

ТЕПЛОТЕХНИКА

Մ. Մ. ՄԱՐԿՕՅԱՆ, Կ. Դ. ՕԳԱՆԵՅԱՆ

К РАСЧЕТУ ВРЕМЕНИ ВУЛКАНИЗАЦИИ КАБЕЛЬНЫХ ИЗДЕЛИЙ С ИЗОЛЯЦИЕЙ ИЗ ВУЛКАНИЗИРУЮЩЕГОСЯ ПОЛИЭТИЛЕНА

В статье рассматривается вопрос определения оптимального времени вулканизации кабельных изделий из вулканизирующегося полиэтилена. Качество этого материала в готовом изделии зависит не только от правильного подбора технологии обработки в соответствии с его реологическими свойствами, но и от правильного выбора режима вулканизации. Согласно [1] вулканизация полиэтилена органической перекисью дикумила происходит по свободнорадикальному механизму. Образование этих радикалов является реакцией первого порядка, зависящей только от температуры. При 148,2°С с учетом четырехкратного периода полураспада, оптимальное время вулканизации составляет 45 мин, при 180°С — 2,4 мин, а при 200°С и выше перекись разлагается в течение нескольких секунд. В последнем случае время вулканизации кабелей эквивалентно времени прогрева изоляционного слоя. В общем случае действительное время оптимальной вулканизации полиэтилена перекисью дикумила определяется выражением:

$$t = t_p + 4t_{1/2} \quad (1)$$

где t_p — время нагрева вулканизируемого слоя до соответствующей температуры, определяемое расчетным путем;
 $t_{1/2}$ — время полураспада перекиси дикумила при соответствующей температуре.

Как известно, прогрев кабеля на АИВ происходит насыщенным паром при его прохождении через вулканизационную трубу. При этом термодинамические условия теплообмена таковы, что нагрев происходит при граничных условиях первого рода, то есть температура нагреваемой поверхности изоляции принимается равной температуре пара [2]. Подобные условия теплообмена создаются также при вулканизации в среде жидких теплоносителей, применение которых стало возможным после создания АИВ с вертикально-расположенной вулканизационной камерой (ВАИВ).

В ВАИВ в качестве жидкого теплоносителя применяются высокотемпературные органические теплоносители, в частности диэтиленгликоль. Термодинамические параметры ее таковы, что легко соз-

даются условия теплообмена турбулентного режима течения и следовательно, режим теплообмена соответствует принятым условиям первого рода. В этом случае температура нагреваемой поверхности изоляционного слоя принимается равной средней температуре потока теплоносителя. Поэтому, нижеприводимые результаты расчета равным образом можно отнести к обоим случаям вулканизации. Пренебрегая потерями теплоты через теплоизолированную стенку вулканизационной трубы можно принять, что прогрев кабеля при этом происходит в квазистационарных условиях нагрева.

Согласно теории нестационарной теплопередачи для расчета времени прогрева — изоляционного слоя можно применить одномерное дифференциальное уравнение в цилиндрических координатах:

$$\frac{\partial z}{\partial t} = a \left(\frac{\partial^2 z}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial z}{\partial r} \right), \quad (2)$$

где a — коэффициент температуропроводности изоляции кабеля.

Решение (2) выраженного через ряд с функциями Бесселя имеет следующий вид:

$$\theta_{r,z} = \theta_a \sum_{i=1}^{\infty} \frac{2 J_1(m_i)}{m_i [J_0'(m_i) + J_1'(m_i)]} I_0 \left(m_i \frac{r}{k} \right) e^{-m_i^2 F_0}, \quad (3)$$

где

$\theta_{r,z} = t_a - t_{r,z}$ — разность температуры среды и искомого слоя изоляции в °C;

$\theta_a = t_c - t_n$ — разность температуры среды и поверхности изоляционного слоя кабеля после выхода из головки шприцпресса в °C;

$J_0(m_i)$ и $J_1(m_i)$ — функций Бесселя первого рода и первого порядка;

m_i — корни характеристического уравнения;

r и R — соответственно внутренний и внешний радиусы изоляционного слоя в мм;

$F_0 = \frac{a \tau}{R^2}$ — критерий Фурье;

$a = 0,41 \cdot 10^{-3} \frac{\text{м}^2}{\text{час}}$ — коэффициент температуропроводности поли-
этилена;

τ — время в часах.

