

УНИВЕРЗИТЕТ “СВ. КИРИЛ И МЕТОДИЈ” – СКОПЈЕ
ФАКУЛТЕТ ЗА ЕЛЕКТРОТЕХНИКА
И ИНФОРМАЦИСКИ ТЕХНОЛОГИИ

Ристо Ачковски

ВЕЖБИ ПО ПРЕДМЕТОТ
НАДЗЕМНИ И КАБЕЛСКИ
ВОДОВИ



ЕТФ – Скопје, 2015

ДЕЛ І

КУС РЕПЕТИТОРИУМ

НЕКОИ ПОВАЖНИ ПОИМИ И ДЕФИНИЦИИ ОД ОБЛАСТА НА НАДЗЕМНИТЕ ВОДОВИ

Во делот што следи се наведени некои од поважните поими и дефиниции, специфицирани со членот 2 од *“Правилникот за техничките нормативи за изградба на надземни електроенергетски водови со номинален напон од 1 до 400 kV”*, изнесен во Службениот лист на СФРЈ бр. 65, од 04.11.1988 година. Долунаведените изрази, во смисла на наведениот Правилник, го имаат даденото значење.

Надземен електроенергетски вод е збир на сите делови што служат за надземно водење на спроводници што пренесуваат и разведуваат електрична енергија, со кој се опфатени: спроводниците, заштитните јажиња, земјоводите, изолаторите, носачите, конзолите, столбовите и темелите.

Номинален напон е напонот според кој водот е димензиониран граден и наречен.

Нисконапонски вод е водот чијшто номинален напон не преминува 1000 V.

Високонапонски вод е водот чијшто номинален напон преминува 1000 V.

Максимален погонски напон е вредноста на напонот помеѓу фазните спроводници, која во нормален погон не смее да биде пречекорена.

Спроводници се метални жици или јажиња што служат за спроведување на електричната струја.

Заштитно јаже е заземјено јаже што служи за заштита на водот од атмосферски и погонски пренапони.

Фактички пресек (вистински пресек) на жица е геометриски пресек на жицата, а фактички пресек на јаже е збирот на геометриските пресеци на сите жици во јажето, без оглед на тоа дали жиците се од ист материјал или се од различни материјали.

Номинален пресек на жицата (јажето) претставува заокружена вредност на неговиот фактички пресек. Тој служи само за обележување (именување) на жиците односно јажињата. Во општ случај, номиналниот пресек се разликува од вистинскиот пресек.

Затезна цврстина на жица е најмалото напрегање при кое доаѓа до прекинување на жицата.

Сила на кинење е 95% од сметковната сила на кинењето на еднометалното (хомогено) јаже, а 90% од сметковната сила на кинењето на двометалното јаже. Сметковната сила на кинење е утврдена во JUS– прописите за метални јажиња.

Максимално работно напрегање на спроводник односно на заштитно јаже е избраната сметковна вредност што хоризонталната компонента на напрегањето на затегање ја постига на температура -5 C при нормален зимски додатен товар (нзdt), или на температура од -20 C без зимски додатен товар. Нормално дозволено напрегање на спроводник односно на заштитно јаже е напрегањето на затегање што не смее да се пречекори под нормални услови, т.е. на температура од -5 C со нормален зимски додатен товар и на температура од -20 C без додатен товар. Ова напрегање се однесува на хоризонталната компонента на напрегањето.

Исклучително дозволено напрегање на спроводник односно на заштитно јаже е напрегањето на затегање што не смее да се пречекори под исклучителни услови, т.е. на температура од -5 C со исклучителен зимски додатен товар. Тоа се однесува на напрегањето во точката на зацврстување.

Сила на напрегање на спроводник односно на заштитно јаже е производот на фактичкиот пресек и на максималното работно напрегање.

Додатен товар е товарот на спроводник односно на заштитно јаже што доаѓа од сињак, мраз или снег, а дејствува вертикално надолу. Тој се додава на тежината на спроводникот односно на заштитното јаже.

Тежина на спроводник односно заштитно на јаже е (со здт или без него) која ја оптоварува точката на зацврстувањето, е производот на единечната тежина [daN/m] на спроводникот (јажето) (заедно со здт или без него) и на гравитациониот распон, изразен во [m].

Гравитационен распон е оддалеченоста од најниската точка на синцирницата од едната страна на столбот до најниската точка од синцирницата од другата страна на столбот.

Провес (уклон) на спроводник односно на заштитно јаже е вертикалното растојание од правата што ги спојува точките на зацврстувањето до спроводникот (јажето), и тоа мерено во средината на распонот.

Распон е хоризонталното растојание помеѓу два соседни столба.

Затезно поле е дел од водот што се наоѓа помеѓу два соседни затезни столба.

Распон на вкрстосување е распонот во кој водот преминува преку некој објект на земјата, наведен во Правилникот.

Соседен распон е распонот што се наоѓа непосредно до распонот на вкрстосувањето.

Поле на вкрстосување е затезното поле во кое водот преминува преку некој објект на земјата, наведен во Правилникот.

Соседно поле е затезното поле што се наоѓа непосредно до полето на вкрстосување.

Засилена механичка сигурност е засилената сигурност на водот, постигната со изолација која е во механички поглед е посилено димензионирана.

Засилена електрична сигурност е засилената сигурност на водот, постигната со изолација која во електричен поглед е посилено димензионирана.

Сигурносно растојание е најмалото дозволено растојание помеѓу деловите под напон, односно помеѓу делот под напон и заземјениот дел на водот, за соодветен номинален напон.

Сигурносна височина е најмалата дозволена вертикална оддалеченост на спроводник односно на делови под напон од земја или од некој објект, при температура од +40°C, односно при температура од -5°C со нормален зимски додатен товар (НЗДТ) без ветар.

Сигурносна оддалеченост е најмалата дозволена оддалеченост на спроводник односно на делови под напон, од земјата или од некој објект во кој и да е правец, при температура од +40°C и оптоварување со ветар од 0 до полн износ.

Столб е која и да било конструкција која носи изолатори, спроводници и заштитни јажиња (на пр. столб, зидна конзола, носач и сл.).

Носечки (линиски) столб е столбот што носи спроводници и заштитни јажиња.

Затезен столб е столбот што служи за затегање на спроводници и на заштитни јажиња.

Нормален случај на оптоварување на столб е случајот што настанува кога сите делови на водот се неоштетени.

Вонреден (исклучителен) случај на оптоварување на вод е случајот што настанува кога еден спроводник или едно заштитино јаже од едната страна на столбот ќе се прекине.

Заземјување е електричното спроводно спојување на одделни делови од водот со земјата.

Отпорност на заземјување е збирот на отпорноста на распростирањето на заземјувачот и на отпорноста на земјоводот.

Отпорност на распростирање на заземјувачот е отпорноста на земјата помеѓу заземјувачот и референтната земја. Референтна земја е подрачје на земјиштето кое од припадниот заземјувач е оддалечено толку што помеѓу кои и да било точки на тоа подрачје не ќе се појавуваат позначителни потенцијални разлики.

Изолацијата на водот се состои од воздушни растојанија и изолатори во допир со воздухот, изложени на диелектрично напрегање, атмосферски и други влијанија (влага, прав, нечистотија и т.н.).

Изолатор е делот од монтажниот склоп што служи за електрично изолирање и механичко спојување на спроводниците со носечката конструкција.

Изолаторски синџир е монтажниот склоп на еден или повеќе изолатори (изолаторски членови) и на опремата за носење, која служи за електрично изолирање и механичко спојување на спроводниците со носечката конструкција на столбот.

1. КОНСТРУКЦИЈА И МЕХАНИЧКИ КАРАКТЕРИСТИКИ НА СПРОВОДНИЦИТЕ И ЗАШТИТНИТЕ ЈАЖИЊА

1.1. МАТЕРИЈАЛИ ОД КОИ СЕ ПРАВАТ СПРОВОДНИЦИТЕ И ЈАЖИЊАТА

Основни материјали за изработка на жици и јажиња за спроводниците кај надземните водови се: бакарот (Cu), алуминиумот (Al), и челикот (Fe). Бакарот и алуминиумот треба да се тврдо влечени, а полутврдиот бакар смее да се употреби само кај нисконапонските водови. Челикот треба да биде трајно и сигурно заштитен од корозија, на пример преку поцинкување со топла постапка.

1.2. УПОТРЕБА НА ЖИЦИТЕ И ЈАЖИЊАТА

За високонапонските надземни водови може да се употребат само голи жици и јажиња. Кај нисконапонските надземни водови може да се употребат голи и изолирани спроводници, макар што употребата на изолираните спроводници во ништо не ги ублажува сигурносните захтеви што важат за голите спроводници.

Употребата на жици од алуминиум и неговите легури не е дозволена. Овие материјали смеат да се употребуваат само како јажиња. Употребата на жици од останатите материјали е дозволена само ако пресекот на жиците не надминува 16 mm^2 и ако жиците се поставуваат во распони помали од 80 m.

Производството на голи бакарни јажиња за надземните водови е забранета.

1.3. МИНИМАЛНИ ПРЕСЕЦИ НА ЈАЖИЊАТА КАЈ ДАЛЕКУВОДИТЕ

Со оглед на механичката сигурност на надземните водови, нашите прописи вршат ограничување на пресекот на спроводниците. Според прописите, минималните дозволени пресеци на спроводниците за надземните водови, изразени во [mm], се дадени во табелата 1.1.

Минималниот пресек на спроводниците од останатите материјали кои не се наведени во табелата 1.1, е утврден на тој начин што тие треба да имаат таков пресек што силата на кинење да им биде најмалку 380 daN.

Табела 1.1. Најмали дозволени пресеци на јажињата

Материјал од кој што е изработено јажето	Најмал дозволен пресек [mm ²]
Алуминиум (Al) и негови легури	25
Al/Ѓ–јажиња	16
Челик (Ѓ)	16
Бакар (Cu)	10

1.4. ОСНОВНИ КАРАКТЕРИСТИКИ НА ХОМОГЕНИТЕ ЈАЖИЊА ОД АЛУМИНИУМ

Основните карактеристики на хомогените јажиња од алуминиум (според стандардот МКС.Н.Ц1.302) што се произведуваат во нашата земја, се прикажани во табелата 1.2

Табела 1.2 Конструкција и состав на хомогените јажиња од алуминиум(Al), според МКС.Н.Ц1.302

Номинален пресек (mm ²)	Вистински пресек (mm ²)	Состав на јажето		Надворешен пречник <i>d</i> (mm)	Маса на јажето <i>M</i> [kg/km]	Сила на кинење <i>F_{kin}</i> [daN]	Активна отпорност <i>r</i> ₂₀ (Ω/km)	Трајно дозволена струја (A)
		број	пречник на жиците					
16	15,89	7	1,7	5,1	44	290	1,802	90
25	24,25	7	2,1	6,3	67	425	1,181	120
35	34,36	7	2,5	7,5	94	585	0,833	150
50	49,48	7	3,0	9,0	135	810	0,579	185
70	65,82	7	2,1	10,5	181	1150	0,437	225
95	93,27	19	2,5	12,5	256	1595	0,309	285
120	117,00	19	2,8	14,0	322	1910	0,246	330
150	147,10	37	2,25	15,7	406	2570	0,196	380
185	181,60	37	2,5	17,5	501	3105	0,159	435
240	242,50	61	2,25	20,2	670	4015	0,119	515
300	299,40	61	2,5	22,5	827	4850	0,080	600
400	400,10	61	2,89	26,0	1105	6190		
500	499,80	61	3,23	29,1	1381	7600		
600	586,00	61	3,5	31,5	1640	/		
700	710,00	61	3,85	34,7	1960	/		

1.5. ОСНОВНИ КАРАКТЕРИСТИКИ НА КОМБИНИРАНИТЕ АЛУЧЕЛ–ЈАЖИЊА

Карактеристиките на комбинираните алучел–јажиња (Al/С), што се произведуваат кај нас според МКС.Н.Ц1.351, се прикажани во табелата 1.3.

Табела 1.3. Конструкција и состав на комбинираниите Al/Џ јажиња, според МКС.Н.Ц1.351

Номинален пресек (mm ²)	Вистински пресек (mm ²)	Al-плашт		Џ-јдро		Надвор. пречник <i>d</i> (mm)	Маса на јажето <i>M</i> [kg/km]	Сила на кинење <i>F_{kin}</i> [daN]	Омска отпорност <i>r₂₀</i> (Ω)	Грајно дозв струја <i>I_d</i> (A)
		бр. и преч. на жиците		бр. и преч. на жиците						
16/2,5	15,3/2,6	6	1,80	1	1,80	5,4	62	595	1,879	90
25/4	23,8/4,0	6	2,25	1	2,25	6,8	97	920	1,203	125
35/6	34,3/5,7	6	2,70	1	2,70	8,1	140	1265	0,835	145
50/8	48,3/8,0	6	3,20	1	3,20	9,6	195	1710	0,595	170
70/12	69,9/11,4	26	1,85	7	1,44	11,7	284	2680	0,413	235
95/15	94,4/15,3	26	2,15	7	1,67	13,6	382	3575	0,306	290
120/20	121,6/19,5	26	2,44	7	1,90	15,5	492	4565	0,237	345
150/25	148,9/24,2	26	2,70	7	2,10	17,1	601	5525	0,194	400
185/30	183,8/29,8	26	3,00	7	2,33	19,0	742	6620	0,157	455
210/35	209,1/34,1	26	3,20	7	2,49	20,3	845	7490	0,138	490
240/40	243,0/39,5	26	3,45	7	2,68	21,9	987	8640	0,119	530
360/57	360,2/57,3	26	4,20	19	1,96	26,6	1483	12745	0,080	675
490/65	490,3/63,6	54	3,40	7	3,40	30,6	1855	15310	0,059	840
170/40	171,8/40,1	30	2,70	7	2,70	18,9	790	7675	0,168	435
240/55	241,3/56,3	30	3,20	7	3,20	22,4	1107	10385	0,119	530
350/80	349,3/78,9	30	3,85	19	2,30	26,9	1585	14845	0,083	675
490/110	487,8/111,2	30	4,55	19	2,73	31,7	2221	20800	0,059	840
50/30	51,2/29,8	12	2,33	7	2,33	11,7	375	4380	0,564	
95/55	96,5/56,3	12	3,20	7	3,20	16,0	708	7935	0,389	
120/70	122,0/71,3	12	3,60	7	3,60	18,0	896	10000	0,299	
75/80	74,8/78,9	18	2,30	19	2,30	16,1	828	10500	0,236	

1.6. ФИЗИЧКИ ОСОБЕНОСТИ НА СПРОВОДНИЦИТЕ И ЈАЖИЊАТА

Во механичките пресметки на надземните водови се среќаваме со поимот *сопствена специфична тежина* на спроводникот (јажето) p [daN/m, mm²]. Собствената специфична тежина на спроводникот претставува тежина на спроводникот со единица (метар) должина, редуцирана на пресек од 1 mm², т.е. таа се добива кога единичната тежина на спроводникот G [daN/m] ја поделиме со неговиот вистински пресек A [mm]:

$$p = G/A \text{ [daN/m, mm}^2\text{]} \quad (1.1)$$

Кај жиците, сопствената специфична тежина (или пократко – сопствената тежина) на спроводникот p [daN/m, mm²] е бројно еднаква на специфичната густина (маса) γ [gr/cm³] на материјалот од кој е направен спроводникот, т.е. $p = \gamma$. Кај хомогените јажиња, таа е нешто поголема, затоа што жиците во јажето заради впредувањето имаат должина која е за 2 до 3% поголема од должината на самото јаже.

