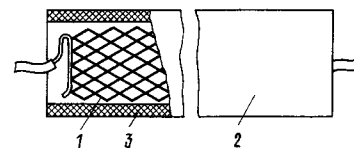


Рис.48. Плетельный электронагреватель для одежды с электрообогревом  
1 - токопроводящие нити; 2 - изоляционный слой; 3 - места соединения изоляционных слоев

Для изготовления электронагреваемой одежды предназначены плетельные ЭН, показанные на рис. 48. Основные их преимущества: небольшая масса, эластичность, возможность пришить или прикрепить к одежде. Нагреватель получен плетением токопроводящих нитей, для изготовления которых используется капроновая леска

с металлическим покрытием (серебро, медь) и нанесенным на него слоем желатина, крахмала или какого-либо лака [84].

Обогрев помещений с помощью текстильных электронагревателей

В последние годы за рубежом все шире применяется электрическое отопление. В США, например, число отопительных электроустановок для жилых помещений с 1963 г. по 1971 г. возросло с 1494 до 5450 тыс., а к концу 1970 г. 8% всех квартир были оборудованы электроотоплением [85]. В СССР этот вид отопления перспективен в первую очередь для населенных пунктов с низкой плотностью тепловой нагрузки при замене мелких котельных и местных отопительных установок, в особенности на твердом топливе. Электроотопление используется также в детских учреждениях, школах, универсальных магазинах, коиторах, домах отдыха и т.д. Степень распространения электроотопления в будущем прежде всего будет зависеть от стоимости электроэнергии.

Основными преимуществами электроотопления являются: а) возможность полностью отказаться от работ по доставке топлива; б) облегчение строительных работ; в) возможность уменьшения городской территории, отведенной под котельные и т.д.; г) уменьшение загрязнения воздушного бассейна золой и газами; д) улучшение санитарно-гигиенических условий в квартирах; е) достижение комфортных условий в помещениях; ж) возможность точного автоматического регулирования температуры внутри помещений, снижения потребления электроэнергии, а также программирования в соответствии с заданным графиком. Для электроотопления имеется множество различных электроприборов: потолочные, настенные, плинтусные или электронагреватели для нагрева пола, конвекторы, приборы с теплораспределительной сетью воздуховодов и излучающие тепловые насосы и т.д.

Электронагревательные устройства для отопления, созданные на основе текстильных ЭН, выполняются в виде электроотопительных панелей, которые могут монтироваться на стенах, полу, потолке и являться одновременно декоративным украшением помещения. Выбор места расположения панели в помещении определяется не только экономической эффективностью электроотопления, но и безопасностью при эксплуатации.

В конструктивном отношении электроотопительные панели могут быть гибкими или жесткими. В первом случае панель представляет собой электрообогреваемые шторы, занавеси, электроковры, расположенные на полу или на стене и т.д., во втором она является деталью строительных конструкций.

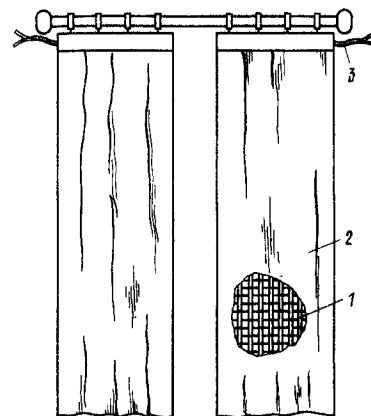


Рис.49. Шторы с электрообогревом  
1 — тканый электронагреватель;  
2 — изоляционный слой; 3 — токоподвод

На рис. 49 представлена электроотопительная панель в виде шторы, состоящая из двух нагревательных полотен, изготовленных из асбестовых нитей и медной проволоки. Нагревательные полотна размером 0,4х1,9 м закрыты с двух сторон изолирующими полотнами. Медная проволока заарматуруется в ткань в виде основных нитей, которые соединены по определенной электрической схеме. Например, 10 проволок соединяются параллельно, образуя несколько нагревательных секций, соединенных последовательно. Напряжение питания 110–220 В. Благодаря большой теплоотдающей поверхности, двусторонней отдаче тепла и хорошей циркуляции воздуха температура поверхности шторы не превышает 30°C. При температуре наружного воздуха 12°C в комнате площадью 25 м<sup>2</sup> с тремя окнами при мощности нагревателей в шторах 2 кВт обеспечивается температура воздуха 20°C [86]. При этом перепад температуры между полом и потолком порядка 5°C.

