



TOSHKENT IRRIGATSIYA VA QISHLOQ  
XO'JALIGINI MEXANIZATSIYALASH  
MUHANDISLARI INSTITUTI



**FAN:** ТЕХНИКА ВЫСОКИХ  
НАПРЯЖЕНИЙ

ТЕМА  
**07**

ИЗОЛЯЦИЯ СИЛОВЫХ  
КАБЕЛЕЙ ВЫСОКОГО  
НАПРЯЖЕНИЯ



Музафаров Шавкат Мансурович

Профессор кафедры  
“электроснабжение и возобновляемые  
источники энергии”



## План лекции:

- Внешняя и внутренние изоляции кабелей.
- Маслонаполненные кабели среднего давления на напряжение 110 кВ
- Маслонаполненный кабель высокого давления на 220 кВ в стальной трубе.
- Кабель с элегазовой изоляцией.
- Расчет изоляции кабелей.

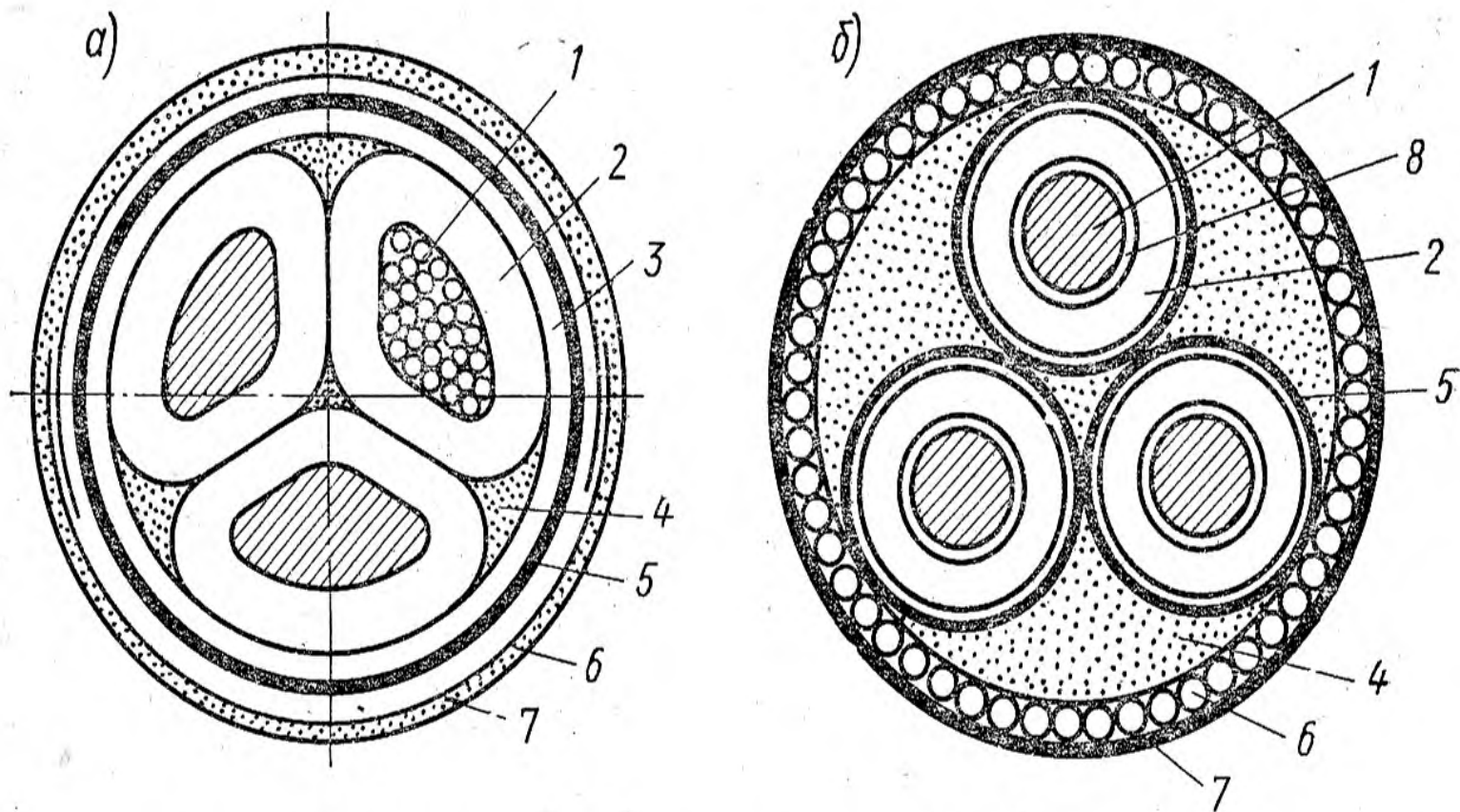


Рис. 15.33. Трехжильные кабели с вязкой пропиткой:

*a* — с поясной изоляцией и секторными жилами на 10 кв; *б* — с отдельно оцинкованными жилами (типа ОСБ);

1 — токоведущая жила; 2 — фазная изоляция; 3 — поясная изоляция; 4 — джутовое заполнение; 5 — свинцовая оболочка; 6 — броня; 7 — антикоррозионный покров; 8 — экран из полупроводящей бумаги

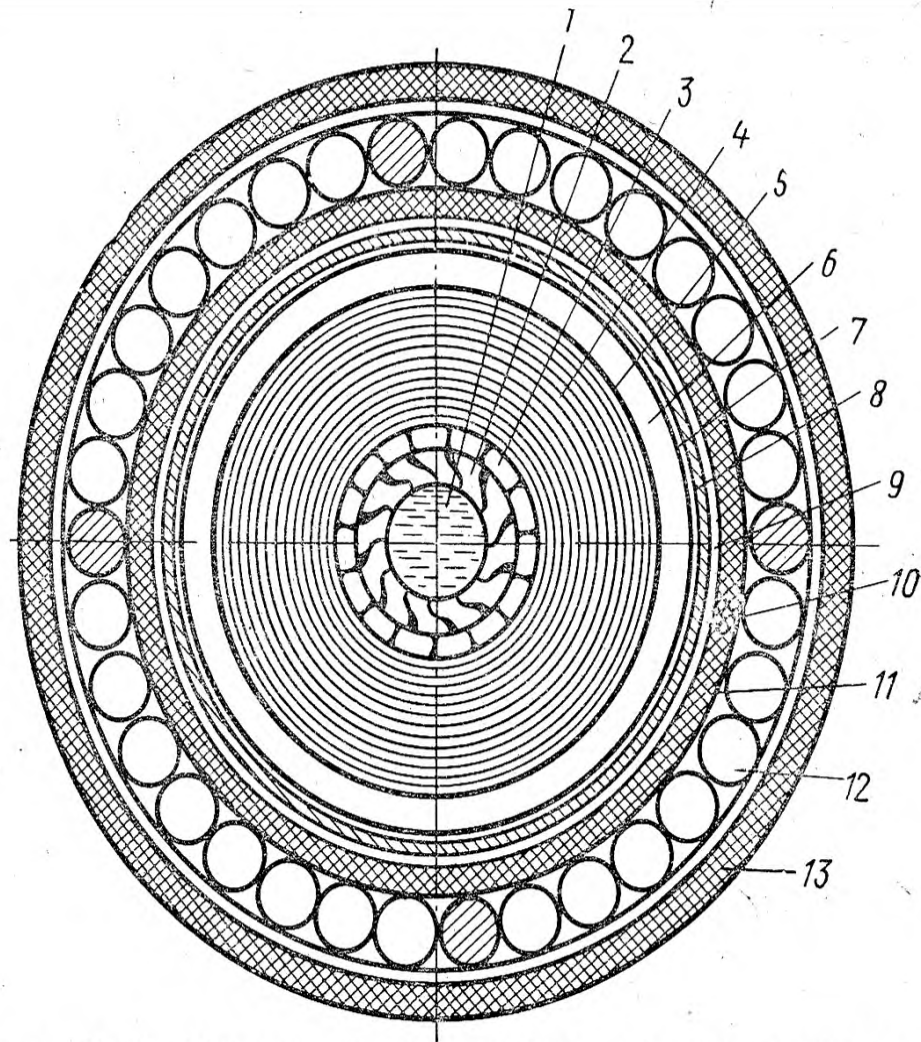


Рис. 15.34. Маслонаполненный кабель среднего давления на напряжение 110 кв:

1 — маслопроводящий канал; 2 — токоведущая жила; 3 — экран из трех лент полупроводящей бумаги; 4 — изоляция из бумаги толщиной 0,075 и 0,125 мм; 5 — экран из трех лент полупроводящей бумаги; 6 — оболочка из медистого свинца; 7-11, 13 — защитные покровы; 12 — броня из стальных и медных проволок

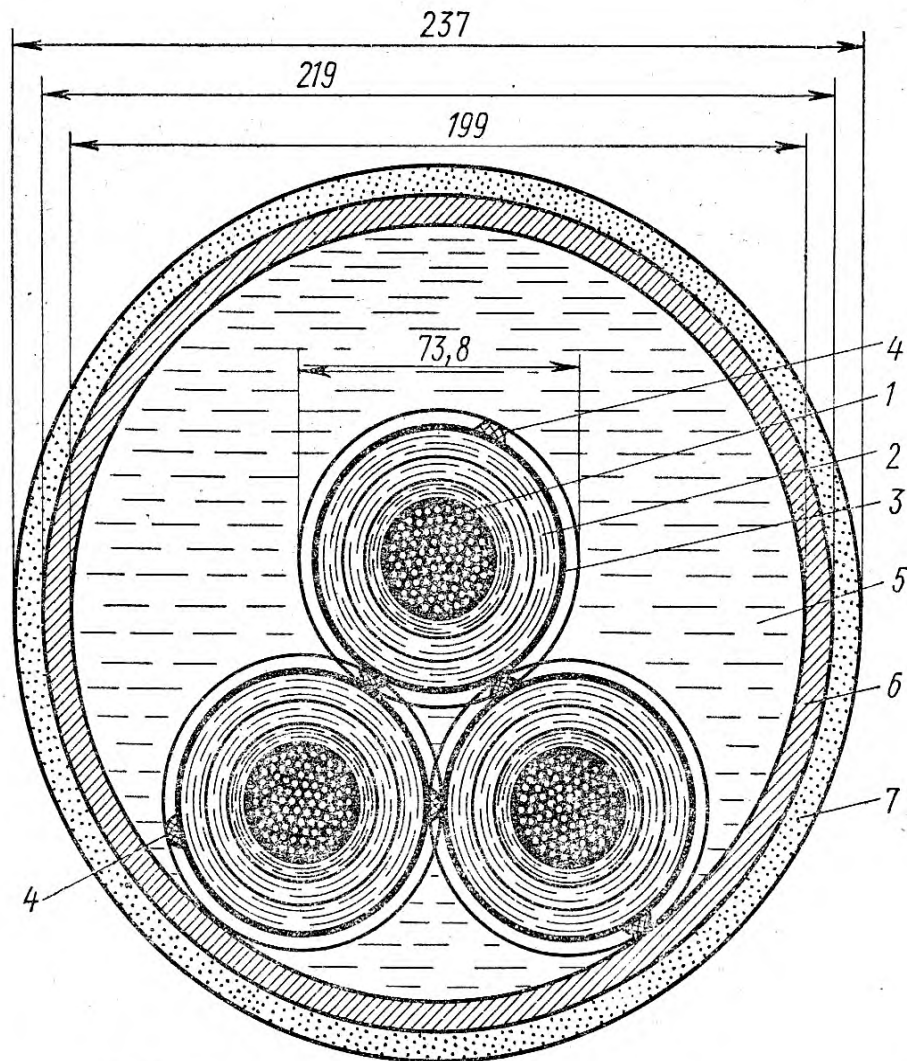
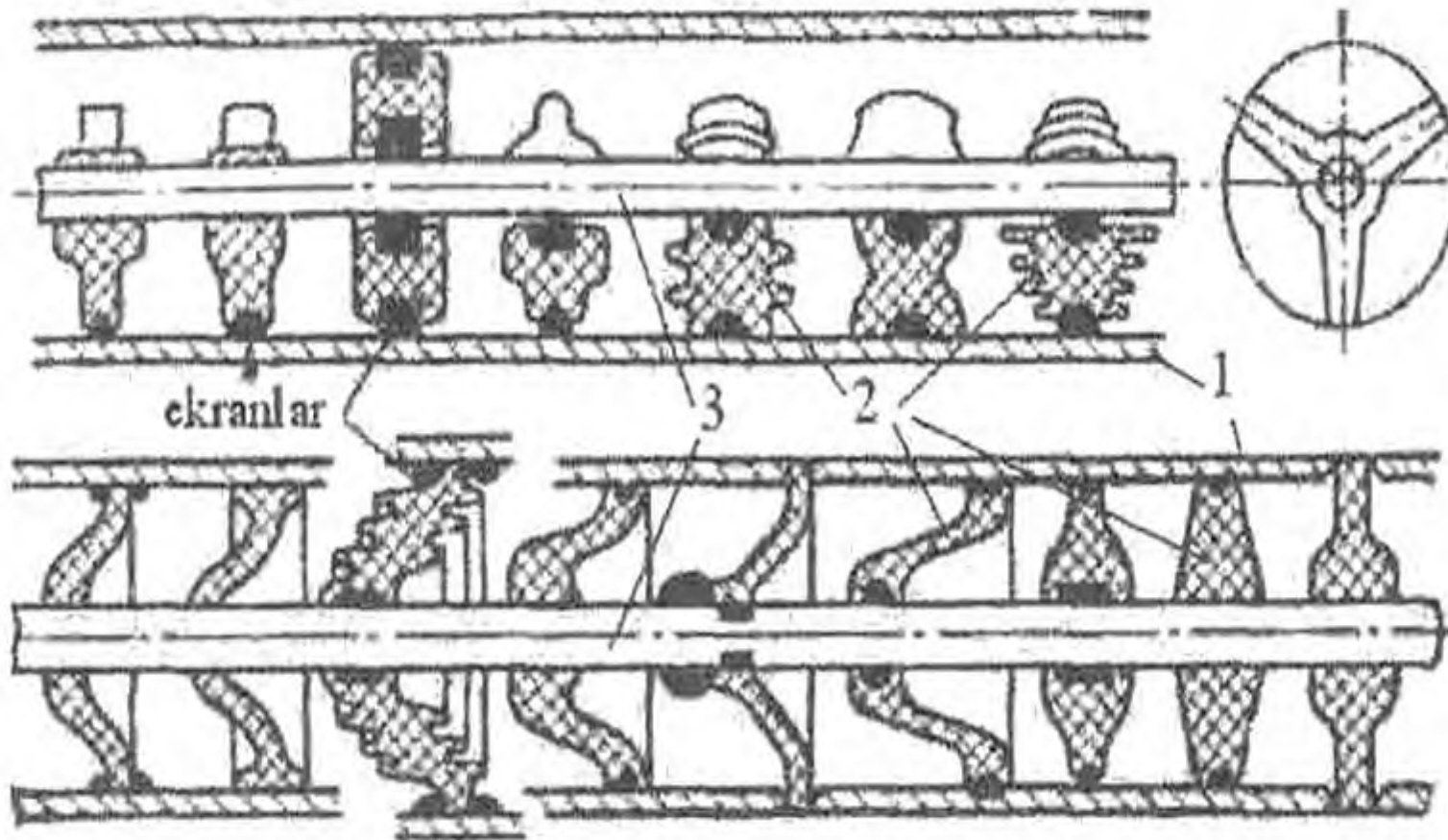
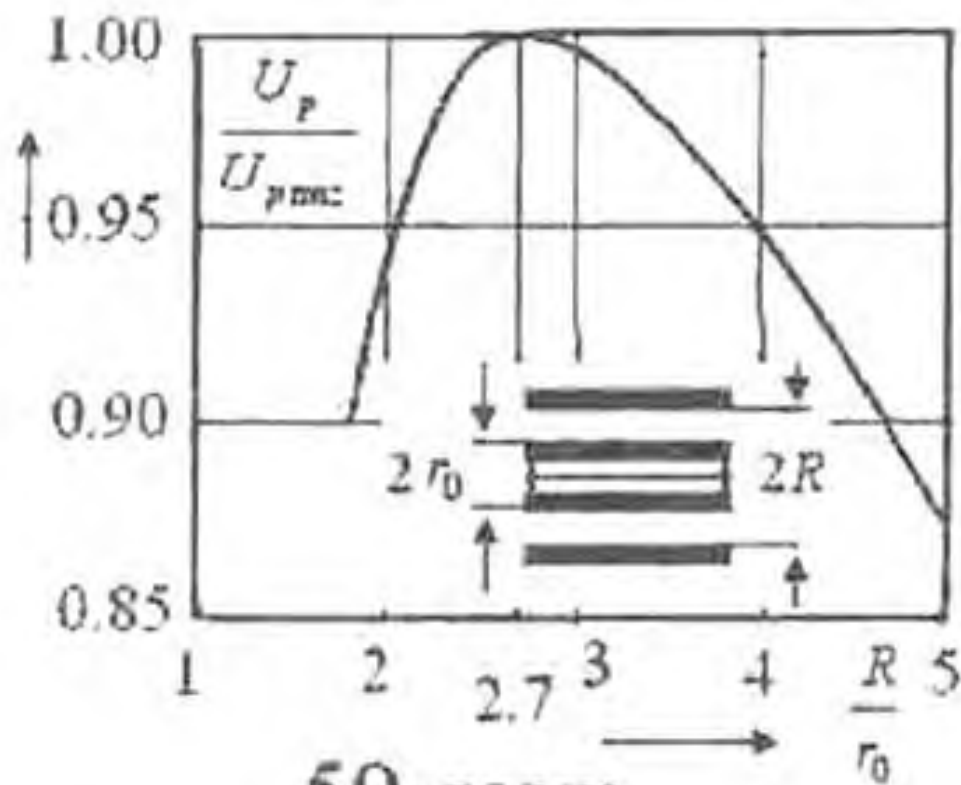