Комбинираниите Al/Џ јажиња, кои денес најчесто се употребуваат како спроводници кај надземните водови, ги третираме како хомогени јажиња со вкупен пресек (фактички пресек) $A = A_{Al} + A_{Fe}$, и со резултанта (еквивалентна) специфична тежина p која се пресметува со помош на следната релација:

$$p = \frac{p_{Al} \cdot A_{Al} + p_{Fe} \cdot A_{Fe}}{A_{Al} + A_{Fe}} = \frac{\varepsilon \cdot p_{Al} + p_{Fe}}{\varepsilon + 1}, \quad (1.2)$$

каде што $\varepsilon = A_{Al}/A_{Fe}$ е однос на пресеците на Алуминиумовиот плашт и челичното јадро од јажето, додека p_{Al} и p_{Fe} се сопствените специфични тежини на алуминиумот и челикот, респективно.

Спроводник со должина L , затегнат со сила $F = \sigma \cdot A$, во областа на еластичните деформации (Нооке–ов закон) се издолжува за износ ΔL кој изнесува:

$$\Delta L = \frac{L}{E} \cdot \frac{F}{A} = \frac{L}{E} \cdot \sigma, \quad (1.3)$$

а релативното издолжување $\Delta L/L$ на спроводникот ќе биде:

$$\frac{\Delta L}{L} = \frac{\sigma}{E}. \quad (1.4)$$

Величината E [daN/mm²] се нарекува модул на еластичност, додека σ [daN/mm²] претставува напрегање на затегање на спроводникот.

Едножичните спроводници имаат модул на еластичност еднаков на модулот E на материјалот од кој е изработен самиот спроводник. За разлика од нив, модулот на еластичност на хомогените јажиња, поради нивната сложена структура, донекаде се разликува од модулот на еластичност на материјалот од кој се тие направени и тој во извесна мера зависи и од нивната конструкција.

За различни материјали модулот на еластичност е различен. За поважните електротехнички материјали алуминиумот (Al), бакарот (Cu) и челикот (Fe) тој изнесува:

$$E_{Al} = 5700 \text{ daN/mm}^2, E_{Cu} = 11000 \text{ daN/mm}^2, E_{Fe} = 18000 \text{ daN/mm}^2 \text{ и т.н.}$$

Како и во претходниот случај, комбинираниите Al/Џ и AlMg1/Џ јажиња се третираат како хомогени, со вкупен пресек $A = A_{Al} + A_{Fe}$ и со еквивалентен модул на еластичност определен според релацијата (1.5).

$$E = \frac{A_{Al} \cdot E_{Al} + A_{Fe} \cdot E_{Fe}}{A_{Al} + A_{Fe}} = \frac{\varepsilon \cdot E_{Al} + E_{Fe}}{\varepsilon + 1}. \quad (1.5)$$

Кога температурата θ на спроводник со должина L му се промени за износ $\Delta\theta$, неговата должина истотака ќе се промени за некој износ ΔL . Издолжувањето ΔL е пропорционално на промената на температурата $\Delta\theta$, т.е.

$$\Delta L = \alpha \cdot L \cdot \Delta\theta, \quad (1.6)$$

односно:

$$\frac{\Delta L}{L} = \alpha \cdot \Delta\theta. \quad (1.7)$$

Величината α [1/°C] се нарекува *температурен коефициент на линеарно издолжување*. Овој коефициент за различни материјали е различен. Поважните материјали ги имаат следните вредности за овој коефициент:

$$\alpha_{Al} = 23 \cdot 10^{-6} \text{ 1/}^\circ\text{C}; \quad \alpha_{Fe} = 11 \cdot 10^{-6} \text{ 1/}^\circ\text{C}; \quad \alpha_{Cu} = 17 \cdot 10^{-6} \text{ 1/}^\circ\text{C}; \text{ итн.}$$

Хомогените спроводници и јажиња имаат температурен коефициент еднаков на коефициентот α на материјалот од којшто се тие направени. Комбинираниите јажиња и понатаму можат да се третираат како хомогени, со еквивалентен температурен коефициент на издолжување, пресметан според (1.8):

$$\alpha = \frac{\alpha_{Al} \cdot A_{Al} \cdot E_{Al} + \alpha_{Fe} \cdot A_{Fe} \cdot E_{Fe}}{E \cdot (A_{Al} + A_{Fe})} = \frac{\varepsilon \cdot \alpha_{Al} \cdot E_{Al} + \alpha_{Fe} \cdot E_{Fe}}{E \cdot (\varepsilon + 1)} \quad (1.8)$$

Во табелата 1.4 се прикажани основните физички карактеристики на спроводниците и јажињата кај надземните водови.

Табела 1.4. Физички особини на спроводниците јажињата кај надземните водови

Материјал	ε	Бр. на жици во јажето	p [daN/m, mm ²]	E [daN/mm ²]	α [1/°C]
Cu	/	7	8,90	10.300	17,0 · 10 ⁻⁶
Cu	/	19, 37	8,90	10.500	17,0 · 10 ⁻⁶
Al	/	7	2,70	6.000	23,0 · 10 ⁻⁶
Al	/	19, 37	2,70	5.700	23,0 · 10 ⁻⁶
Al	/	61	2,70	5.500	23,0 · 10 ⁻⁶
Fe	/	7	7,80	18.000	11,0 · 10 ⁻⁶
Fe	/	19, 37	7,80	17.500	11,0 · 10 ⁻⁶
Al/Č	6	6/1	3,50	8.100	19,1 · 10 ⁻⁶
Al/Č	6	26/7	3,50	7.700	18,9 · 10 ⁻⁶
Al/Č	7,7	54/7	3,36	7.000	19,3 · 10 ⁻⁶
Al/Č	4,4	30/7	3,75	8.200	17,8 · 10 ⁻⁶
Al/Č	4,4	30/19	3,64	8.000	18,0 · 10 ⁻⁶
Al/Č	1,7	12/7	4,66	10.700	15,3 · 10 ⁻⁶

1.7. КЛИМАТСКИ УСЛОВИ

Надземните водови се творби, подложни на разни атмосферски влијанија. За механичкото димензионирање на спроводниците, јажињата, столбовите, фундаментите и останатите делови од водот, битни се следните климатски параметри: а) температурата на околната средина, б) дејство на ветрот, в) зимските додатни товари од мраз, снег и сињак врз спроводниците и јажињата.

1.7.1. Температура на околината

Напрегањето на спроводниците и јажињата, како и силите на затегање со кои тие делуваат на столбовите, зависат од температурата на околната средина. Температурата претставува променлива величина и има случаен карактер, но за механичкото димензионирање на надземните водови битни се: нејзината минимална вредност θ_{\min} , нејзината максимална вредност θ_{\max} и нејзината средногодишна вредност $\theta_{\text{srđ}}$. Овие три параметри зависат од географската положба, надморската височина, климата и т.н. Нив ги добиваме со статистичка обработка на податоците добиени со повеќегодишни набљудувања и мерења на температурните промени во посматраниот регион. Бидејќи нашата земја зафаќа релативно мал простор (околу 25.000 km²), насекаде во неа се усвоени едни исти параметри за температурата кои служат за механичкото димензионирање на далекуводите:

- минимална температура $\theta_{\min} = - 20^{\circ}\text{C}$,
- максимална температура $\theta_{\max} = + 40^{\circ}\text{C}$,
- средногодишна температура $\theta_{\text{srđ}} = + 15^{\circ}\text{C}$.

1.7.2. Дејство на ветрот

Силата F_V [daN] со која ветрот со брзина v [m/s] делува на тело со површината S , [m] изнесува:

$$F_V = c \cdot P_V \cdot S \cdot \sin \varphi. \quad (1.9)$$

каде што се:

c – коефициент на аеродинамичкото дејство на ветрот, кој зависи од аеродинамичката форма на телото. За поедините делови од водот, овој коефициент изнесува:

$c = 1,0$ за спроводници и заштитни јажиња,

$c = 1,4$ за решеткасти столбови од профилен челик,

$c = 1,1$ за решеткасти столбови од цевки,

$c = 0,7$ за цевкасти столбови, и т.н.

φ – агол под кој ветрот дејствува врз нападната површина S ;

P_V – притисокот на ветрот, кој што зависи од брзината на ветрот v и се пресметува според релацијата (1.10):

$$P_V = v^2 / 16. \quad (1.10)$$

Во последната релација брзината на ветрот v се изразува во [m/s] и притоа притисокот P_V се добива во [daN/m].

Брзината v со која се пресметува силата на ветрот при механичкото димензионирање на далекуводите се определува по статистички пат. Таа претставува максимална брзина која на предметното место се јавува со 20% веројатност, што значи дека веројатноста таа да биде надмината е 20%. Со други зборови кажано, во просек еднаш на пет години ќе се случува вистинската брзина на ветрот да ја надминува така определената максимална брзина. Вака определената брзина се нарекува “петгодишна брзина”, а ветрот “петгодишен ветар”. Преносните водови со највисок напон ($U_n \geq 400$ kV) од сигурносни причини најчесто се димензионираат со т.н. “дваесетгодишниот ветар” што значи дека шансата да се појави ветар со брзина што е поголема од брзината на така избраниот ветар изнесува само 5%.

При дефинирањето на притисокот на ветрот P_V со кој ќе се врши механичкото димензионирање на надземниот вод се оперира со една од стандардизираните вредности за притисокот, прикажани во таблата 1.5. Значи, откако ќе се утврди максималната брзина v на “петгодишниот ветар”, со помош на релацијата (1.11) се пресметува вредноста на притисокот P_V што соодветствува на таа брзина, а потоа така добиената вредност се заокружува (нагоре) на првата поголема вредност, отчитана од табелата 1.5.

Табела 1.5. Сметковни вредности за притисокот на ветрот

Височинска зона на ветрот	Притисок на ветрот [daN/mm ²]				
Водови со вкупна височина до 15 m над земјата	50	60	75	90	110
Основна височинска зона од 0 до 40 m над земјата	60	75	90	110	130
Делови на водот во зоната помеѓу 40 и 80 m над земјата	75	90	110	130	150

1.7.3. Зимски додатни товари

Зимските додатни товари (ЗДТ) поради снег, мраз и сињак, најчесто настануваат при надворешни температури од $-0,5$ до -5°C . Тежината по единица должина на нафатениот зимски товар ΔG [daN/m] е случајна величина, која како таква не може однапред да се предвиди. Таа обично се изразува како кратник од една друга помошната величина наречена *основен зимски додатен товар (ОЗДТ)*. ОЗДТ на еден спроводник (јаже) се пресметува со помош на следната емпириска релација:

$$g = 0,18 \cdot \sqrt{d} \quad [\text{daN/m}]. \quad (1.11)$$

Во релацијата (1.11) фигурира пречникот на спроводникот (јажето) d , изразен во [mm]. Вредноста g на ОЗДТ, притоа, се добива во [daN/m].

Како *нормален зимски додатен товар (НЗДТ) ΔG_n* се зема најголемата вредност на зимскиот додатен товар, која на посматраното место се јавува просечно еднаш на секои пет години но не помалку од вредноста на ОЗДТ g . Значи и овде, при определувањето на НЗДТ ΔG_n , се работи со статистички определена вредност на ЗДТ. Притоа, во согласност со напред реченото, постои можност во стварност да се појави ЗДТ којшто е поголем од усвоениот НЗДТ, но веројатноста за тоа изнесува 20%.

Во механичките пресметки на надземните водови, треба да се смета со една од следните вредности за нормалниот зимски додатен товар:

$$1,0 \cdot g; \quad 1,6 \cdot g; \quad 2,5 \cdot g; \quad 4,0 \cdot g. \quad (1.12)$$

Значи НЗДТ ΔG_n може да се искаже и преку факторот на НЗДТ k_n , на следниот начин:

$$\Delta G_n = k_n \cdot g; \quad (k_n = 1,0; \quad 1,6; \quad 2,5 \text{ и } 4,0).$$

Како *исклучителен зимски додатен товар (ИЗДТ) ΔG_i* , со којшто се вршат проверките на механичките напрегања во исклучителни зимски услови (коишто се повторуваат во просек еднаш на секои 20 години), се зема најголемата вредност на зимскиот додатниот товар што на посматраното место се јавува просечно на секои 20 години, но не помалку од двојната вредност на нормалниот зимски додатен товар за тоа место. Значи и овде се работи за статистички определен додатен товар, па според тоа постои можност тој да биде надминат, но притоа веројатноста тој да биде надминат изнесува само 5%.