В зависимости от ширины окна необходимую ширину занавесей можно получить соединением нескольких нагреваемых панелей. Расположение нагревательного элемента в панели показано на рис. 50. Пара токоподводов находится с одной стороны ЭН. Предусмотрены также штепсельные разъемы для параллельного подключения нескольких панелей [87].

Наибольшее распространение получили текстильные ЭН в электроковрах и ковровых дорожках, расположенных на полу обогреваемого помещения. При расположении электроотопительных устройств на полу предъявляются повышенные требования к безопасности при обращении с ними, что, в свою очередь, определяет повышенные требования к электрической изоляции нагревательного элемента. Кроме того, внешний вид ковра должен удовлетворять эстетическим требованиям.

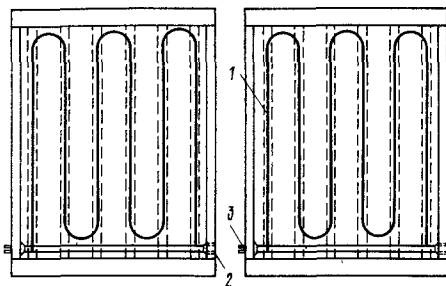


Рис. 50. Секционные электронагреватели для штор  
1 — нагревательный элемент; 2 и 3 — соответственно гнездо и вилка для соединения нагревателей

Введение нагревательного элемента в ковер возможно в процессе ткачества, либо в результате отдельной технологической операции. В первом случае нагревательный элемент вводится, как правило, в многослойную ткань в виде основных или уточных нитей, во втором — нагревательный элемент помещают между слоями силиконовой резины, которые затем закрепляются на внутренней стороне ковра [88]. Один из вариантов конструкции электрообогреваемых ковров первого вида представлен на рис. 51.

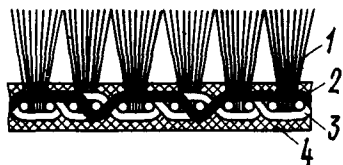


Рис. 51. Ковер с электронагревом  
1 — ворс; 2 — нагревательный элемент; 3 — текстильная нить грунта; 4 — слой изоляции

Правила безопасности при пользовании электроотопительными приборами соблюдаются путем размещения их в недоступных местах помещений, как правило на стене или потолке, а также заделки их в строительные конструкции.

Так, например, нагреватель, показанный на рис. 52, укладывается в нижнем слое пола еще при строительстве здания. Тканые ленты, содержащие токопроводящий уток, соединяются между собой параллельно. Вся конструкция нагревателя поддерживается металлической сеткой. Нагревательные ленты помещены в силиконовый рукав в целях водонепроницаемости и термостойкости нагревателей. Кроме обогрева пола, такие ЭН могут использоваться для оттаивания снега на ступенях лестниц и пр. [89].

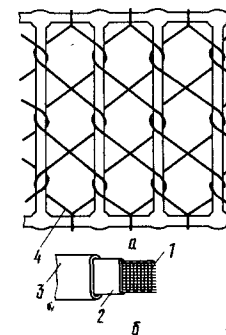


Рис. 52. Электронагреватель для пола в помещениях  
а — нагревательная панель; б — конструкция электронагревателя  
1 — тканая нагревательная лента; 2, 3 — изоляционные слои; 4 — металлическая сетка

В нагревателях, укладываемых под пол помещений, нагревательные элементы расположены в основе тканого ЭН. Подбором соответствующей плотности ткани можно получить ЭН, который обладает воздухо- и влагонепроницаемостью [90].

Наиболее популярным отопительным устройством является плинтусный электронагреватель. Устанавливаемые вместо обычного плинтуса, они не требуют для себя особого места, хорошо вписываются в интерьер комнаты. Передача тепла осуществляется конвекцией. Тканая лента, применяемая для обогреваемых плинтусов, содержит несколько нихромовых проволок в основе, а остальные нити изготовлены, например, из стекловолокна. Перед установкой тканую ленту помещают в защитную оболочку, которая приспособлена к контурам поверхности — карнизам, рамам дверей и окон, плинтусам (рис. 53). Металлическая защитная оболочка может быть треугольной или трубчатой формы [91].