Рис. 15.35. Маслонаполненный кабель высокого давления  
220 кВ в стальной трубе:

1 — токоведущая жила; 2 — изоляция из бумаг различной плотности и толщины; 3 — медные перфорированные ленты; 4 — полукруглые проволоки скольжения; 5 — масло; 6 — стальная труба; 7 — антикоррозийный защитный покров

# Схема устройства кабеля с элегазовой изоляцией





59-rasm

Для одножильных кабелей с экранированной цилиндрической жилой напряженность поля в изоляции в точке на расстоянии  $r$  от оси равна  $E_r = U/r \ln(r_2/r_1)$ , где  $U$  — напряжение между жилой и свинцовой оболочкой;  $r_1$  и  $r_2$  — внутренний и наружный радиусы изоляции.

По толщине изоляции  $E$  изменяется от своего максимального значения у поверхности жилы  $E_{\text{макс}} = U/r_1 \ln(r_2/r_1)$  до наименьшего значения у оболочки

$$E_{\text{мин}} = U/[r_2 \ln(r_2/r_1)].$$



$$E_{\text{мин}} = U/[r_2 \ln(r_2/r_1)].$$

Если не изменять наружного радиуса  $r_2$ , изменяя лишь внутренний радиус  $r_1$ , то напряженность у поверхности внутреннего электрода  $E_{\text{макс}}$  будет иметь наименьшее значение при  $r_2/r_1 = e = 2,72$ . Поэтому в кабелях обычно отношение  $r_2/r_1$  выбирают близким к этому значению.

В кабелях с экранированными секторными жилами напряженность на поверхности жилы в наиболее нагруженных точках можно приближенно вычислить по формулам С. М. Брагина.