Од изложеното произлегува дека ИЗДТ на еден надземен вод ΔG_i може да се искаже и преку факторот на ИЗДТ k_i , на следниот начин:

$$\Delta G_i = k_i \cdot \Delta G_n; \quad (k_i \geq 2,0).$$

Во некои области со блага клима зимските додатни товари се мали па механичките проблеми обично настануваат под дејство на ветрот. Затоа доколку резултантата од силата на ветрот и сопствената тежина на спроводникот/јажето (без ЗДТ) е на некој дел од трасата (или пак по должината на целата траса) поголема од тежината на замрзнатиот спроводник (јаже) со НЗДТ, тогаш во пресметките ќе се работи со таа резултантата.

1.8. ДОЗВОЛЕНИ НАПРЕГАЊА НА СПРОВОДНИЦИТЕ И ЈАЖИЊАТА

Максимално работно напрегање σ_M на спроводникот односно заштитното јаже, претставува одбрана сметковна вредност која што хоризонталната компонента на напрегањето σ ќе ја постигне или при температура $-5^{\circ}\text{C} + \text{НЗДТ}$, или пак при -20°C без

додатен товар. Максималното работно напрегање σ_M не смее да биде поголемо од нормалното дозволено напрегање σ_{nd} , т.е.:

$$\sigma_M \leq \sigma_{nd} , \quad (1.14)$$

Нормално дозволено напрегање σ_{nd} на спроводникот односно заштитното јаже е напрегање кое не смее да биде надминато во нормални прилики, т.е. при $-5^\circ\text{C}+\text{НЗДТ}$ и при -20°C без додатен товар, а се однесува на хоризонталната компонента на напрегањето σ .

Исклучително дозволено напрегање σ_{id} на спроводникот односно заштитното јаже е напрегање кое не смее да биде надминато во исклучителни случаи, т.е. во состојба при $-5^\circ\text{C}+\text{ИЗДТ}$. Се однесува на вкупното (резултантно) напрегање σ' во точката на зацврстување на спроводникот /јажетото. ($\sigma' \leq \sigma_{id}$).

Во табелата 1.6 се прикажани дозволените напрегања на затегање (нормални и исклучителни) за поедините видови спроводници и јажиња, според Правилникот [1].

Табела 1.6. Дозволените напрегања на затегање [daN/mm²] на спроводниците и јажињата кај надземните водови

Материјал	ε	σ_{nd} [daN/mm ²]	σ_{id} [daN/mm ²]
Cu	~	16	30
Al	~	6	11
AlMg1	~	9	17
AlMgSiE	~	10,5	20
Fe I	~	14,5	26,5
Fe II	~	26	49
Fe III	~	49,5	93
Fe IV	~	59,5	111
	6	13	24,5
	7,7	11	21
Al/Č	4,4	14	26
	1,7	22	41
	0,95	27,5	51,5
	6	14,5	27
	7,7	14,5	27
AlMg1/Č	4,4	16,5	30,5
	1,7	22,5	42
	0,95	29	55

2. ПРЕСМЕТКА НА МЕХАНИЧКИТЕ ПОКАЗАТЕЛИ НА СПРОВОДНИЦИТЕ И ЈАЖИЊАТА ВО НОРМАЛЕН РАБОТЕН РЕЖИМ

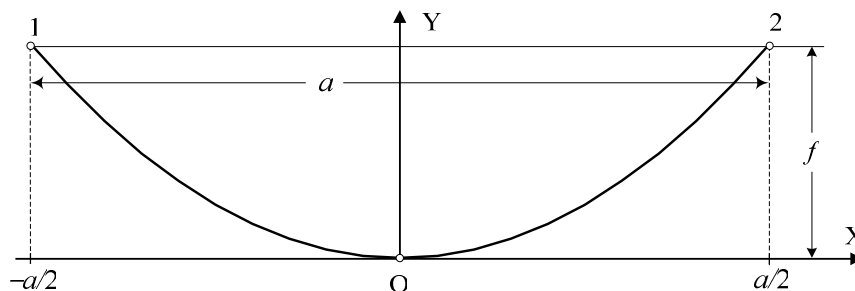
2.1. ОСНОВНИ ПОИМИ И ДЕФИНИЦИИ

Хоризонталното растојание помеѓу два соседни столба се нарекува распон. Должината на распонот се мери помеѓу точките на обесување на спроводниците (заштитните јажиња). Во зависност од наклонот на теренот, распоните можат да бидат *хоризонтални* и *коси*. Хоризонтален распон е оној распон кај кој што точките на обесување се наоѓаат на иста височина. Кај косите распони, точките на обесување се наоѓаат на различни височини.

Пресметувањето на механичките показатели на спроводниците и заштитните јажиња се врши со едни исти методи. Затоа, во натамошниот дел од текстот, тие ќе бидат споени под едно заедничко име – *спроводници*.

Вертикалното растојание помеѓу правата што ги сврзува точките на обесување и провесната крива (синџирницата) е најголемо во средината од распонот (слика 2.1). Тоа растојание се бележи со f и се нарекува *провес* на спроводникот.

2.2. СИНѢИРНИЦА И ПАРАБОЛА



Слика 2.1. Синџирница во хоризонтален распон

Под дејство на сопствената тежина и тежината на додатните товари, спроводниците во распонот се опуштаат и образуваат таканаречена *синџирница* (ланчаница, верига). Синџирницата на спроводник со специфична тежина p , затегнат со напрегање на затегање σ , може да се опише аналитички со равенката (2.1), која е во согласност со сликата 2.1 :

$$y = c \cdot \left(\operatorname{ch} \frac{x}{c} - 1 \right) = \frac{\sigma}{p} \cdot \left(\operatorname{ch} \frac{p \cdot x}{\sigma} - 1 \right), \quad (2.1)$$

каде што $c = \sigma/p$ е таканаречениот *параметар на синџирницата* кој има димензија на должина. Со помош на равенката (2.1) може да се добие провесот во распонот f :

$$f = y(x)_{x=a/2} = c \cdot \left(\operatorname{ch} \frac{a}{2c} - 1 \right) \quad (2.2)$$

Во секоја точка од синџирницата резултантното напрегање σ' може да се разложи на две компоненти: хоризонтална σ_x и вертикална σ_y . Хоризонталната компонента на

напрегањето σ_x во секоја точка од синцирницата е константна, додека вертикалната компонента σ_y зависи од координатата x . Притоа имаме:

$$\sigma_x = \sigma = \text{const.}; \quad \sigma_y = \sigma \cdot \text{sh} \frac{x}{c}; \quad \sigma' = \sigma \cdot \text{ch} \frac{x}{c}. \quad (2.3)$$

Од релациите (2.3) гледаме дека резултантното напрегање σ' е најмало во точката со координата $x = 0$, која се нарекува теме на синцирницата. Тоа изнесува:

$$\sigma'_{\min} = \sigma. \quad (2.4.1)$$

Напрегањето σ' е најголемо во точката на обесување и според (2.3), тоа изнесува:

$$\sigma'_{\max} = \sigma \cdot \text{ch} \frac{a}{2c}. \quad (2.4.2)$$

Освен кај релативно големите распони ($a > 400$ m), како и во состојбите на јажињата со големи зимски додатни товари, разликата помеѓу минималното и максималното напрегање е многу мала (само неколку %). Затоа таа најчесто се занемарува и се смета дека напрегањето во секоја точка од синцирницата е константно, еднакво на хоризонталната компонента σ , т.е. $\sigma' \approx \sigma$.

Ако функцијата $\text{ch}(x/c)$ ја развиеме во ред и ги земеме само првите два члена од редот, тогаш равенката со која се опишува синцирницата ќе претставува парабола:

$$y = \frac{x^2}{2c} = \frac{p \cdot a^2}{2\sigma}, \quad (2.1a)$$

а релациите (2.2) ... (2.4) се упростуваат, т.е. добиваат поедноставен облик:

$$f = \frac{p \cdot a^2}{8\sigma}. \quad (2.2a)$$

$$\sigma_x = \sigma = \text{const}; \quad \sigma_y = \sigma \cdot (x/c); \quad \sigma' = \sigma \cdot \sqrt{1 + (x/c)^2}, \quad (2.3a)$$

$$\sigma_{\min} = \sigma; \quad \sigma_{\max} = \sigma \cdot \left(1 + \frac{p \cdot a^2}{8\sigma^2}\right) = \sigma + p \cdot f. \quad (2.4a)$$

Формулите (2.1a) ... (2.4a) се доволно точни за распони до 400 m. Затоа во практиката тие се употребуваат многу често.

Должината l на спроводникот во синцирницата од еден хоризонтален распон се пресметува со помош на формулата (2.5) :

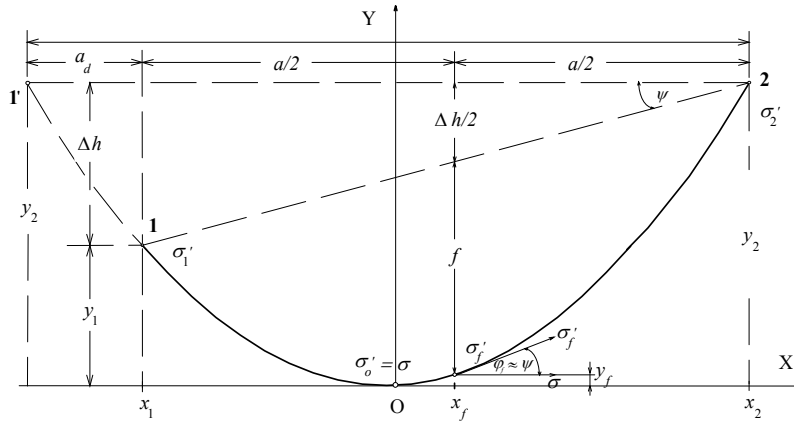
$$l = 2c \cdot \text{sh} \frac{a}{2c}, \quad (2.5)$$

или приближно, третирајќи ја синцирницата како парабола, должината l на спроводникот ќе изнесува:

$$l = a \cdot \left(1 + \frac{p^2 \cdot a^2}{24\sigma^2}\right) = a + \frac{8}{3} \cdot \frac{f^2}{a}. \quad (2.5a)$$

Во случајот кога се работи за кос распон, пресметките на механичките показатели на спроводниците се пресметуваат како и кај хоризонталните распони но за таа цел е потребно да се воведат поимот *тотален распон* a_T . Тоталниот распон претставува замислена големина. Тој е дефиниран со помош на релацијата (2.6) којашто е во согласност со сликата 2.2 .

$$a_T = a + a_d, \quad (2.6)$$



Слика 2.2. Синцирница во кос распон

Во релацијата (2.2) фигурира величината a_d којашто се нарекува *фиктивен додаток*. Тој го претставува делот што недостасува за да може косиот распон да се надополни и да се претвори во хоризонтален. Фиктивниот додаток a_d се пресметува со решавање на следната релација:

$$\operatorname{sh} \frac{a_d}{2c} = \frac{(\Delta h/2c)}{\operatorname{sh}(a/2c)} = \xi, \quad (2.7)$$

од каде што се добива точната вредност на фиктивниот додаток a_d :

$$a_d = 2c \cdot \operatorname{Arsh} \xi = 2c \cdot \ln \left(\xi + \sqrt{\xi^2 + 1} \right), \quad (2.8)$$

или приближно:

$$a_d \approx 2c \cdot \frac{\Delta h}{a}. \quad (2.8a)$$

Кај косите распони (слика 2.2) проресот f се пресметува со помош на формулата:

$$f = \frac{c}{\cos \psi} \cdot \left(\operatorname{ch} \frac{a}{2c} - 1 \right), \quad (2.9)$$

или приближно:

$$f \approx \frac{p \cdot a^2}{8\sigma} \cdot \frac{1}{\cos \psi}. \quad (2.9a)$$

каде што $\sigma = \sigma_x$ е хоризонталната компонента на напрегањето, односно напрегањето во темето на синцирницата, додека ψ е аголот на наклон на косиот распон, дефиниран на сликата 2.2.

Напрегањата во точките на обесување „1“ и „2“ од косиот распон на сликата 2.2 се пресметуваат со помош на следните релации:

$$\begin{aligned} \sigma'_1 &= \sigma + p \cdot y_1 = \frac{\sigma}{\cos \psi} + p \cdot \left(f - \frac{\Delta h}{2} \right); \\ \sigma'_2 &= \sigma + p \cdot y_2 = \frac{\sigma}{\cos \psi} + p \cdot \left(f + \frac{\Delta h}{2} \right), \end{aligned} \quad (2.10)$$

додека напрегањето σ'_f во средината од распонот на сликата 2.2. ќе изнесува:

$$\sigma'_f = \frac{\sigma}{\cos \psi}. \quad (2.11)$$

2.3. РАВЕНКА НА СОСТОЈБАТА

Ако во една состојба, која ќе ја означиме со индекс „0“, температурата на спроводникот е θ_0 , напрегањето е σ_0 и специфичното оптоварување е p_0 , тогаш, при некоја друга температура θ и друго специфично оптоварување p , ќе имаме некое друго напрегање σ . Меѓу параметрите $(p_0, \sigma_0, \theta_0)$ и (p, σ, θ) на овие две состојби постои следната релација, која се нарекува *равенка на состојбата*:

$$\frac{p^2 \cdot a^2}{24 \cdot \sigma^2} - \frac{p_0^2 \cdot a^2}{24 \cdot \sigma_0^2} = \alpha \cdot (\theta - \theta_0) + \frac{\sigma - \sigma_0}{E}. \quad (2.12)$$

Равенката (2.12) може да се напише и во нешто поинаква форма:

$$\sigma + m = \frac{n^2}{\sigma^2}, \quad (2.13)$$

каде што е:

$$m = \frac{p_0^2 \cdot a^2}{24 \sigma_0^2} \cdot E + \alpha \cdot E \cdot (\theta - \theta_0) - \sigma_0; \quad n = p \cdot a \cdot \sqrt{\frac{E}{24}}. \quad (2.14)$$

Параметрите на почетната состојба $(p_0, \sigma_0, \theta_0)$ се сметаат за познати, т.е. однапред дефинирани. Најчесто за почетна состојба се усвојува една од двете *основни (критични)* состојби кај кои напрегањето σ може да ја добие својата максимална вредност:

1. состојба при -5°C со нормален зимски додатен товар (НЗДТ), за која се усвојува некое сметковно максимално работно напрегање σ_M кое не смее да ја надмине вредноста на нормалното дозволено напрегање σ_{nd} према табелата 1.6;
2. состојба при -20°C без зимски додатен товар, кога исто така ја усвојуваме вредноста на сметковното максимално работно напрегање σ_M .