Для тел цилиндрической формы „ m “ определяется из характеристического уравнения:

$$m \frac{J_1(m)}{J_0(m)} = B_i, \quad (4)$$

где

$B_i = \frac{h_i}{\lambda_n} R$ — критерий Био;

α_i — коэффициент теплоотдачи нагревающей среды в $\frac{\text{ккал}}{\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot ^\circ\text{C}}$;

$\lambda_0 = 0,21 \frac{\text{ккал}}{\text{м} \cdot \text{ч} \cdot ^\circ\text{C}}$ — коэффициент теплопроводности вулканизирующего полиэтилена.

При граничных условиях первого рода теплопередачи соответствует большое значение α_i и маленькое значение λ_0 , поэтому критерий $B_i \gg 1$. Следовательно, из уравнения (4) получим —

$$J_0(m) \approx 0. \quad (5)$$

Учитывая (5), уравнение (3) принимает следующий вид:

$$\frac{\theta_{r, z}}{\theta_a} = \sum_{i=1}^{\infty} \frac{2 J_0\left(m_i \frac{r}{R}\right)}{m_i J_1(m_i)} e^{-m_i^2 F_i} \quad (6)$$

Определение времени вулканизации в зависимости от геометрического фактора — r/R связано с большими трудностями. Однако в пределах

$$0,36 \leq \frac{r}{R} \leq 0,83. \quad (7)$$

которые соответствуют изолированным жилам с сечением 0,75–300 мм², значения критерий Фурье получаются в таких пределах, что при определении времени вулканизации достаточно учесть только первый член суммы формулы (6):

$$\frac{\theta_{r, z}}{\theta_a} = \frac{2 J_0\left(m_1 \frac{r}{R}\right)}{m_1 J_1(m_1)} e^{-m_1^2 F_i} \quad (8)$$

Подставляя значение $F_i = \frac{a^2 \tau}{R^2}$ в (8) получим выражение времени нагрева изолированного провода

$$\tau = \frac{R^2}{m_1^2 a} \ln \frac{2 J_0\left(m_1 \frac{r}{R}\right)}{m_1 J_1(m_1)} \cdot \frac{\theta_a}{\theta_{r, z}} \quad (9)$$

Подставляя в выражение (9) значения a и m для провода с изоляцией из вулканизирующегося полиэтилена непластичной смеси, получим расчетное время нагрева

$$\tau_p = 6 \cdot 10^{-2} R^2 \lg 1,6 \cdot J_0\left(2,405 \cdot \frac{r}{R}\right) \frac{\theta_a}{\theta_{r, z}} \quad (10)$$

где

τ_p — расчетное время нагрева кабеля в мин; R — радиус по изоляции в мм.

Время добавочной вулканизации в охлаждающем устройстве согласно [3] составляет 20% от общего времени вулканизации. Поэто-

Таблица 1

Время вулканизации кабеля с изоляцией из неплавящегося вулканизующегося полиэтилена