Напряженность поля у внутреннего ребра жилы в точке  $A$  (рис. 15.36) может быть определена по формуле

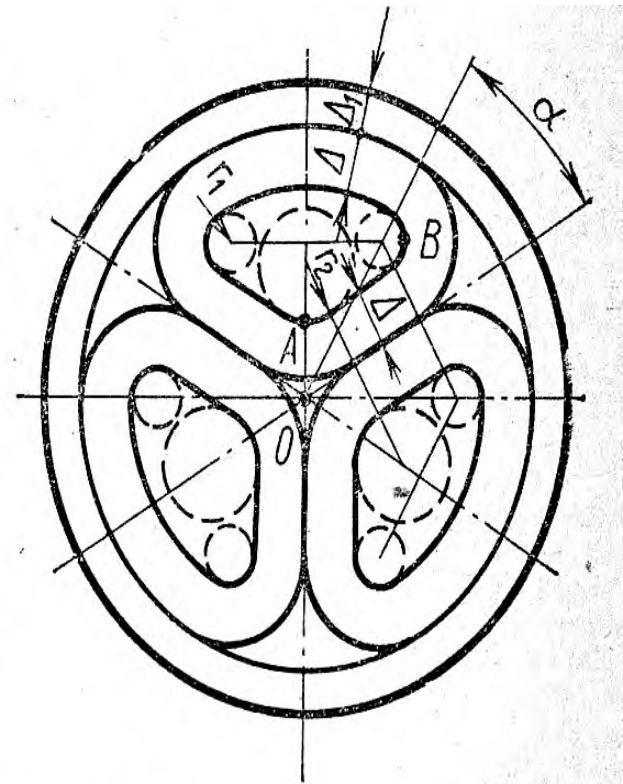


Рис. 15.36. К расчету напряженностей электрического поля в кабеле с секторными жилами

$$E_{\text{макс } A} = \frac{U_{\phi}}{r_2 \ln [(r_2 + 1,16\Delta)/r_2]},$$

где  $\Delta$  — толщина изоляции жилы;  $r_2$  — радиус закругления внутреннего ребра секторной жилы. Напряженность поля у внешнего ребра в точке  $B$  (см. рис. 15.36) находится по формуле

$$E_{\text{макс } B} = \frac{U_{\text{л}} \sqrt{(v+4)/v}}{2r_1 \ln \frac{\sqrt{v+4} + \sqrt{v}}{\sqrt{v+4} - \sqrt{v}}},$$

где  $r_1$  — радиус закругления внешнего ребра; при толщине поясной изоляции  $\Delta_1 = \Delta$  величина  $v = 2\Delta/r_1$ .

Жила кабеля скручивается из большого числа проволок. Если поверхность жилы не экранирована, то напряженность на ее поверхности вследствие искажения поля увеличивается по сравнению со значением  $E_{\text{макс}}$ . Это увеличение напряженности равно

$$\frac{E'_{\text{макс}}}{E_{\text{макс}}} = \frac{\zeta}{m + \frac{\ln(\zeta/m)}{\ln(r_2/r_1)}},$$

где  $E'_{\text{макс}}$  и  $E_{\text{макс}}$  — максимальная напряженность на поверхности скрученной жилы и на поверхности гладкой жилы;  $m$  — число проволок в наружном повиве жилы;  $r_1$  и  $r_2$  — радиусы оболочки и жилы кабеля; параметр

$$\zeta = \frac{1 + m \sin(\pi/m)}{\sin(\pi/m)}.$$

С увеличением числа проволок  $m$  в наружном покрове отношение  $E'_{\max}/E_{\max}$  стремится к пределу, равному 1,318, т. е. в этом случае увеличение напряженности может достигнуть 32% (рис. 15.37). Для ослабления этого эффекта поверхность жилы покрывается экраном из полупроводящей бумаги.

Для выравнивания распределения напряжения по толщине изоляции в кабелях высших классов напряжения изоляция жилы разбивается на несколько слоев, имеющих различные диэлектрические проницаемости. При этом используется связь между плотностью бумаги и диэлектрической проницаемостью  $\epsilon_0$ :