Со таквиот избор на параметрите на почетната состојба однапред се осигуруваме дека во нормални услови на работа напрегањето σ нема да ја надмине усвоената вредност σ_M .

2.4. КРИТИЧЕН РАСПОН

Напрегањето σ во спроводниците од далекуводите во различни состојби е различно и тоа зависи како од температурата на спроводникот, така и од големината на зимскиот додатен товар. Напрегањето ќе биде минимално при максималната температура на спроводникот, но тоа не значи дека напрегањето ќе биде максимално при минималната температура (за која, според нашите прописи се усвојува дека изнесува -20°C), туку напрегањето што се јавува при $\theta = -5^\circ\text{C} + \text{НЗДТ}$ (состојба „1“) и кое го означуваме со ознаката $\bar{\sigma}_{-5}$ може да биде поголемо од напрегањето σ_{-20} при минималната температура (состојба „2“). Тоа зависи од големината на распонот a . Кај малите распони поголеми се напрегањата при минималната температура додека, пак, кај големите распони имаме обратна ситуација.

Постои една вредност на распонот, наречена *критичен распон* a_k , за која напрегањата $\bar{\sigma}_{-5}$ и σ_{-20} во двете критични состојби се еднакви. Според тоа, доколку посматраниот распон a е поголем од критичниот распон a_k , тогаш, тоа ќе значи дека напрегањето што се јавува при $-5^\circ\text{C} + \text{НЗДТ}$ ќе биде поголемо од напрегањето што се јавува при -20°C и обратно, т.е.:

за $a > a_k$ ќе биде $\bar{\sigma}_{-5} > \sigma_{-20}$,
 за $a < a_k$ ќе биде $\bar{\sigma}_{-5} < \sigma_{-20}$,
 за $a = a_k$ ќе биде $\bar{\sigma}_{-5} = \sigma_{-20}$.

Критичниот распон a_k се пресметува со помош на релацијата:

$$a_k = \sigma_M \cdot \sqrt{\frac{360 \cdot \alpha}{p^2 - p^2}}, \quad (2.15)$$

каде што $\bar{p} = p + \Delta p$ е специфичната тежина на спроводникот поради сопствената тежина и тежината на нормалниот зимски додатен товар (НЗДТ).

Од изразот (2.15) гледаме дека критичниот распон за различни спроводници (јажиња) ќе биде различен. Вредностите на критичните распони за некои почесто применувани спроводници и јажиња се дадени во прилогот П2.

2.5. МОНТАЖНИ КРИВИ И ТАБЕЛИ

Откога сме ја определиле вредноста на критичниот распон, утврдуваме која од наведените две критични состојби ќе ни биде почетна. Притоа, истовремено ја усвојуваме и вредноста σ_M на максималното работно напрегање (при што ќе биде $\sigma_M \leq \sigma_{nd}$), кое ќе се јави при таа состојба. Сега, познавајќи ги сите три параметри на основната (почетната) состојба, со помош на равенката на состојбата (2.12) или (2.13) лесно можеме да го определиме напрегањето σ а потоа и провесот f (равенка (2.2), односно (2.2a) при било која температура θ , за која е зададено специфичното оптоварување p . Ако оваа постапка ја повториме повеќе пати за различни вредности на температурата θ во интервалот од θ_{\min} до θ_{\max} (подразбирајќи ја тука под p сопствената тежина на спроводникот), ќе ги добиеме зависностите $\sigma = \sigma(\theta)$ и $f = f(\theta)$ во вид на табели, кои се нарекуваат *монтажни табели*. Врз основа на нив, можеме да ги конструираме и графичките зависности $\sigma = \sigma(\theta)$ и $f = f(\theta)$ кои, пак, се нарекуваат *монтажни криви*.

Монтажните криви и табели се користат при монтирањето на спроводниците (јажињата) на столбовите од далекуводите. Со помош на нив може да се отчита вредноста на провесот f или напрегањето σ , со кое на постојната температура θ при која се врши монтажата, ќе треба да се затегне јажето, така што напрегањето при основната состојба ќе биде еднакво точно на усвоената сметковна вредност σ_M .

2.6. КРИТИЧНА ТЕМПЕРАТУРА

Провесот на спроводниците е најголем или при максималната температура θ_{\max} , кога поради температурното ширење се зголемува нивната должина или, пак, при $\theta = -5^\circ\text{C} + \text{НЗДТ}$, кога должината на спроводниците се зголемува поради механичкото дејствување на зимскиот додатен товар. За да ја пресметаме вредноста на максималниот провес f_{\max} , што ни е неопходно за определување на потребните височини на столбовите, ќе треба, значи, да утврдиме кога е провесот најголем, т.е. дали провесот f_{40} при максималната температура е поголем или помал од провесот \bar{f}_{-5} што ќе се има при $-5^\circ\text{C} + \text{НЗДТ}$. Тоа ќе ни го каже *критичната температура* θ_k која се пресметува со помош на следната релација:

$$\theta_k = \frac{\bar{\sigma}_{-5}}{E \cdot \alpha} \cdot \left(1 - \frac{p}{\bar{p}}\right) - 5. \quad (2.16)$$

Критична температура θ_k е онаа температура, при која провесот f_{θ_k} е еднаков на провесот f_{40} . Според тоа, доколку критичната температура е поголема од 40°C , тогаш провесот ќе биде максимален при $\theta = \theta_{\max} = 40^\circ\text{C}$. Во спротивниот случај, провесот ќе биде максимален при $\theta = -5^\circ\text{C} + \text{НЗДТ}$. Значи ќе имаме:

за $\theta_k > 40^\circ\text{C}$ ќе биде $f_{40} < \bar{f}_{-5}$, т.е. $f_{\max} = \bar{f}_{-5}$;

за $\theta_k < 40^\circ\text{C}$ ќе биде $f_{40} > \bar{f}_{-5}$, т.е. $f_{\max} = f_{40}$;

за $\theta_k = 40^\circ\text{C}$ ќе биде $f_{40} = \bar{f}_{-5}$.

3. ОСНОВНИ ДИМЕНЗИИ НА СТОЛБОВИТЕ

Правилниот избор на растојанијата помеѓу спроводниците, заштитните јажиња и елементите на столбовите е од големо значење за нормалната работа на надземните водови. Со намалувањето на овие растојанија се намалува и цената на самиот вод но во исто време со тоа се создаваат услови за почеста појава на електричен прескок меѓу фазните спроводници и заземјените делови од столбот, испреплетување на спроводниците и заштитните јажиња под дејство на ветрот итн. што прави погонот на далекуводот несигурен. Од друга страна, пак, зголемувањето на истите тие растојанија е сврзано со зголемување на должините на конзолите а тоа доведува до зголемување на механичките сили и напрегања на самите столбови и ја условува потребата од појако механичко димензионирање на столбовите и нивните фундаменти и нивно поскапување. Затоа, при изборот на димензиите на столбот ќе биде потребно да се имаат предвид сите споменати моменти.

Во врска со изборот на димензиите на столбовите, во нашата земја постојат и соодветни прописи, изнесени во Правилникот [1]. Меѓу другото, овие прописи ги дефинираат таканаречените *сигурносни растојанија* кај далекуводите. Сигурносното растојание претставува најмало дозволено растојание помеѓу деловите под напон, односно помеѓу деловите под напон и заземјените делови од водот, било во нормални услови, било во услови кога дејствува ветар или зимски додатен товар.

Големината на сигурносните растојанија d_S , изразени во [cm], пропишани со нашиот Правилник, се прикажани во табелата 3.1

Табела 3.1. Сигурносни растојанија кај надземните водови, [cm]

Номинален напон kV	10	20	35	110	220	380
Вид на напонското напрегање на изолацијата:						
1. Атмосферски пренапони ($P_V = 0$)	15	25	35	90	175	280
2. Склопни и долготрајни пренапони ($P_V = 0,15 P_{\max}$)	10	20	30	80	155	270
3. Напони на индустриска фреквенција (нормални погонски услови) ($P_V = P_{\max}$)	/	7	10	30	55	90

Сигурносните растојанија треба да се проверуваат за следните случаи (состојби) опфатени со табелата 3.1:

1. при неотклонет изолаторски синцир, кога притисокот на ветрот е $P_V = 0$,
2. при отклонет изолаторски синцир, кога притисокот на ветрот изнесува $P_V = 0,15 \times P_{\max}$,
3. при отклонет изолаторски синцир, кога притисокот на ветрот изнесува $P_V = P_{\max}$.

Растојанието во средината на распонот D помеѓу било кои два фазни спроводника односно помеѓу било кој фазен спроводник и заштитното јаже (ако го има), од сигурносни причини, треба да зависи од големината на провесот на спроводниците, т.е. посредно треба да зависи од големината на распонот. Според нашите прописи се смета дека барањето во поглед на оддалеченоста помеѓу спроводниците односно помеѓу спроводниците и заштитното јаже во средината од распонот е исполнето ако вистинското растојанието D [cm] во средината на распонот и во услови без ветар, на температура од $+40^\circ\text{C}$, изнесува најмалку:

$$D \geq D_{\min} = k \cdot \sqrt{f_{40} + L_{iz}} + d_s \text{ [cm]}. \quad (3.1)$$

Во релацијата (3.1) со f_{40} е означен провесот на спроводникот, односно заштитното јаже, на температура 40°C , изразен во [cm], без оглед на усвоената максимална температура на спроводникот; L_{iz} е должина на изолаторскиот синџир сметано од точката на зацврстувањето до спроводникот, изразена во [cm]. За заштитните јажиња како и за спроводниците, прицврстени за столбот со затезни изолаторски синџири или со потпорните изолатори, во изразот (3.1) се зема $L_{iz} = 0$. Во оваа релација со D_{\min} е означено т.н. *минимално потребно растојание* во средината од распонот.

Сигурносното растојание d_s што фигурира во релацијата (3.1) се изразува во [cm]. Тоа се зема од табелата 3.1, за случајот 1 (атмосферски пренапони), во согласност со номиналниот напон на водот.

Коефициентот k што фигурира во релацијата (3.1) претставува бездимензионален број. Неговата вредност зависи од заемниот распоред на двата посматрани спроводника/јажиња. Зависно од случајот, неговата вредност се пресметува со помош на еден од обрасците (3.2). Во овие обрасци фигурира аголот на отклон α на спроводникот односно заштитното јаже под дејство на ветрот чијшто притисок се определува според изложеното во точката 1.7. Аголот α во (3.2) се изразува во степени $[\circ]$.

– за хоризонтален заемен распоред:

$$k = 4 + \alpha/25, \text{ но најмалку } k = 6 \text{ (и истовремено } D_{\min} = 60 \text{ cm)},$$

– за кос заемен распоред:

$$k = 2 + \alpha/10, \text{ но најмалку } k = 7 \text{ (и истовремено } D_{\min} = 70 \text{ cm)}, \quad (3.2)$$

– за вертикален заемен распоред:

$$k = 4 + \alpha/5, \text{ но најмалку } k = 7 \text{ (и истовремено } D_{\min} = 140 \text{ cm)}.$$

За нисконапонските водови, минималното потребно растојание D_{\min} [cm], во зависност од провесот f_{40} [cm], се пресметува според релацијата (3.3) :

$$D_{\min} = 3 \cdot \sqrt{f_{40}}, \quad (3.3)$$

Притоа, според Правилникот [1], за ова растојание постојат следните ограничувања (од долна страна):

а) $D_{\min} \geq 30 \text{ cm}$ за хоризонтален и кос распоред и за распони до 45 m,

б) $D_{\min} \geq 40 \text{ cm}$ за водови со распони над 45 m.

Контролата на сигурносниот услов (3.1) се врши во секој распон од разгледуваниот надземен вод и тоа за секој можен пар спроводник–спроводник, односно спроводник–заштитно јаже.

Покрај сигурносното растојание d_s , нашите прописи разликуваат уште две други величини: сигурносна височина H_s и сигурносна оддалеченост D_s .

Сигурносната височина H_s претставува најмала дозволена вертикална оддалеченост на спроводниците (односно деловите под напон) од земјата или од некој објект на земјата. Таа се контролира при температура $+40^{\circ}\text{C}$ (исклучително се препорачува при $+60^{\circ}\text{C}$) или, пак, при температура $-5^{\circ}\text{C} + \text{НЗДТ}$, без ветер, зависно од тоа кој од двата случаја е неповолен.

Сигурносната оддалеченост D_s , пак, претставува најмала дозволена оддалеченост на спроводник (односно на деловите од водот под напон), од земјата или од некој објект во кој и да е правец, при температура од $+40^{\circ}\text{C}$ (исклучително се препорачува при $+60^{\circ}\text{C}$) и при дејствување на ветрот од нула до неговата полна брзина.

Сигурносните височини се меродавни, пред сш, за определување на основните височини на столбовите. Во табелата 3.3 се прикажани некои поважни вредности на сигурносните височини H_S и сигурносните оддалечености D_S , изразени во [m].

Табела 3.3. Сигурносни височини и сигурносни оддалечености за некои случаи на премин и приближување на високонапонските водови со номинален напон $U_n \leq 110$ kV до разни објекти

Објект на премин односно приближување	H_S [m]	D_S [m]	% смалување на норм. дозв. напрегање	Предвидено појачување на изолацијата
Недостапни места	4	3	/	/
Места достапни со возило	5	4	/	/
Места достапни за возило	6	5	/	/
Недостапни делови од градби	3	3	/	ЕМ
Достапни делови од градби	5	4	/	ЕМ
Градби со запалив покрив	12	5	/	ЕМ
Населени места	7	7	/	Е
Густо населени места	7	/	75 %	ЕМ
Магистрални патишта	7	/	/	ЕМ
Локални и регионални патишта	7	/	/	Е
Автопати	7	/	75 %	ЕМ
Неелектрифицирани железници	7	/	85 %	ЕМ
Електрифицирани железници	12	/	85 %	ЕМ
Шуми и дрвја	3	3	/	/

Во некои случаи на премини на надземните водови над објекти на земјата, од сигурносни причини, е предвидено и определено намалување на нормалното дозволено напрегање σ_{nd} . Во третата колона од табелата 3.3 приложени се пропишаните вредности (изразени во % од σ_{nd} према табелата 1.6) на нормалното дозволено напрегање во овие случаи. Од истите причини, во некои случаи се предвидуваат и електричко (Е), механичко (М), или пак истовремено електричко и механичко (ЕМ) појачување на изолацијата на водот.