На рис. 54 показан радиатор для электроотопления с тканым ЭН. Токопроводящий элемент — из нихрома. Количество проволок и их длины определяют максимальную рабочую температуру радиатора. Панель площадью  $0,1 \text{ м}^2$  рассчитана на максимальную температуру  $150^\circ\text{C}$  [92].

Перспективным является электроотопление с помощью низкотемпературных нагревателей, расположенных в потолке. Нагреватель для потолка представляет собой скрытое отопительное устройство, оно не занимает место в комнате и обеспечивает безопасность при эксплуатации. Для него используется нагревательное нетканое полотно, состоящее из нескольких слоев волокнистого холста и одного или нескольких каркасных слоев. В волокнистый

холст введен определенный процент угольных волокон, используемых в качестве нагревательных элементов. Каркасным материалом может служить шерстяная ткань. На рис. 55 приведен разрез нетканого полотна, в котором указанные слои соединяются иглопробивным способом. Каркасная ткань применяется для укрепления волокнистого холста и изоляции. Подвод тока к нагревателю осуществляется с помощью двух гибких шин, проложенных по краю вдоль каждого слоя. Напряжение питания ЭН составляет 12 или 25 В. Лист размером 3,6х3,6 м создает мощность около 2 кВт [93].

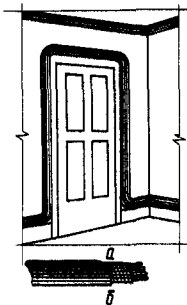


Рис.53. Электронагреватель для обогрева помещений  
а - установка электронагревателей; б - конструкция электронагревателя

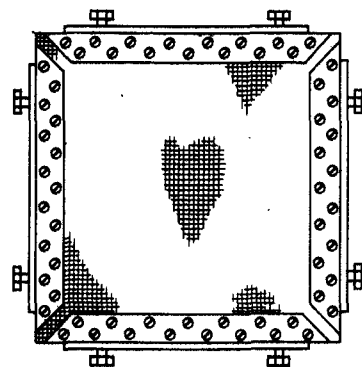


Рис.54. Радиатор с тканым электронагревателем

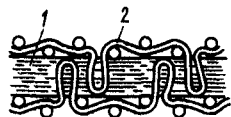


Рис.55. Нетканый текстильный нагреватель для обогрева потолка помещений  
1 - волокнистый токопроводящий холст;  
2 - текстильные нити каркасного материала

Нагреваемые панели для потолка могут выполняться из асбестовых нитей и проволоки, расположенной в направлении уточных нитей. Нагреватель запрессовывается между слоями резины. Рекомендуемая температура для нагрева потолка составляет от 20 до 50°C [94].

Нагревательные панели для обогрева стен и потолка в ряде случаев размещают между сухой штукатуркой, причем нагревательный элемент может запрессовываться таким образом, чтобы через равные промежутки поверхности панели были оставлены участки для вбивания гвоздей [95].

Другие случаи применения текстильных электронагревателей в быту

Текстильные ЭН используются в самых разнообразных устройствах бытового назначения. Например, тканые ЭН применяются в электротостерах. В тостерах хлеб подрумянивается неравномерно по поверхности среза. Эти недостатки удается избежать, выполнив нагреватель тостера тканым, покрытым силиконовой резиной. На рис. 56 показан общий вид тостера и конструкция нагревательного элемента. Ломтики хлеба помещаются между двумя нагревательными плитами. Проволока, выполняющая функции нагревательного элемента, находится в утке, а для подачи тока с обеих сторон ткани предусмотрены проволочные шины, расположенные в ткани в качестве основы. Остальные нити основы изготовлены из стекловолокна. Тканый ЭН помещен между несколькими слоями стеклоткани, пропитанной силиконовой эмалью и опрессованной при температуре 250-300°C и давлении от 30 до 40 кгс/см<sup>2</sup> в течение 1 мин [96, 97]. Тостеры с такими ЭН обладают равномерным нагревом по поверхности и большой эффективностью.