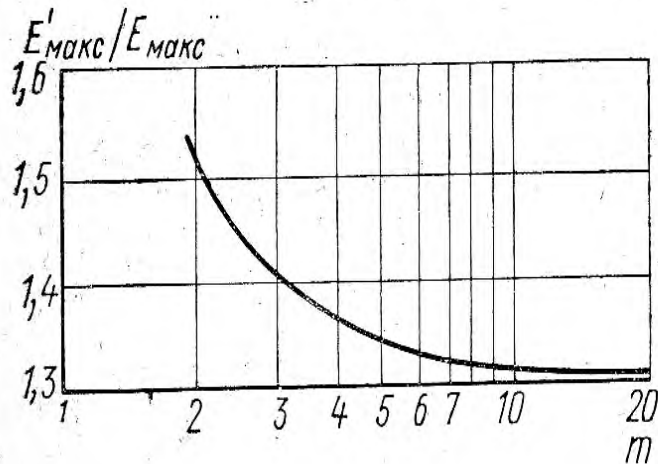


Рис. 15.37. Зависимость  $E'_{\max}/E_{\max}$  от числа проволок  $m$  в наружном покрове жилы

бывается на несколько слоев, имеющих различные диэлектрические проницаемости. При этом используется связь между плотностью бумаги и диэлектрической проницаемостью  $\epsilon_0$ :

$$\epsilon_0 = \frac{\epsilon_m \epsilon_k}{\epsilon_k (1 - a) + \epsilon_m a},$$

где  $\epsilon_m$  — диэлектрическая проницаемость пропитывающего состава (масла), равная  $2,2 \epsilon_0$ ;  $\epsilon_k$  — диэлектрическая проницаемость клетчатки, рав-

ная  $7 \epsilon_0$ ;  $a$  — удельное объемное содержание пор в бумаге;  $a = 1 - \gamma_6/\gamma_k$ ;  $\gamma_6$  — плотность бумаги;  $\gamma_k$  — плотность клетчатки, равная  $1,55 \text{ г/см}^3$ .

При изменении плотности от  $0,7$  до  $1,3 \text{ г/см}^3$  относительная диэлектрическая проницаемость пропитанной минеральным маслом бумаги изменяется от  $3,5$  до  $4,6$ . Обычно бумага с большей плотностью имеет меньшую толщину. Поэтому при градировании изоляции у жилы кабеля, где возникает максимальная напряженность, располагают слои из более тонких бумаг, при этом уменьшаются толщины масляных прослоек  $\delta_m$ .

Наивыгоднейшим условием градирования является равенство наибольших напряженностей во всех слоях. Если изоляция имеет  $n$  слоев, то наибольшая напряженность в  $k$ -м слое с внутренним радиусом  $r_k$  и диэлектрической проницаемостью  $\epsilon_k$  определяется выражением

$$E_{k \text{ макс}} = \frac{U}{\left( r_k \epsilon_k \sum_{i=1}^n \frac{1}{\epsilon_i} \ln \frac{r_{i+1}}{r_i} \right)}, \quad (15.53)$$

где  $U$  — напряжение между жилой и оболочкой кабеля;  $r_i, r_k$  — внутренний радиус  $i$ -го и  $k$ -го слоев;  $\epsilon_i, \epsilon_k$  — диэлектрическая проницаемость  $i$ -го и  $k$ -го слоев;  $r_1$  и  $r_{n+1}$  — наружный радиус жилы и внутренний радиус оболочки кабеля.

Как видно из (15.53), для того чтобы наибольшие напряженности в слоях были одинаковыми, необходимо выполнить условие  $r_k \epsilon_k = \text{const}$ .

# Литература:

1. Alston, L.L., High Voltage Technology, Oxford University Press, Oxford (2007).
2. Seely, S., Electromagnetic Fields, McGraw-Hill, New York (2003).
3. Kuffej, E. and Zaengl, W.S., High Voltage Engineering Fundamentals, Pergamon Press, Oxford (2004).
4. Hamidov N. Yuqori kuchlanish texnikasi va izolytsiya.- T.: «Fan va texnologiya», 2012, 200 b.
5. Г.Н. Александров, В.Л. Иванов М.В. Костенко Техника высоких напряжений. Под редак. М.В. Костенко. М.: Высшая школа.1993.- 528 с.



TOSHKENT IRRIGATSIYA VA QISHLOQ  
XO'JALIGINI MEXANIZATSIYALASH  
MUHANDISLARI INSTITUTI



**Благодарю за внимание**



Музафаров Шавкат Ма

Профессор кафедры  
“электроснабжение и возобновляемые  
источники энергии



+ 998 71 237 1957



+998909030779