Вредностите за величините H_S и D_S , дадени во табелата 3.3, се однесуваат на високонапонските надземни водови со номинален напон до 110 kV. За водовите со повисок номинален напон, тие треба да се зголемат за следните износи:

- за 0,75 m, кај водовите со номинален напон $U_n = 220$ kV,
- за 2,00 m, кај водовите со номинален напон $U_n = 380$ kV.

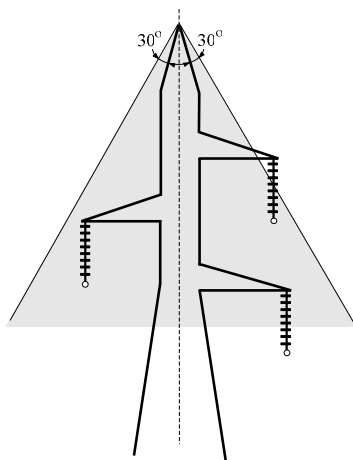
Кај високонапонските надземни водови ($U_n \geq 110$ kV) без исклучок, а доста често и кај среднонапонските водови со напон $U_n = 35$ kV, над фазните спроводници се поставуваат *защитни (земјоводни) јажиња*. Тие се заземјуваат на секое столбно место и имаат задача да ги примат врз себе евентуалните удари на громот а струјата на атмосферското празнење да ја одведат во земјата. На тој начин, тие ги штитат водовите од атмосферски пренапони, бидејќи директните празнења на громот во фазните спро-

водници скоро секогаш предизвикуваат повратни прескоци на изолацијата, куса врска (доземен спој) и испад (исклучување) на надземниот вод.

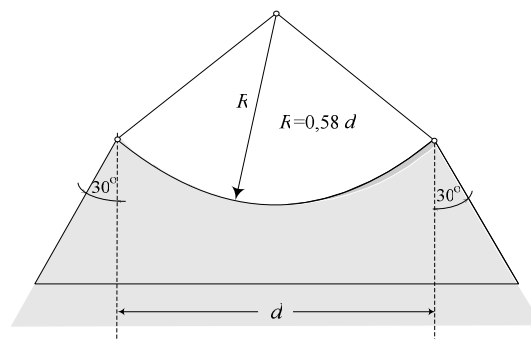
Височината на која се поставуваат заштитните јажиња зависи од височините и распоредот на фазните спроводници. Колку е заштитното јаже поставено повисоко на столбот, толку е степенот на заштита на водот од атмосферските празнења поголем а бројот на испадите под дејство на директните празнења во фазните спроводници помал. Зголемувањето на височината на заштитните јажиња, од друга страна, условува и зголемување на механичките напрегања на столбовите, а тоа доведува до нивно појако механичко димензионирање, што секако се одразува на цената на далекуводот. Затоа е потребно да се определи оптимална положба на заштитните јажиња бидејќи со тоа од една страна ќе се обезбеди доволен степен на заштита од атмосферските празнења, а од друга страна нема да дојде до значителни зголемувања на барањата во поглед на механичкото димензионирање на столбовите од далекуводот.

Нашите прописи ја дефинираат бараната положба на заштитните јажиња преку таканаречената *заштитна зона*. Под заштитна зона се подразбира просторот под заштитното јаже (јажиња) во кој се смета дека спроводниците се доволно заштитени од атмосферските празнења. Спроводниците, по правило, мораат да се наоѓаат во областа на заштитната зона во сите распони долж надземниот вод и на сите работни температури, од 0°C до 40°C , во услови без ветар.

Според нашиот Правилник [1], заштитната зона за водови со едно заштитно јаже е дефинирана на сликата 3.1. Таа го опфаќа просторот во границите на аголот од најмногу 30° од обете страни на заштитното јаже, мерено од вертикалата. За водовите со две заштитни јажиња, заштитната зона е дефинирана со сликата 3.2.



а) Случај со едно заштитно јаже



б) Случај кога водот има две заштитни јажиња

Слика 3. Заштитна зона кај водовите со заштитно јаже

ДЕЛ II

ЗАДАЧИ И ПРИМЕРИ ОД ОБЛАСТА НА НАДЗЕМНИТЕ ВОДОВИ

Пример 1.1. Да се пресметаат механичките карактеристики на комбинираното јаже МКС.Н.Ц1.351 490/65 Al/Č. Добиените вредности да се споредат со оние, отчитани од табелата 1.4.

Решение:

Од табелата 1.3 ги отчитуваме следните податоци за ова јаже:

- пресек на алуминиумовиот плашт $A_{Al} = 490,3 \text{ mm}^2$
- пресек на челичното јадро $A_{Fe} = 63,6 \text{ mm}^2$
- пречник на јагето $d = 30,6 \text{ mm}$;
- единична маса на јагето $M = 1855 \text{ kg/km} \equiv 1,855 \text{ kg/m}$
- единична тежина на јагето $G = g \cdot M = 9,81 \cdot 1,855 = 18,2 \text{ N/m} \equiv 1,820 \text{ daN/m}$
- сила на кинење на јагето $F_{kin} = 15310 \text{ daN}$.

Врз основа на овие податоци можеме да ги пресметаме и останатите механички карактеристики на јагето.

Вкупниот (т.е. вистинскиот) пресек на јагето A ќе биде збир од пресеците на алуминиумовиот плашт A_{Al} и челичното јадро A_{Fe} , т.е.:

$$A = A_{Al} + A_{Fe} = 490,3 + 63,6 = 553,9 \text{ mm}^2$$

Сопствената специфична тежина на јагето p ќе ја добиеме кога единечната тежина G на јагето ќе ја поделиме со неговиот вистински пресек A , т.е:

$$p = G/A = 1,820/553,9 = 3,29 \cdot 10^{-3} \text{ daN/m,mm}^2.$$

Модулот на еластичност E на јагето се пресметува со формулата:

$$E = \frac{A_{Al} \cdot E_{Al} + A_{Fe} \cdot E_{Fe}}{A_{Al} + A_{Fe}} = \frac{490,3 \cdot 5700 + 63,6 \cdot 18000}{553,9} = 7112 \text{ [daN/mm}^2\text{]}.$$

Температурниот коефициент α ($1/^\circ\text{C}$) на јагето ќе биде:

$$\alpha = \frac{\alpha_{Al} \cdot A_{Al} \cdot E_{Al} + \alpha_{Fe} \cdot A_{Fe} \cdot E_{Fe}}{E \cdot (A_{Al} + A_{Fe})} = \frac{2,3 \cdot 490,3 \cdot 5700 + 1,1 \cdot 63,6 \cdot 18000}{7112 \cdot 553,9} \cdot 10^{-6} = 19,5 \cdot 10^{-6} \text{ } 1/^\circ\text{C}$$

Напрегањето на кинење σ_{kin} [daN/mm^2] на јагето ќе го добиеме како:

$$\sigma_{kin} = F_{kin} / A = 15310/553,9 = 27,64 \text{ daN/mm}^2$$

Нормалното дозволено напрегање σ_{nd} на ова јаже, според табелата 1.6 ($\varepsilon = 490,3/63,6 = 7,7$), изнесува:

$$\sigma_{nd} = 11 \text{ daN/mm}^2,$$

додека исклучителното дозволено напрегање σ_{id} , изнесува:

$$\sigma_{id} = 21 \text{ daN/mm}^2$$

што изнесува 76% од напрегањето на кинење σ_{kin} , т.е. $\sigma_{id} = 0,76 \cdot \sigma_{kin}$.

Приближните вредности на механичките карактеристики за посматраното јаже можеме да ги отчитаме и од табелата 1.4, што е многу поедноставно. Тие се прикажани во табелата П1.1.

Се разбира дека отчитаните вредности се разликуваат од вистинските но, како што се гледа од табелата, разликите се сосема мали. Затоа со нашиот Правилник [1] е дозволено во механичките пресметки да оперираме со вака отчитаните, приближни, вредности за карактеристиките на спроводниците и јажињата бидејќи тоа ќе има незначително влијание врз точноста на добиените резултати.

Табела П1.1. Физички особини на јажето MKS.N.C1.351 490/65 Al/Џ

Начин на добивање	p [daN/m, mm ²]	E [daN/mm ²]	α [1/°C]
Пресметано (точно)	$3,29 \cdot 10^{-3}$	7.112	$19,5 \cdot 10^{-6}$
Отчитано од табелата 1.4.	$3,36 \cdot 10^{-3}$	7.000	$19,3 \cdot 10^{-6}$
Разлика (%)	2,1%	-1,6%	-1,0%



Пример 1.2. Комбинирано јаже Al/Џ 240/40 mm со должина $L = 300$ m, струјно неоптоварено, е затегнато со надворешна механичка сила $F = 2000$ daN при температура на околината:

а) $\theta_0 = 15^\circ\text{C}$;

б) $\theta_0 = 40^\circ\text{C}$;

в) $\theta_0 = -20^\circ\text{C}$.

Да се пресметаат неговите механички карактеристики, а потоа да се одредат напрегањата σ_{Al} во Al-плашт, σ_{Fe} во Fe-јадро и релативното издолжување $\Delta L/L$ на јажето, за трите наведени случаи:

Бројни вредности:

$$A_{Al} = 243 \text{ mm}^2 = 26 \cdot 3,45^2 \cdot \pi/4 ; p_{Al} = 2,7 \cdot 10^{-3} \text{ daN/m, mm}^2 ; E_{Al} = 5700 \text{ daN/mm}^2 ;$$

$$\alpha_{Al} = 23 \cdot 10^{-6} \text{ 1/}^\circ\text{C} ; A_{Fe} = 39,5 \text{ mm}^2 = 7 \cdot 2,68^2 \cdot \pi/4 ; p_{Fe} = 7,8 \cdot 10^{-3} \text{ daN/m, mm}^2 ;$$

$$E_{Fe} = 18000 \text{ daN/mm}^2 ; \alpha_{Fe} = 11 \cdot 10^{-6} \text{ 1/}^\circ\text{C}.$$

Решение:

Бидејќи се работи за комбинирано јаже, најнапред ќе ги пресметаме неговите еквивалентни параметри A , E , α , σ и p .

$$A = A_{Al} + A_{Fe} = 243 + 39,5 = 282,5 \text{ mm}^2 ; \varepsilon = A_{Al}/A_{Fe} = 243/39,5 = 6,15 ;$$

$$p = \frac{\varepsilon \cdot p_{Al} + p_{Fe}}{\varepsilon + 1} = \frac{6,15 \cdot 2,7 + 7,8}{6,15 + 1} \cdot 10^{-3} = 3,4 \cdot 10^{-3} \text{ daN/m, mm}^2 ;$$

$$E = \frac{\varepsilon \cdot E_{Al} + E_{Fe}}{\varepsilon + 1} = \frac{6,15 \cdot 5700 + 18000}{6,15 + 1} = 7420 \text{ daN/mm}^2 ;$$

$$\alpha = \frac{\varepsilon \cdot \alpha_{Al} \cdot E_{Al} + \alpha_{Fe} \cdot E_{Fe}}{E \cdot (\varepsilon + 1)} = \frac{6,15 \cdot 23 \cdot 5700 + 11 \cdot 18000}{6,15 + 1} \cdot 10^{-6} = 18,9 \cdot 10^{-6} \text{ 1/}^\circ\text{C} .$$

Сега, јажето можеме да го третираме како хомоген спроводник со карактеристики A , p , E и α .

Под дејство на надворешната сила F , јажего ќе се напрегне со напрегање на затегање $\sigma = F/A = 2000/282,5 = 7,08$ daN/mm². Дел од силата F ја презема алуминиумовиот плашт, $F_{Al} = \sigma_{Al} \cdot A_{Al}$, а остатокот од вкупната сила F го презема челичното јадро, $F_{Fe} = \sigma_{Fe} \cdot A_{Fe}$. Се разбира, при тоа ќе важи следната релација:

$$F_{Al} + F_{Fe} = F = \sigma \cdot A ,$$

односно,

$$\sigma_{Al} \cdot A_{Al} + \sigma_{Fe} \cdot A_{Fe} = \sigma \cdot A.$$

Притоа, делот од F_{Al} од вкупната сила F што го превзема алуминиумовиот плашт, зависи не само од односот на пресеци ε , туку и од надворешната температура θ_0 .

Во општ случај кога јажето е затегнато со надворешна сила $F = \sigma \cdot A$, напрегањата σ_{Al} и σ_{Fe} зависат, како од температурата на јажето θ , која во случајов е еднаква на амбиентната температура θ_0 , така и од механичкото напрегање σ и тие се пресметуваат со помош на следните релации ([3]):

$$\sigma_{Al} = \sigma \frac{E_{Al}}{E} + (\alpha - \alpha_{Al}) \cdot E_{Al} (\theta - \theta_f), \quad (1.2.1)$$

$$\sigma_{Fe} = \sigma \frac{E_{Fe}}{E} + (\alpha - \alpha_{Fe}) \cdot E_{Fe} (\theta - \theta_f). \quad (1.2.2)$$

Во овие релации со θ_f е означена т.н. „фабричка“ температура, т.е. температурата на којашто е изработено јажето. При оваа температура во јажето нема никакви внатрешни напрегања.