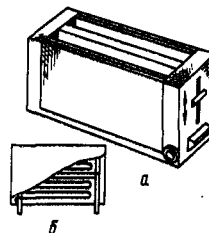


Рис.56. Тостер  
а - общий вид; б - конструкция нагревательного элемента

В сушилках, применяемых в парикмахерских, для ускорения процесса перманентной завивки волос в качестве нагревательных элементов также могут использоваться текстильные электроннагреватели. Текстильный электроннагреватель (рис. 57) закрепляется между двумя внутренними оболочками колпака сушилки. Наружная часть колпака, выполненная из резины или полистирена, отделена от внутренней части слоем теплоизоляции (асбеста или стекловаты), которая обеспечивает направленный тепловой поток к волосам клиента. Температура внутренней поверхности колпака может достигать  $100^{\circ}\text{C}$  при мощности нагревателя порядка 600 Вт. В качестве нагревательного элемента в данном случае применяется нихромовая проволока [98].

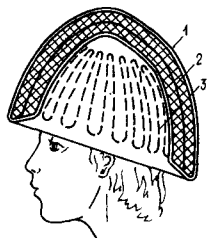


Рис. 57. Сушка для волос  
1 — нагревательный элемент; 2 — теплоизоляция; 3 — наружный защитный слой

В холодных туалетных комнатах, которые не отапливаются в зимнее время, известно применение обогреваемых туалетных сидений.

Два тканых электроннагревателя в виде узкой ленты соединены между собой последовательно и прикреплены к внутренней поверхности клеем. Тканая полоска изготовлена, из синтетических или натуральных волокон и содержит в утке проволоку из нержавеющей стали или латуни. Проволока намотана вокруг кордной нити, а сама электроннагревательная лента помещена между слоями термопластического материала, которые при нагреве соединяются вместе, образуя водостойкую электрическую изоляцию [99].

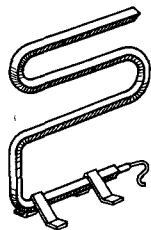


Рис. 58. Сушилка для белья

Для сушилок, устанавливаемых в ваннных комнатах, предложен тканый ЭН ленточного типа. Сушилка представляет собой трубу с заделанным в нее электроннагревателем, причем нагревательная лента расположена так, что электрический ток к сушилке подводится с одного конца трубы. Как показано на рис. 58, труба имеет три изгиба и прямые участки длиной 70–80 см. Нижний прямой участок трубы снабжен двумя подставками из стальных полос для установки сушилки в вертикальное положение. Тканая электроннагревательная лента может иметь как основное, так и уточное расположение нагревательного элемента [100].

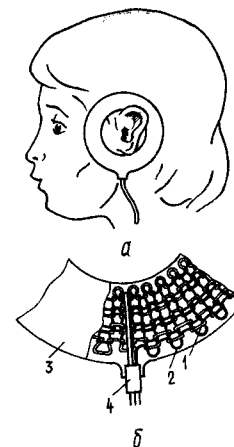


Рис. 59. Электрогрелка для уха  
а — общий вид электрогрелки, установленной на ухе пациента;  
б — расположение трикотажного электроннагревателя  
1 — нагревательный элемент; 2 — изоляционная нить; 3 — слой изоляции; 4 — выводы

На рис. 59 показана электрогрелка, применяемая для лечения заболеваний уха. Электрогрелка выполнена в виде трикотажного электроннагревателя, запрессованного между двумя слоями изоляционного материала (силиконовой резины). Нагреватель представляет трикотажное полотно из чередующихся металлических и изолирующих нитей, расположенных по спирали. Затем трубчатому трикотажному полотну придается форма кольца путем растяжения наружных и присобираением внутренних петель полотна. Форма изолирующего основания обеспечивает хороший контакт с обогреваемой поверхностью.

Электроматрацы изготавливаются из ткани, содержащей два параллельно расположенных уточных нагревательных элемента. Для основы применяются асбестовые нити. Нагревательный элемент получен путем навивания проволоки, имеющей высокое удельное сопротивление, вокруг стержневой текстильной нити. Дополнительная изоляция нагревательного элемента создается обертыванием такого проводника несколькими слоями изоляционных нитей. В готовой ткани при изготовлении матраца две ветви нагревательного элемента соединяются параллельно [101].

Терапевтический бандаж имеет тканый ЭН из нагревательных элементов в основе и утке. Питание к ним подводится по проводам, расположенным по кромкам ткани [102].