Номинальное сечение жилы, (мм ²)	Диам. жилы, (мм)	Диам. провода, (мм)	R (мм)	$\frac{r}{R}$	$\lambda \left(m, \frac{r}{R} \right)$	$t_{\Sigma} = 180^{\circ}C, t_{\Sigma 1} = 170^{\circ}C, t_{II} = 120^{\circ}C$			$t_{\Sigma} = 200^{\circ}C, t_{\Sigma 1} = 180^{\circ}C, t_{II} = 120^{\circ}C$			
						$t_{170} = 1,5 \text{ мин} \frac{q_{\Sigma}}{q_{\Sigma 1}} = 6$			$t_{180} = 0,6 \text{ мин} \frac{q_{\Sigma}}{q_{\Sigma 1}} = 4$			
						\bar{t}_p (мин)	$\bar{t}_R = \bar{t}_p \cdot 4^{-1/2}$ (мин)	$\bar{t}_B = 0,8 \bar{t}_R$ мин	\bar{t}_p мин	\bar{t}_R	$\bar{t}_p \cdot 4^{-1/2}$ мин	$\bar{t}_B = 0,8 \bar{t}_R$ мин
0,75	1,11	3,1	1,55	0,358	0,826	0,130	7,33	5,70	0,075	2,48	2,0	
1,0	1,25	3,3	1,65	0,379	0,808	0,145	7,31	5,70	0,083	2,48	2,0	
1,5	1,56	3,6	1,80	0,434	0,740	0,165	7,36	5,80	0,11	2,51	2,0	
25	2,05	4,05	2,02	0,495	0,670	0,200	7,40	5,80	0,16	2,55	2,02	
4,0	2,6	4,6	2,30	0,565	0,590	0,235	7,43	5,95	0,17	2,57	2,05	
6	3,2	5,2	2,60	0,615	0,520	0,280	7,48	6,0	0,21	2,61	2,08	
10	4,1	6,5	3,25	0,630	0,500	0,430	7,63	6,10	0,31	2,70	2,16	
16	5,76	8,16	4,08	0,706	0,394	0,535	7,75	6,20	0,40	2,80	2,24	
25	7,67	10,47	5,24	0,737	0,340	0,850	8,05	6,45	0,54	2,94	2,36	
35	8,7	11,5	5,75	0,756	0,320	0,965	8,16	6,54	0,61	3,0	2,48	
50	9,6	12,8	6,40	0,750	0,320	1,200	8,40	6,73	0,76	3,16	2,53	
70	10,2	13,4	6,70	0,763	0,300	1,24	8,44	6,77	0,79	3,26	2,56	
95	12,55	16,15	8,10	0,777	0,290	1,76	8,96	7,16	1,05	3,45	2,76	
120	15,96	19,16	9,60	0,830	0,244	2,04	9,24	7,40	1,08	3,50	2,80	
150	18,09	11,0	11,0	0,820	0,260	2,88	10,08	8,00	1,60	4,0	3,20	
185	19,92	24,38	12,20	0,820	0,260	3,50	10,70	8,55	1,96	4,56	3,66	
240	22,95	27,77	13,85	0,828	0,246	4,20	10,40	9,10	2,26	4,66	3,74	
300	26,14	31,34	15,67	0,830	0,244	5,50	11,70	10,00	2,90	5,30	4,21	

* t_{170} и t_{180} — время полуразпада перекиси дисульфула соответственно при 170° и 180°С.