Бидејќи температурата θ_f на којашто е изработено јажето не ни е позната, за неа ќе усвоиме некоја вредност. Најправилно е (грешката ќе биде најмала) ако претпоставиме дека температурата θ_f е еднаква на средногодишната температура θ_{srg} , т.е. $\theta_f = \theta_{srg} = 15^\circ\text{C}$.

a) *Случај кога надворешната температура изнесува $\theta_0 = 15^\circ\text{C}$.*

Во случајот кога температурата на амбиентот θ_0 е еднаква на фабричката температура θ_f при која што е изработено јажето, напрегањата σ_{Al} и σ_{Fe} во алуминиумовиот плашт и челичното јадро се јавуваат само поради надворешната сила на затегање F . Бидејќи е $\theta_0 - \theta_f = 0$, врз основа на претходните релации (1.2.1) и (1.2.2) ќе добиеме:

$$\sigma_{Al} = \sigma \cdot \frac{E_{Al}}{E} = 7,08 \cdot \frac{5700}{7420} = 5,439 \text{ daN/mm}^2,$$

$$\sigma_{Fe} = \sigma \cdot \frac{E_{Fe}}{E} = 7,08 \cdot \frac{18000}{7420} = 17,135 \text{ daN/mm}^2.$$

Како проверка на добиените резултати може да ни послужат односите:

$$F_{Al} = \sigma_{Al} \cdot A_{Al} = 5,439 \cdot 282,5 = 1322 \text{ daN},$$

$$F_{Fe} = \sigma_{Fe} \cdot A_{Fe} = 17,135 \cdot 39,5 = 678 \text{ daN},$$

$$F_{Al} + F_{Fe} = 1322 + 678 = 2000 \text{ daN} = F.$$

За односот на силите затегање во Al-плашт F_{Al} и во челичното јадро F_{Fe} добиваме:

$$\frac{F_{Al}}{F_{Fe}} = \frac{1322}{678} = 1,95..$$

Релативното издолжување на јажето $\Delta L/L$ под дејство на силата F ќе биде:

$$\frac{\Delta L}{L} = \frac{\sigma}{E} + \alpha \cdot L \cdot (\theta - \theta_f) = \frac{7,08}{7420} + 0 = 0,954 \cdot 10^{-3},$$

од каде што за вистинското издолжување на јажето ΔL се добива:

$$\Delta L = 0,954 \cdot 10^{-3} \cdot L = 0,954 \cdot 10^{-3} \cdot 300 = 0,286 \text{ m}.$$

b) Случај кога надворешната температура изнесува $\theta_0 = 40^\circ\text{C}$.

Во овој случај, покрај издолжувањето на јажето под дејство на силата F , треба да се земе во предвид и температурното издолжување на јажето, бидејќи сега неговата температура $\theta_0 \neq \theta_f$, т.е. $\theta_0 - \theta_f = 25^\circ\text{C}$. Со помош на релациите (1.2.1) и (1.2.2) ќе ги пресметаме најнапред напрегањата σ_{Al} и σ_{Fe} :

$$\sigma_{Al} = 7,08 \cdot \frac{5700}{7420} + (18,9 - 23) \cdot 10^{-6} \cdot 5700 \cdot 25 = 4,86 \text{ daN/mm}^2,$$

$$\sigma_{Fe} = 7,08 \cdot \frac{18000}{7420} + (18,9 - 11) \cdot 10^{-6} \cdot 18000 \cdot 25 = 20,73 \text{ daN/mm}^2.$$

а потоа и силите на затегање во Al-плашт F_{Al} и во челичното јадро F_{Fe} :

$$F_{Al} = \sigma_{Al} \cdot A_{Al} = 5,439 \cdot 282,5 = 1181 \text{ daN},$$

$$F_{Fe} = \sigma_{Fe} \cdot A_{Fe} = 17,175 \cdot 39,5 = 819 \text{ daN},$$

$$F_{Al} + F_{Fe} = 1181 + 819 = F = 2000 \text{ daN}.$$

$$F_{Al} / F_{Fe} = 1181 / 819 = 1,44.$$

Релативното издолжување на јажето $\Delta L/L$ под дејство на силата F ќе биде:

$$\frac{\Delta L}{L} = \frac{\sigma}{E} + \alpha \cdot L \cdot (\theta - \theta_f) = \frac{7,8}{7420} + 18,9 \cdot 10^{-3} \cdot 300 \cdot (40 - 15) = 1,43 \cdot 10^{-3}$$

од каде што за вистинското издолжување на јажето ΔL се добива:

$$\Delta L = L \cdot \sigma / E = 1,43 \cdot 10^{-3} \cdot 300 = 0,429 \text{ m}.$$

Забележуваме дека со зголемување на температурата на околината $\theta_0 > \theta_f$ се зголемува и релативното издолжување на јажето. Поради различните температурни коефициенти на линеарно издолжување на Al-плашт и Fe-јадро, дојде и до промена во распределбата на преземените сили F_{Al} и F_{Fe} (чиј збир е секогаш еднаков на силата на затегање F). Со други зборови, напрегањето во Al-плашт (а со тоа и силата на затегање F_{Al}) се намали за 11,8%, додека напрегањето на челичното јадро (односно силата на затегање F_{Fe}) се зголеми за 22,9%. Тоа е и нормално да се очекува бидејќи коефициентот на топлинското издолжување $\alpha_{Al} > \alpha_{Fe}$ па за секоја температура $\theta_0 > \theta_f$ должината на Al-жици би била поголема од должината на јажето, доколку тие при своето термичко ширење не би биле спречувани од Fe-јадро. Обратно, Fe-жици во јадрото сега се изложени на додатни напрегања на затегање од страна на Al-плашт, кој има тенденција да се издолжува повеќе отколку што тоа му го дозволува Fe-јадро.

Се разбира, за температури $\theta_0 < \theta_f$ ќе треба да очекуваме обратен ефект, односно зголемување на напрегањето во Al-плашт и намалување на напрегањето во Fe-јадро и нормално, намалување на релативното издолжување ($\Delta L/L$) на јажето.

Лесно може да се увериме дека за температура на јажето $\theta = -20^\circ\text{C}$ ќе ги имаме следните напрегања и сили на затегање:

$$\sigma_{Al} = 6,257 \text{ daN/mm}^2; \quad F_{Al} = \sigma_{Al} \cdot A_{Al} = 6,257 \cdot 282,5 = 1520 \text{ daN},$$

$$\sigma_{Fe} = 12,198 \text{ daN/mm}^2; \quad F_{Fe} = \sigma_{Fe} \cdot A_{Fe} = 17,175 \cdot 39,5 = 480 \text{ daN},$$

$$F_{Al} + F_{Fe} = 1520 + 480 = F = 2000 \text{ daN};$$

$$F_{Al} / F_{Fe} = 1520 / 480 = 3,17.$$



Пример 1.3. За случајот од претходната задача, да се одреди температурата на околината θ_x при која што силите во Al-плашт и Fe-јадро од јажето се еднакви меѓу себе $F_{Al} = F_{Fe} = F/2$.

Решение:

$$\begin{aligned}\sigma &= F/A = 7,08 \text{ daN/mm}^2; F_{Al} = F/2 = 1000 \text{ daN}; \sigma_{Al} = F_{Al}/A_{Al} = 3,54 \text{ daN/mm}^2; \\ \sigma_{Al} &= \sigma E_{Al}/E + E_{Al} \cdot (\alpha - \alpha_{Al}) \cdot (\theta_x - \theta_f); \\ 3,54 &= 7,08 \cdot 5700/7420 + 5700 \cdot (18,9 - 23) \cdot 10^{-6} \cdot (\theta_x - \theta_f) \Rightarrow \theta_x = 96,3^\circ\text{C}.\end{aligned}$$

■ ■ ■

Пример 1.4. Се посматра комбинираното јаже Al/Č 240/40 mm², чиито карактеристики се пресметани во примерот 1.2. Јажето е слободно (незатегнато). Да се пресмета:

- Колкави се напрегањата σ_{Al} и σ_{Fe} во Al-плашт и Fe-јадро при температура на јажето $\theta = 80^\circ\text{C}$. Со колкава сила F треба да се затегне јажето при истата температура за да биде напрегањето во Al-плашт еднакво на нула;
- Колкави се напрегањата σ_{Al} и σ_{Fe} при температура $\theta = -20^\circ\text{C}$ и со колкава сила треба да се затегне јажето за напрегањето во Fe-јадро да биде еднакво на нула.

Решение:

Поради нееднаквите температурни коефициенти на линеарното издолжување на алуминиумот и челикот, при секоја температура $\theta \neq \theta_f$ ќе постојат извесни напрегања во Al-плашт и Fe-јадро, независно од тоа дали јажето е механички затегнато со некоја надворешна сила F или не. Затоа, за температури $\theta > \theta_f$, поради фактот што е $\alpha_{Al} > \alpha_{Fe}$, Al-плашт ќе биде изложен на напрегања на притисок ($\sigma_{Al} < 0$), додека за сите температури $\theta < \theta_f$ ќе имаме обратен случај, т.е. $\sigma_{Al} > 0$ и $\sigma_{Fe} < 0$ и Fe-јадро ќе биде изложено на напрегање на притисок додека Al-плашт ќе биде изложен на напрегање на затегање.

Во општ случај кога јажето е затегнато со надворешна сила $F = \sigma A$, напрегањата σ_{Al} и σ_{Fe} зависат, како од надворешната температура, така и од механичкото напрегање σ и тие се пресметуваат со помош на општите релации (1.2.1) и (1.2.2):

$$\begin{aligned}\sigma_{Al} &= \sigma \frac{E_{Al}}{E} + (\alpha - \alpha_{Al}) \cdot E_{Al} (\theta - \theta_f), \\ \sigma_{Fe} &= \sigma \frac{E_{Fe}}{E} + (\alpha - \alpha_{Fe}) \cdot E_{Fe} (\theta - \theta_f).\end{aligned}$$

- Случај кога температурата на јажето изнесува $\theta = 80^\circ\text{C}$.

Во случајот кога температурата на јажето изнесува $\theta = 80^\circ\text{C}$, напрегањата σ_{Al} и σ_{Fe} (под услов да не постои надворешно механичко напрегање) ќе бидат:

$$\begin{aligned}\sigma_{Al} &= 0 + (18,9 - 23) \cdot 10^{-6} \cdot 5700 \cdot (80 - 15) = -1,508 \text{ daN/mm}^2, \\ \sigma_{Fe} &= 0 + (18,9 - 11) \cdot 10^{-6} \cdot 18000 \cdot (80 - 15) = 9,278 \text{ daN/mm}^2.\end{aligned}$$

Надворешното напрегање σ со кое треба да го затегнеме јажето, така што напрегањето во Al-плашт да биде еднакво на нула, го добиваме од условот:

$$\sigma_{Al} = \sigma E_{Al}/E + (\alpha - \alpha_{Al}) \cdot E_{Al} \cdot (\theta - \theta_f) \equiv 0 ,$$

од каде што добиваме:

$$\sigma = -E \cdot (\alpha - \alpha_{Al}) \cdot (\theta - \theta_f) = 1,963 \text{ daN/mm}^2 \Rightarrow F = \sigma A = 1,963 \cdot 282,5 = 555 \text{ daN}.$$

Значи, за да го поништиме напрегањето на притисок во Al-плашт при оваа температура, ќе треба јагето да го затегнеме со надворешна сила од 555 daN.

b) *Случај кога температурата на јагето изнесува $\theta = -20^\circ\text{C}$.*

Во овој случај ($\theta = -20^\circ\text{C}$) напрегањата σ_{Al} и σ_{Fe} ќе имаат обратни знаци, т.е.:

$$\sigma_{Al} = 0 + (18,9 - 23) \cdot 10^{-6} \cdot 5700 \cdot (-20 - 15) = 0,812 \text{ daN/mm}^2,$$

$$\sigma_{Fe} = 0 + (18,9 - 11) \cdot 10^{-6} \cdot 18000 \cdot (-20 - 15) = -4,996 \text{ daN/mm}^2.$$

Силата F со која треба да се затегне јагето за да се постигне напрегањето σ_{Fe} да биде нула се добива од условот:

$$\sigma_{Fe} = \sigma E_{Fe}/E + (\alpha - \alpha_{Fe}) \cdot E_{Fe} \cdot (\theta - \theta_f) = 0,$$

од каде се добива:

$$\sigma = E \cdot (\alpha_{Fe} - \alpha) \cdot (\theta - \theta_f) = 2,052 \text{ daN/mm}^2 ,$$

односно:

$$F = \sigma \cdot A = 2,052 \cdot 282,5 = 580 \text{ daN}.$$



Пример 1.5. Да се одредат механичките карактеристики и специфичните товари на челичното јаже, за кое се познати следните податоци:

- номинален пресек $A = 50 \text{ mm}^2$.
- број на жици во јагето $n = 1+6 = 7$,
- пречник на жиците $d_1 = 3 \text{ mm}$ – пречник на јагето $d = 9 \text{ mm}$.

Климатски услови:

- фактор на нормален зимски додатен товар $k_n = 1,0 \cdot g$ ($\Delta G_n = k_n \cdot g = 1,0 \cdot g$);
- брзина на ветрот $v = 40 \text{ m/s}$

Решение:

Вистинскиот пресек на јагето A претставува збир од геометриските пресеци на сите жици, т.е.:

$$A = 7 \cdot \pi \cdot d_1^2 / 4 = 7 \cdot \pi \cdot 3^2 / 4 = 49,48 \text{ mm}^2 .$$

Од табелата 1.4 можат да се отчитаат следните карактеристики за ова јаже:

- сопствена специфична тежина $p = 7,8 \cdot 10^{-3} \text{ daN/m,mm}^2$,
- модул на еластичност $E = 18000 \text{ daN/mm}^2$,
- температурен коефициент $\alpha = 11 \cdot 10^{-6} \text{ 1/}^\circ\text{C}$.

Пресметка на специфичните товари на јагето:

1. Како што веќе видовме, сопствената специфична тежина на јагето изнесува:

$$p = 7,8 \cdot 10^{-3} \text{ daN/m,mm}^2 ,$$

додека тежината по единица должина ќе биде $G = p \cdot A = 7,8 \cdot 49,48 = 0,386 \text{ daN/m}$.