В нагревательных устройствах для обогрева человека текстильные ЭН благодаря своим положительным свойствам имеют существенные преимущества перед нагревателями других типов.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гриффен Л.А. и др. Тканые электронагреватели. Труды ЦНИИТЭИлегпрома, 1972.
2. Гриффен Л.А. Тканые электронагреватели как электротехнические устройства и текстильные изделия. — "Электротермия", 1976, №7.
3. Гриффен Л.А., Тюменева И.Н. Трикотажные электронагреватели, В сб. научно-исследовательских трудов ВНИИПХВ, 1976, №3.
4. США, пат. №2732479, заявлено 15.06.53, Электронагревательные элементы.
5. Великобритания, пат. №1386894, заявлено 13.10.72. Способ получения электрообогреваемого листа.
6. Великобритания, пат. №1239911, заявлено 9.05.68. Усовершенствование, касающееся текстильных материалов.
7. Графтон П.М. Металлические волокна в текстильной промышленности и технике. — "Spinner Textilrealung", 1971, №3.
8. Лэвис Х.Ф. Применение металлических нитей в текстильной промышленности. — "Melliand Textilber", 1969, №9.
9. Изменение баланса текстильного сырья. — "Текстильная промышленность", 1971, №10.
10. Гордеев В.А. и др. Ткачество, М., "Легкая индустрия", 1970.
11. Далидович А.С. Основы теории вязания. М., "Легкая индустрия", 1970.
12. Труевцев Н.И. и др. Технология и оборудование текстильного производства. М., "Легкая индустрия", 1975.

13. Забелюцкий Л.М. и др. Справочник по текстильно-галантерейному производству. М., Государственное научно-техническое изд-во литературы по легкой промышленности, 1958.

14. США, пат. №2797296, заявлено 25.07.55. Электронагреватель.

15. США, пат. №3484585, заявлено 13.11.67. Водостойкий электронагреваемый кожух.

16. Гриффен Л.А., Виттин В.С. Тканый электронагреватель. Авт. свид. №318178. "Бюлл. изобр.", 1971, №31.

17. Вильямс А.Е. Нагрев электричеством. - "Mass Production", июль, 81, 1956.

18. Великобритания, пат. №654447, заявлено 14.05.48. Электронагреваемая одежда.

19. Вильямс А.Е. Электронагрев промышленного оборудования. - "Electrical Review", август, 1956, 296.

20. Великобритания, пат. №665509, заявлено 5.07.49. Усовершенствование электронагреваемых кожухов, в частности для сосудов, содержащих жидкость.

21. Великобритания, пат. №623786, заявлено 13.03.47. Усовершенствование, касающееся электронагревательного устройства, способ и методы его изготовления.

22. США, пат. №2572695, заявлено 26.06.48. Электронагреваемый кожух для лабораторных аппаратов.

23. США, пат. №2412843, заявлено 29.01.44. Тканый элемент сопротивления.

24. Великобритания, пат. №584263, заявлено 31.03.44. Усовершенствование, касающееся электронагревателей.

25. Фонарев З.И. Транспортировка вязких жидкостей с применением электроподогрева. Л., Ленинградский дом научно-технической пропаганды, 1973.

26. Богданов А.А. и др. Гибкий нагревательный элемент. А. с. №520728, "Бюлл. изобр.", 1976, №25.

27. Гриффен Л.А., Виттин В.С. Тканая электронагревательная лента. А. с. №488369. "Бюлл. изобр.", 1975, №38.

28. Великобритания, пат. №914973, заявлено 20.07.60. Электронагревательное устройство.

29. Швеция, пат. №292723, заявлено 22.09.50. Гибкий нагревательный элемент.

30. Великобритания, пат. №545987, заявлено 11.11.41. Усиленные пластические материалы.

31. США, пат. №2678993, заявлено 13.03.52. Тканое сопротивление или нагревательное устройство.

32. Великобритания, пат. №1094935, заявлено 5.05.65. Устройство для нагрева хопперов.

62

33. Франция, пат. №1477853, заявлено 18.04.66. Способ изготовления нагревательной ткани.

34. США, пат. №3472289, заявлено 10.11.66. Нагревательная ткань.

35. Франция, пат. №1491133, заявлено 2.09.66. Структура прозрачного панно с металлическими филаментами.

36. ФРГ, пат. №2030204, заявлено 19.06.70. Способ получения электронагреваемого армированного прозрачного стекла.