Таблица 2

Время вулканизации силовых кабелей с изоляцией из вулканизирующего полиэтилена

Номинальное сечение жилы, (мм ²)	Диаметр жилы, (мм)	Диаметр изолированной жилы, (мм)	R (мм)	$\frac{r}{R}$	$J_0\left(m_1 \frac{r}{R}\right)$	$t_p = 180^\circ\text{C}$ $t_{c.} = 170^\circ\text{C}$ $t_n = 120^\circ\text{C}$			$t_p = 200^\circ\text{C}$ $t_{c.} = 180^\circ\text{C}$ $t_n = 120^\circ\text{C}$		
						$\tau_{120} = 1,8 \text{ мин}$ $\frac{\theta_{120}}{\theta_{c.}} = 6$			$\tau_{180} = 0,6 \text{ мин}$ $\frac{\theta_{180}}{\theta_{c.}} = 4$		
						τ_p мин	$\tau_b = \tau_p + 4 \tau_{120}$ мин	$\tau_b = 0,8 \tau_p$ мин	τ_p мин	$\tau_b = \tau_p + 4 \tau_{180}$ мин	$\tau_b = 0,8 \tau_p$ мин
16	4,5	10,5	5,25	0,43	0,750	1,41	8,61	6,8	1,12	3,52	2,82
25	6,39	12,39	6,20	0,515	0,652	1,83	9,03	7,2	1,43	3,83	3,14
35	7,47	13,47	6,73	0,555	0,600	2,03	9,23	7,4	1,57	4,17	3,34
50	9,05	15,05	7,50	0,600	0,540	2,13	9,63	7,7	1,83	4,23	3,38
70	10,65	16,65	8,37	0,630	0,500	3,18	10,38	8,3	2,12	4,52	3,62
95	12,45	18,45	9,22	0,675	0,440	3,20	10,40	8,3	2,28	4,68	3,74
120	14,07	20,07	10,03	0,680	0,450	3,81	11,04	8,7	2,42	4,82	3,86

му окончательное время вулканизации определяется следующим выражением:

$$\tau_b = 0,8 \tau_g'$$

В таблицах 1 и 2 приведены результаты расчета времени вулканизации соответственно проводов и силовых кабелей.

В ы в о д ы

1. В отличие от методики расчета времени вулканизации резиновых кабельных изделий с учетом плато вулканизации, предлагается упрощенная методика расчета времени вулканизации изделий из полиэтилена с учетом времени полураспада перекиси дикумила при его вулканизации.

2. Приводятся значения параметров $\frac{r}{R}$, a , ι (табл. 1, 2), облегчающие расчет времени вулканизации кабельных изделий из вулканизирующего полиэтилена.

Получено 21.XI 1967.

И. И. ПАРЧАНЯН, Ч. Г. ЗОЦАКАНОВА

ՎՈՒԿԱՆԱԶԱՏՎՈՂ ՊՈՒԼՔԵՐԻՆԵՆ ՄԵԿՈՒՄԵԶՈՎ ԿԱՐԵՎԱՅԻՆ ՇԵՆՎԱՏՔՆԵՐԻ ՎՈՒԿԱՆԱՅՄԱՆ ՏԵՎՈՂՈՒԹՅԱՆ ՀԱՇՎԱՐԿԻ ՇՈՒՐՁԸ

Ս և փ և փ և ւ ւ ւ

Առաջարկված է վուկանացվող պոլիէթիլենով մեկուսացված կարելային շինվածքների օպտիմալ վուկանացման համար անհրաժեշտ տարացման տևողության հաշվարկի մեթոդ: Հաշվարկի գոյություն ունեցող մեթոդները վերաբերվում են սեփական մեկուսիչներով կարելային շինվածքներին և հիմնվում են նախնական լարորատոր փորձարկումների վրա: Ըստ սրում, վուկանացման տևողությունն ընտրելիս հաշվի չի առնվում ժամանակի անհրաժեշտ փոփոխությունը՝ կախված հաղորդչարի տրամագծից ու մեկուսիչի հաստությունից տարբեր կոնստրուկցիաներում:

Առաջարկվող մեթոդը ներառվորություն է րեձևոնում ընտրել վուկանացման համար անհրաժեշտ տարացման տևողությունը՝ հաշվի առնել հաղորդչարի տրամագիծը, մեկուսիչի հաստությունը և վուկանացնող սեղանակալի դիկտիլի պիրոքսիդի կիսատրոհման ժամանակը:

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Амберг Уиллис. Химия вулканизации перекисного дикумила и журн. «Химия и технология полимеров», 1960, № 4.
2. Татарников А. А. Усовершенствование производства проводов и кабелей с резиновой изоляцией. Сборник материалов II отраслевого научно-технического совещания. М., 1964.
3. Цудаков И. И. Графоаналитический метод расчета времени вулканизации шланговых оболочек кабелей на АНВ. «Кабельная техника», Вып. 3, 10, 1957.