2. Специфичната тежина Δp_n на нормалниот зимски додатен товар претставува однос меѓу нормалниот зимски додатен товар ΔG_n и вистинскиот пресек на јагето, т.е.:

$$\Delta p = \frac{\Delta G_n}{A} = \frac{k_n \cdot g}{A} = \frac{1,0 \cdot 0,18 \cdot \sqrt{d}}{A} = \frac{0,18 \cdot \sqrt{9}}{49,48} = \frac{0,54}{49,48} = 10,91 \cdot 10^{-3} \frac{\text{daN}}{\text{m, mm}^2}.$$

3. Специфичниот товар \bar{p} на спроводникот со НЗДТ ќе биде збир од претходните два товари, т.е.:

$$\bar{p} = p + \Delta p = (7,8 + 10,91) \cdot 10^{-3} = 18,71 \cdot 10^{-3} \text{ daN/m, mm}^2.$$

4. Ветрот што дува со брзина v дејствува врз нападната површина од јагето S со сила F_V што се пресметува со следната релација:

$$F_V = c \cdot P_V \cdot S,$$

Притоа проекцијата на површината од јагето со должина $L = 1$ m, врз која дејствува ветрот изнесува:

$$S = d \cdot L = (9 \cdot 10^{-3}) \cdot 1 = 9 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2 = 0,009 \text{ m}^2.$$

Коефициентот на аеродинамичко дејство на ветрот c за спроводници и јажиња изнесува $c = 1$, додека притисокот на ветрот може да се пресмета според релацијата:

$$P_V = v^2/16 = 40^2/16 = 100 \text{ daN/m}^2.$$

Според табелата 1.5, нормираните вредности на притисокот на ветрот, изразени до $[\text{daN/m}^2]$, со кои се вршат механичките пресметки на надземните водови се следните: 60, 75,90,110 и 130 daN/m^2 . Затоа за нормирана вредност на притисокот на ветрот во конкретниот случај ќе ја усвоиме вредноста, $P_V = 110 \text{ daN/m}^2$. На тој начин, за силата на ветрот добиваме:

$$F_V = 1 \cdot 110 \cdot 0,009 = 0,99 \text{ daN/m}.$$

Специфичниот товар од ветар ќе изнесува:

$$p_V = F_V/A = 0,99/49,48 = 20 \cdot 10^{-3} \text{ daN/m, mm}^2.$$

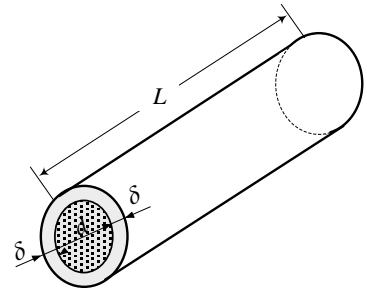
5. Специфичниот товар на спроводникот (незамрзнат) p'_V , изложен на дејство на ветрот со својот полн притисок претставува резултанта од сопствената тежина на спроводникот G и силата на ветрот, F_V , редуцирана на единица пресек, односно:

$$p'_V = \frac{\sqrt{G^2 + F_V^2}}{A} = \sqrt{p^2 + p_V^2} = \sqrt{7,8^2 + 20^2} \cdot 10^{-3} = 21,47 \cdot 10^{-3} \frac{\text{daN}}{\text{m, mm}^2}.$$

■ ■ ■

Пример 1.6. Да се пресмета единичната тежина ΔG (daN/m) на зимскиот додатен товар нафатен рамномерно по должината на јажето Al/Č 95/15 mm², дебелината на наслagата δ [cm] и специфичната тежина $\Delta \rho$ [daN/m,mm²], за следните два случаја:

- факторот на НЗДТ изнесува $k_n = 1,0$;
- факторот на НЗДТ изнесува $k_n = 2,5$.



Слика 1.6.1

Зимскиот додатен товар е чист кристален мраз, со правилна цилиндрична форма, чија специфична маса изнесува $\gamma = 0,9$ gr/cm³.

Познати се и следните податоци за јажето:

$$A_{Al} = 94,4 \text{ mm}^2; A_{Fe} = 15,3 \text{ mm}^2; A = A_{Al} + A_{Fe} = 109,7 \text{ mm}^2; d = 13,6 \text{ mm}; G = 0,375 \text{ daN/m}.$$

Решение:

Ќе претпоставиме дека зимскиот додатен товар се нафаќа рамномерно долж јажето и дека има правилен, валчест, облик како што е тоа прикажано на сликата 1.6.1. Во тој случај, волуменот V на мразот, нафатен на должина L , со дебелина δ , ќе биде:

$$V = \pi \cdot L \cdot \left[\frac{(d+2\delta)^2}{4} - \frac{d^2}{4} \right] = \pi \cdot L \cdot \delta \cdot (d + \delta),$$

а неговата маса по единица должина ΔM ќе биде:

$$\Delta M = \gamma \cdot V; \quad (\gamma = 0,9 \text{ gr/cm}^3 = 0,9 \text{ daN/dm}^3) .$$

a) *Случај кога факторот на НЗДТ изнесува $k_n = 1,0$.*

Во случајот кога факторот на НЗДТ изнесува 1,0, ќе имаме:

$$\Delta G = k_n \cdot g = 1,0 \cdot g = 0,18 \cdot \sqrt{d} = 0,18 \cdot \sqrt{13,6} = 0,664 \text{ daN/m} \equiv 6,64 \text{ N/m},$$

а неговата маса по единица должина ΔM ќе биде:

$$\Delta M = \Delta G/g = 6,64/9,81 = 0,677 \text{ kg/m}.$$

Специфичната тежина $\Delta \rho$ на додатниот товар се добива кога неговата единична тежина ΔG ќе ја поделиме со вистинскиот пресек на јажето A :

$$\Delta \rho = \Delta G/A = 0,664/109,7 = 6,053 \cdot 10^{-3} \text{ daN/m,mm}^2 .$$

Ако дебелината δ ја изразиме во cm, тогаш, со оглед дека е $L = 100$ cm и $d = 1,36$ cm, волуменот V на зимскиот додатен товар, изразен во cm³, ќе изнесува:

$$V = \delta \cdot (d+\delta) \cdot \pi L = \delta \cdot (\delta+1,36) \cdot \pi 100 = 100 \cdot \pi \cdot (\delta+1,36 \cdot \delta) .$$

Од друга страна, волуменот V [cm³] можеме да го пресметаме и преку познатата единична маса ΔM на додатниот товар:

$$V = \Delta M/\gamma = 0,677/0,9 = 0,752 \text{ dm}^3 \equiv 752 \text{ cm}^3 .$$

На тој начин ќе имаме:

$$100 \cdot \pi \cdot \delta \cdot (\delta + 1,36) = 752$$

$$\delta + 1,36 \cdot \delta - 2,394 = 0 ;$$

$$\Rightarrow \delta = 1,01 \text{ cm} .$$

Значи, дебелината δ на слојот од мраз врз спроводникот ќе изнесува приближно 1 cm.

б) *Случај кога факторот на НЗДТ изнесува $k_n = 2,5$.*

Во случајот кога факторот на НЗДТ изнесува $k_n = 2,5$, единичната тежина ΔG ќе биде за дваипол пати поголема, т.е.:

$$\Delta G = 2,5 \cdot 0,664 = 1,66 \text{ daN/m},$$

од каде што следува:

$$\Delta p = 2,5 \cdot 6,053 \cdot 10^{-3} = 15,137 \cdot 10^{-3} \text{ daN/m, mm}^2.$$

Волуменот V на мразот ќе биде исто така за дваипол пати поголем, т.е:

$$V = 2,5 \cdot 752 = 1880 \text{ cm}^3,$$

и понатаму:

$$\delta(\delta + 1,36) \cdot 100 \cdot \pi = 1880 ; \quad \delta^2 + 1,36 \cdot \delta - 5,984 = 0 ; \quad \Rightarrow \quad \delta = 1,86 \text{ cm}.$$



Пример 1.7. За едно подрачје ([2]) се познати статистичките податоци за регистрираните максимални брзини на ветрот за период од $n = 10$ години, измерени со анемометар. Тие се прикажани во табелата 1.7.1.

Табела 1.7.1. Податоци за регистрираните максимални брзини на ветрот

Година	1955	1956	1957	1958	1959	1960	1961	1962	1963	1964
v_{\max} , m/s	47,5	43,0	35,0	43,8	38,0	33,3	41,3	41,1	40,1	40,0

Да се пресмета (процени) максималната брзина $v_{20\%}$ на 5–годишниот ветар и максималната брзина и $v_{5\%}$ на 20–годишниот ветар за разгледуваното подрачје. Колкав ќе биде нормираниот притисок на ветрот за ова подрачје.

Решение:

Задачата ќе ја решиме на два начина: графички, со примена на веројатностна хартија, и аналитички. Ќе претпоставиме дека максималната брзина на ветрот што може да се јави во текот на една година претставува случајна величина што подлежи на нормалниот (Гаусов) закон за распределба, што е вообичаено кога се зборува за овој вид природни појави. Подоцна лесно може да се провери, на самата веројатностна хартија, дали оваа претпоставка е исполнета.

За таа цел регистрираните $n = 10$ податоци (во статистиката наречени примероци) ќе ги наредиме во една опаѓачка низа и во исто време ќе ги пресметаме соодветните веројатности p_i ($i = 1, n$), изразени во проценти, со помош на изразот 1.7.1.

$$p_i = \frac{i-0,5}{n} \cdot 100; \quad i = 1, 2, 3, \dots, n. (\%) \tag{1.7.1}$$

Вака организираниите податоци ги сместуваме во следната табела.

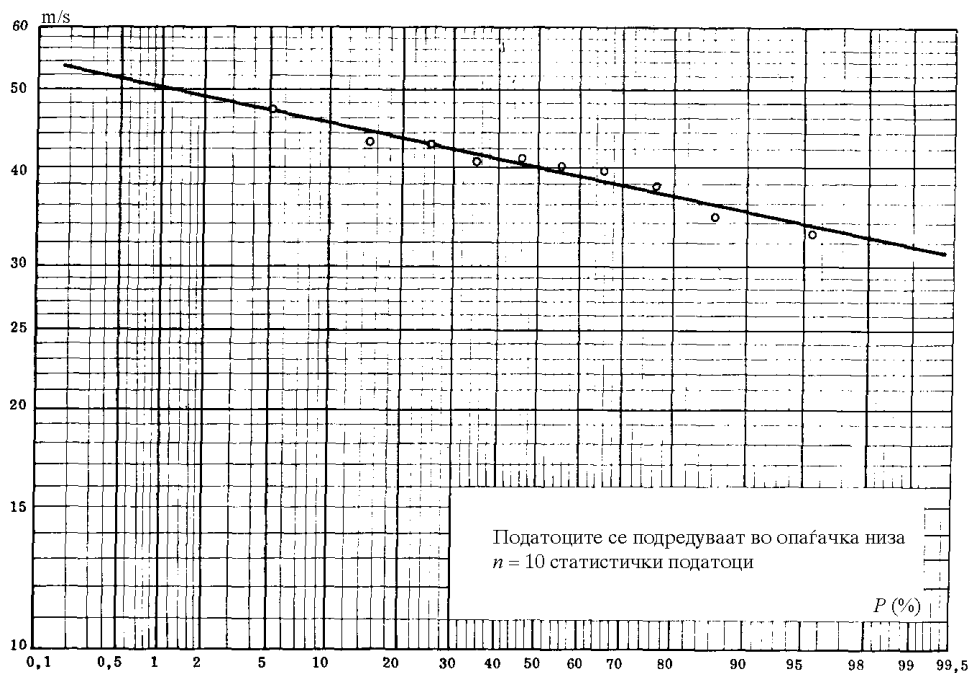
Табела 1.7.2. Кумулативна распределба на податоците за регистрираните максимални брзини на ветрот

v_{\max}	47,5	43,8	43,0	41,3	41,1	40,1	40,0	38,0	35,0	33,3
p_i (%)	5,0	15,0	25,0	35,0	45,0	55,0	65,0	75,0	85,0	95,0

Точките од табелата 1.7.2 ги нанесуваме на специјална, т.н. „веројатностната“, хартија. На апсцисата од оваа хартија, во скалата на Лаплас–Гаус-овиот (*Laplace–Gauss*) интеграл, се нанесува процентуалната веројатност p , додека на ординатите, во логаритамски размер, се нанесува максималната брзина на ветрот, изразена во m/s. На таквата хартија ги нанесуваме подредените примероци, т.е. точките од табелата 1.7.1. Потоа, низ така нанесените точки, провлекуваме права по принципот на „минимум квадрати“, т.е. се трудиме правата да ја поставиме така што сумата од квадратите на растојанијата од секоја точка до правата да биде најмала.

Резултатите од ваквата операција се прикажани на сликата 1.7.1. Од неа се гледа дека претпоставката во поглед на припадноста на разгледуваната случајна појава (максимална брзина на ветрот) на нормалниот закон на распределба е сосема оправдана бидејќи точките навистина сосема добро лежат на една права.

Значи, графичкиот метод на определување на параметрите на една случајна величина ни овозможува, меѓу другото, и проверка на поставената хипотеза за припадност на разгледуваната множество примероци на определен закон на веројатност.



Слика 1.7.1. Графички начин на определување на параметрите на една случајна величина (во конкретниот случај максимална брзина на ветрот).

Од дијаграмот прикажан на сликата 1.7.1. отчитуваме, на пример, дека на веројатноста $p = 20\%$ одговара максимална брзина на ветрот од 43,5 m/s.

Значи брзината на 5–годишниот ветар изнесува $v_{20\%} = 43,5$ m/s. На оваа брзина на ветрот одговара притисок на ветрот $P_V = 43,5^2/16 = 118,3$ daN/m². Нормираната вредност на притисокот на ветрот во овој случај ќе биде првиот поголем притисок од скалата на стандардизираниите сметкови притисоци на ветрот, дадени во табелата 1.5:

60, 75, 90, 110, 130 и 150 daN/m²,

т.е. вредноста $P_V = 130$ daN/m². Значи, доколку се усвои да се работи со 5–годишниот ветар (што е вообичаено за водовите со номинален напон $U_n \leq 110$ kV), механичкото димензионирање на надземните водови во тој регион ќе треба да го вршме со притисок на ветрот $P_V = 130$ daN/m².