37. Великобритания, пат. №553804, заявлено 29.12.41. Усовершенствование, касающееся производства электронагревательных элементов.

38. США, пат. №2496279, заявлено 10.02.45. Гибкий электронагреватель для антиобледенения крыльев самолета.

39. Франция, пат. №1522143, заявлено 9.05.67. Устройство обогрева с электросопротивлением.

40. Великобритания, пат. №1115023, заявлено 5.09.64. Усовершенствование, касающееся электронагреваемого мата.

41. Франция, пат. №1189241, заявлено 23.03.59. Гибкое электронагревательное устройство, в частности для борьбы с антиобледенением самолетов.

42. Лиска Д. Электронагрев в химической промышленности. - "Anlagen und Verfahren", 1970, №3, 62.

43. Великобритания, пат. №1122362, заявлено 24.02.66. Усовершенствование высокотемпературных нагревательных элементов.

44. Великобритания, пат. №1289067, заявлено 24.04.71. Нагреваемый брючный пресс.

45. Великобритания, пат. №1063245, заявлено 27.07.63. Пресс для одежды.

46. США, пат. №2287320, заявлено 21.08.40. Вулканизирующее приспособление.

47. Великобритания, пат. №761284, заявлено 8.06.54. Усовершенствование, касающееся нагревающего устройства.

48. Великобритания, пат. №950953, заявлено 26.03.59. Усовершенствование, касающееся электронагревательных элементов.

49. США, пат. №2868946, заявлено 12.01.56. Электронагревательные элементы.

50. США, пат. №3349225, заявлено 3.05.56. Электронагревательный элемент для дорог и т.п.

51. Великобритания, пат. №1347702, заявлено 22.02.71. Усовершенствование, касающееся электрических нагревателей, в частности для аквариума.

52. Франция, пат. №1460464, заявлено 14.12.65. Электронагревающее устройство.

53. Франция, пат. №1595244, заявлено 17.12.68. Электронагревательный элемент в форме пластины или панно.



54. Великобритания, пат. №635230, заявлено 18.12.46. Усовершенствование, касающееся электроодеял, шпалер, сетей, панелей и т.п.

55. США, пат. №3028477, заявлено 6.04.59. Электроодеяло.

56. США, пат. №2203918, заявлено 7.03.39. Электроодеяло.

57. США, пат. №2432785, заявлено 8.01.45. Электрообогреваемое двухслойное одеяло.

58. Великобритания, пат. №852157, заявлено 17.04.56. Усовершенствование, касающееся тканых ленточных электронагреваемых элементов.

59. США, пат. №2862097, заявлено 31.05.55. Электронагреваемые ткани.

60. Великобритания, пат. №596810, заявлено 14.05.45. Электроодеяло.

61. США, пат. №2458801, заявлено 22.08.44. Токопроводящая ткань.

62. Великобритания, пат. №767954, заявлено 23.09.53. Электронагреваемые текстильные изделия.

63. Великобритания, пат. №1020119, заявлено 30.04.63. Электронагреваемые одеяла.

64. США, пат. №2973425, заявлено 20.05.59. Электрообогреваемые маты или коврики.

65. США, пат. №3758747, заявлено 19.10.70. Электро-матрацы.

66. Великобритания, пат. №595476, заявлено 31.05.45. Усовершенствование, касающееся производства электронагреваемых изделий, таких как подушки, коврики, одеяла, одежда и т.п.

67. США, пат. №2345300, заявлено 13.11.41. Электронагревающая подушка.

68. ФРГ, пат. №821094, заявлено 8.06.49. Нагревательная лента для нагрева посредством сопротивления.

69. ФРГ, пат. №847784, заявлено 13.12.51. Электронагревающее устройство, в частности покрытие.

70. США, пат. №2157606, заявлено 9.05.39. Электронагреваемая ткань.

71. США, пат. №2294010, заявлено 22.11.40. Электрообогреваемый водяной баллон.

72. ФРГ, пат. №829481, заявлено 1.11.49. Водостойкая подушка и способ ее получения.

73. Великобритания, пат. №722607, заявлено 3.05.51. Термоизоляционное изделие, способ и устройство для его получения.

74. США, пат. №3049486, заявлено 22.05.61. Электронагреватель для контейнеров.

75. Ткани с электрообогревом. - "Electrical Times", 1970, №4, 14.

76. США, пат. №2307231, заявлено 16.12.40. Нагревательная лента.

77. США, пат. №2329766, заявлено 27.04.42. Электронагреваемый летный костюм.

78. США, пат. №2379580, заявлено 25.11.42. Электрообогреваемое изделие.

79. США, пат. №2327756, заявлено 15.10.41. Электропроводящее изделие.

80. США, пат. №2274840, заявлено 7.06.41. Электропроводящая ткань.

81. США, пат. №2287915, заявлено 30.06.42. Электронагреваемая одежда и оборудование.

82. Великобритания, пат. №750930, заявлено 19.11.54. Усовершенствование, касающееся электронагревательных элементов.

83. Великобритания, пат. №1389473, заявлено 1.06.72. Одежда для сохранения тепла человека в воде.

84. США, пат. №2631219, заявлено 6.05.49. Электронагревательный элемент.

85. Ш а н н а х а н Х.К. Электрообогрев помещений в США. - "Bull. Schweiz. electrotechn. Ver", 1972, №19.

86. Великобритания, пат. №645581, заявлено 7.09.48.

Усовершенствование, касающееся излучающих электронагревателей.

87. Великобритания, пат. №1103002, заявлено 9.08.66. Нагревающий занавес или облицовка.

88. США, пат. №2025586, заявлено 28.08.34. Электронагреваемый ковер.

89. Великобритания, пат. №1189161, заявлено 1.05.67. Электронагревающие маты для пола или ступеней.

90. ФРГ, пат. №819876, заявлено 16.10.49. Плоский электронагреватель.

91. Франция, пат. №1229746, заявлено 21.01.59. Усовершенствование в системах электронагревателей для помещений.

92. Великобритания, пат. №65222, заявлено 24.11.48.

Усовершенствование, касающееся излучающих электронагревателей.

93. Франция, пат. №2049687, заявлено 1.04.70. Электронагревательный элемент.

94. Великобритания, пат. №493533, заявлено 4.01.37. Электронагреваемая плита.

95. Великобритания, пат. №1100113, заявлено 26.08.63. Электронагреваемая плита.

96. Великобритания, пат. №1321907, заявлено 4.09.70. Поверхностный нагреватель для тостера.

97. Япония, пат. №47-24495, заявлено 19.03.68. Способ изготовления нагревательного элемента для тостера.

98. Великобритания, пат. №1194403, заявлено 15.06.67. Электросушилка для волос.

99. Великобритания, пат. №1196320, заявлено 22.11.67. Электрообогреваемое туалетное сидение.

100. Великобритания, пат. №993187, заявлено 4.12.64.  
Сушка для белья.

101. США, пат. №2376902, заявлено 27.02.43. Матрацы  
для лечения заболеваний человека теплотерапией.

102. США, пат. №2298181, заявлено 7.10.40. Электричес-  
кий терапевтический бандаж.

103. Великобритания, пат. №1230591, заявлено 20.03.71.  
Нагреватель аккумуляторов.

## СОДЕРЖАНИЕ

	Стр.
ВВЕДЕНИЕ .....	1
ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ТЕКСТИЛЬНЫХ ЭЛЕКТРОНАГРЕВАТЕЛЕЙ .....	1
Классификация текстильных электронагре- вателей .....	1
Материалы, применяемые для изготовления текстильных электронагревателей .....	6
Технология производства текстильных элек- тронагревателей .....	14
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТЕКСТИЛЬНЫХ ЭЛЕКТРО- НАГРЕВАТЕЛЕЙ В ПРОМЫШЛЕННОСТИ .....	17
Обогрев емкостей и трубопроводов .....	17
Текстильные электронагреватели на транспорте .....	26
Использование текстильных электронагревателей в технологическом оборудовании и другие случаи их применения .....	35
ПРИМЕНЕНИЕ ТЕКСТИЛЬНЫХ ЭЛЕКТРОНАГРЕВАТЕЛЕЙ В БЫТУ .....	40
Одеяла и подушки с электронагревом .....	40
Одежда с электрообогревом .....	47
Обогрев помещений с помощью текстильных электронагревателей .....	52
Другие случаи применения текстильных электро- нагревателей в быту .....	57
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ .....	61