Постапувајќи на аналоген начин, со отчитување од дијаграмот прикажана на сл. 1.2.1, за 20–годишниот ветар, којшто одговара на 5% веројатност за негово надминување, ќе одговара максимална брзина од $v_{5\%} = 47 \text{ m/s}$, на што соодветствува ветар со притисок од 138 daN/m^2 . Во овој случај нормираната вредност на притисокот на ветрот ќе изнесува 150 daN/m^2 . Водовите со напон $U_n = 380 \text{ kV}$ најчесто се димензионираат со дваесет-годишниот ветар.

Аналитички начин на решавање на проблемот.

Под претпоставка дека максималната брзина на ветрот подлежи на нормалниот закон за распределба со познато математичко очекување $v_{sr} = m_v$ и стандардна девијација σ_v , определени врз база на податоците од табелата 1.7.1, петгодишниот ветар со веројатност за надминување од 20%, $v_{20\%}$, ќе се добие според релацијата:

$$v_{20\%} = m_v + 0,842 \cdot \sigma_v,$$

додека 20–годишниот ветар, со веројатност на надминување од 5%, $v_{5\%}$, според релацијата:

$$v_{5\%} = m_v + 1,645 \cdot \sigma_v.$$

Во последните две релации, значи, со $m_v = M(v_{\max})$ е означена средната вредност, т.е. математичкото очекување на случајната величина v_{\max} , додека со σ_v е означена нејзината стандардна девијација. Овие две величини се проценуваат врз основа на регистрираните податоци за максималните брзини на ветрот $v_{\max,i}$ ($i = 1, 10$) (табела 1.7.1), со помош на следните формули:

$$m_v = M(v_{\max}) = \frac{\sum_i v_{\max,i}}{n} = \frac{v_{\max,1} + v_{\max,2} + \dots + v_{\max,10}}{10} = 40,31 \text{ m/s}, \text{ и}$$

$$\sigma_v = \sqrt{\frac{\sum_i (v_{\max,i} - m_v)^2}{n}} = \sqrt{\frac{(v_{\max,1} - m_v)^2 + (v_{\max,2} - m_v)^2 + \dots + (v_{\max,10} - m_v)^2}{10}},$$

$$\sigma_v = \sqrt{\frac{191,25}{10}} = 3,944 \text{ m/s}.$$

Според тоа, за максималната брзина на 5–годишниот ветар ќе добиеме:

$$v_{20\%} = 40,31 + 0,842 \cdot 3,944 = 43,63 \text{ m/s},$$

додека за максималната брзина на 5–годишниот ветар ќе добиеме:

$$v_{5\%} = 40,3 + 1,645 \cdot 3,944 = 46,8 \text{ m/s}.$$

Очигледно е дека постојат извесни, сосема мали, разлики во резултатите добиени на обата различни начина. Тоа се должи, во основа, на малиот број примероци ($n = 10$) од посматраната случајна појава и на точноста на графичкиот начин на определување на параметрите на распределбата.



Пример 1.8. Да се одредат притисокот на ветрот P_v , силата на ветрот F_v и аголот на отклон α за комбинираното јаже Al/C 95/15 mm² кога врз јагето дејствува ветар под прав агол, чија брзина изнесува $v = 40 \text{ m/s}$, за следните два случаја:

- a) јагето е без зимски додатен товар,

б) јажето е со зимски додатен товар кој изнесува $\Delta G = 1,0 \cdot g$, т.е $\Delta G = 0,664 \text{ daN/m}$ ($\delta = 1 \text{ cm}$, види задача 1.6, додека g е основниот зимски додатен товар)

Јажето ги има следните механички карактеристики: $G = 0,375 \text{ daN/m}$; $d = 13,6 \text{ mm}$; $A = 109,7 \text{ mm}^2$.

Решение:

Притисокот на ветрот P_v (daN/m^2) зависи од брзината на ветрот v [m/s] и се пресметува како:

$$P_v = v^2/16 = 40^2/16 = 100 \text{ daN/m}^2.$$

Ако претпоставиме дека ветрот дува нормално на трасата на далекуводот ($\varphi = 90^\circ$; $\sin \varphi = 1$), тогаш за силата на ветрот ќе имаме:

$$F_v = c \cdot P_v \cdot S.$$

каде што c е коефициент на аеродинамичко дејствување на ветрот ($c = 1,0$ за спроводници и заштитни јажиња и $c = 1,2$ за спроводници и заштитни јажиња со додатен товар), додека S е нападната површина, т.е. проекцијата на површината врз која дејствува ветрот.

Во случајот под а) нападната површината S^a врз која дејствува ветрот и силата F_v^a ќе бидат:

$$S^a = d \cdot L = (13,6 \cdot 10^{-3}) \cdot 1 = 13,6 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2;$$

$$F_v^a = c \cdot P_v \cdot S^a = 1 \cdot 100 \cdot 13,6 \cdot 10^{-3} = 1,36 \text{ daN/m},$$

додека во случајот под б) ќе имаме:

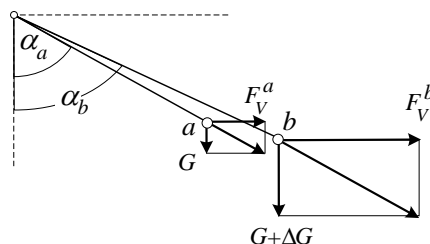
$$S^b = (d + 2\delta) \cdot 1 = (13,6 + 20) \cdot 10^{-3} \cdot 1 = 33,6 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2;$$

$$F_v^b = c \cdot P_v \cdot S^b = 1,2 \cdot 100 \cdot 33,6 \cdot 10^{-3} = 4,032 \text{ daN/m}.$$

Во согласност со подолу прикажаните слики, аголот на отклон α на јажето под дејство на ветрот во двата разгледувани случаи ќе биде:

$$\alpha_a = \arctg \frac{F_v^a}{G} = \arctg \frac{1,36}{0,375} = 74,6^\circ;$$

$$\alpha_b = \arctg \frac{F_v^b}{G + \Delta G} = \arctg \frac{1,36}{1,039} = 75,5^\circ.$$



Пример 2.1. Се посматра хоризонтален распон на еден далекувод со големина $a = 333 \text{ m}$. Провесот на синцирницата при температура $\theta_1 = 40^\circ\text{C}$ изнесува $f_{40} = 10,44 \text{ m}$. Спроводниците на далекуводот се комбинирани јажиња $\text{Al/C } 240/40 \text{ mm}^2$ чија сопствена специфична тежина изнесува $p = 3,426 \cdot 10^{-3} \text{ daN/m, mm}^2$. Потребно е да се пресмета:

- а) Напрегањето σ_{\min} во најниската и напрегањето σ_{\max} во највисоката точка од синцирницата;
- б) Колкав ќе биде провесот f_{-20} во состојбата при температура $\theta_2 = -20^\circ\text{C}$ кога напрегањето во јажето изнесува $\sigma_{-20} = 5,77 \text{ daN/mm}^2$ и е за 27% поголемо од напрегањето во претходната состојба.

Решение:

Напрегањето во јажето σ (или поточно речено хоризонталната компонента на напрегањето) го одредуваме со помош на познатиот провес f :

$$f = \frac{p \cdot a^2}{8\sigma} \Rightarrow \sigma = \frac{p \cdot a^2}{8f} = \frac{3,426 \cdot 10^{-3} \cdot 333^2}{8 \cdot 10,44} = 4,55 \frac{\text{daN}}{\text{mm}^2}.$$

а) Пресметка на напрегањата σ_{\min} и σ_{\max}

Напрегањето σ е минимално во најниската точка од синџирницата, т.е. во средината од распонот и тоа е еднакво на хоризонталната компонента σ , односно:

$$\sigma_{\min} = \sigma = 4,55 \text{ daN/mm}^2.$$

Максималното напрегање σ_{\max} се јавува во највисоката точка од синџирницата, односно во точката на обесување и изнесува:

$$\sigma_{\max} = \sigma + p \cdot f = 4,55 + 3,426 \cdot 10^{-3} \cdot 10,44 = 4,584 \text{ daN/mm}^2.$$

Од примерот можеме да заклучиме дека во нормални случаи (нормални распони и провеси) разликата меѓу напрегањата σ_{\min} и σ_{\max} е занемарливо мала, па затоа најчесто се смета дека напрегањето во било која точка од јажето е еднакво на хоризонталната компонента σ . Исклучок се единствено специјалните случаи (премини преку големи реки, долови, провалии и др.) каде што поради преголемите распони или поради преголемите зимски додатни товари се јавуваат и значителни провеси, така што разликата помеѓу σ_{\min} и σ_{\max} може да биде забележителна.

б) Пресметка на провесот f_{-20} при зголемено напрегање на затегање

Кога е јажето затегнато со сила (напрегање) која е за 27% поголема од претходната:

$$\sigma' = \sigma_{-20} = 1,27 \cdot \sigma_{40} = 1,27 \cdot 4,55 = 5,77 \text{ daN/mm}^2,$$

тогаш, соодветно на тоа, новиот провес $f' = f_{-20}$ ќе биде помал од претходниот:

$$f_{-20} = \frac{p \cdot a^2}{8 \cdot \sigma_{-20}} = \frac{3,426 \cdot 10^{-3} \cdot 333^2}{8 \cdot 5,77} = 8,23 \text{ m}.$$

Разликата меѓу минималното и максималното напрегање во овој случај ќе биде уште помала.



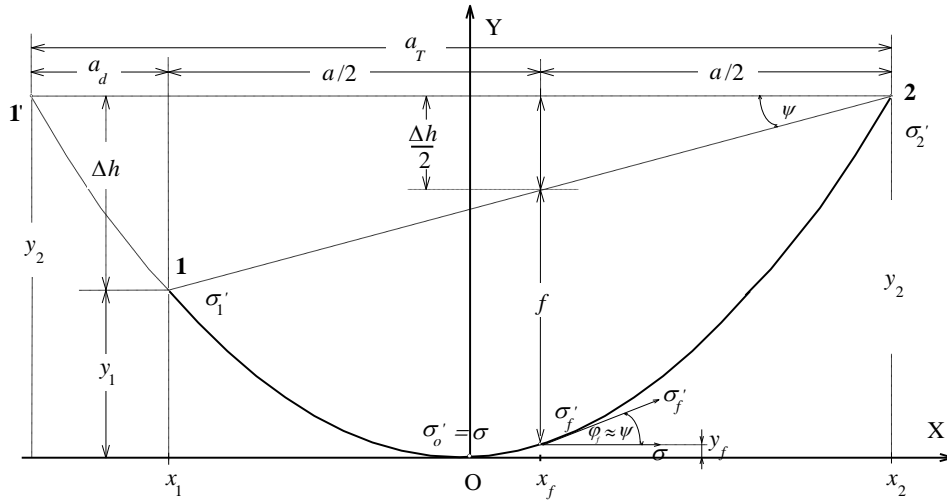
Пример 2.2. На сликата е прикажан кос распон за кој што е познато $a = 300 \text{ m}$ и $\Delta h = 52 \text{ m}$. Во разгледуваната ситуација, на спроводниците е нафатен ЗДТ така што специфичната тежина на спроводниците заедно со ЗДТ изнесува $\bar{p} = 12,94 \cdot 10^{-3} \text{ daN/m}$, mm^2 , а хоризонталната компонента на напрегањето изнесува $\bar{\sigma} = 14,26 \text{ daN/mm}^2$. Потребно е да се пресметаат:

- тоталниот распон a_T ;
- напрегањата σ'_1 и σ'_2 во точките на зацврстување “1” и “2”;
- провесот f како и напрегањето σ'_f во средината од распонот.

Решение:

Задачата ќе ја решиме најнапред со точните, а потоа и со приближните формули.

1) Точен начин на пресметување



Слика П.2.2.1. Синцирница во кос распон

Параметарот на синцирницата на спроводниците во дадената ситуација ќе биде:

$$\bar{c} = \frac{\bar{\sigma}}{\bar{p}} = \frac{14,26}{12,94 \cdot 10^{-3}} = 1102 \text{ m.}$$

Фиктивниот додаток a_d од тоталниот распон ќе го пресметаме на следниот начин:

$$\text{sh} \frac{a_d}{2\bar{c}} = \frac{\Delta h / 2\bar{c}}{\text{sh}(a / 2\bar{c})} = \frac{52 / 2204}{\text{sh}(300 / 2204)} = 0,1728 = \xi,$$

$$a_d = 2\bar{c} \cdot \text{Arsh}(\xi) = 2\bar{c} \cdot \ln(\xi + \sqrt{\xi^2 + 1}) = 379 \text{ m.}$$

Според тоа, тоталниот распон a_T ќе изнесува:

$$a_T = a + a_d = 300 + 379 = 679 \text{ m ,}$$

а провесот f_T во тоталниот распон ќе биде:

$$f_T = \bar{c} \cdot \left(\text{ch} \frac{a_T}{2\bar{c}} - 1 \right) = 52,71 \text{ m .}$$

Според тоа, ако координатниот почеток го поставиме во темето „O“ на синцирницата, имајќи ја предвид горната слика, ќе добиеме:

точка „1“: $x_1 = x_2 - a = 39,5 \text{ m}$; $y_1 = \bar{c} \cdot [\text{ch}(x_1 / \bar{c}) - 1] = 0,71 \text{ m}$; $\sigma'_1 = 14,27 \text{ daN/mm}^2$,

точка „2“: $x_2 = a_T / 2 = 339,5 \text{ m}$; $y_2 = f_T = 52,71 \text{ m}$; $\sigma'_2 = \sigma \cdot \text{ch}(a_T / 2\bar{c}) = 4,94 \text{ daN/mm}^2$

средина f : $x_f = a_T / 2 - a / 2 = 189,5 \text{ m}$;

$y_f = \bar{c} \cdot [\text{ch}(x_f / \bar{c}) - 1] = 16,33 \text{ m}$; $\sigma'_f = 14,47 \text{ daN/mm}^2$.

Провесот во средината од распонот ќе го добиеме со помош на сликата П.2.2.1, користејќи ја следната релација:

$$\Delta h / 2 + f + y_f = y_2 ;$$

$$f = y_2 - \Delta h / 2 - y_f = 52,71 - 16,33 - 26 = 10,38 \text{ m .}$$

2) Приближен начин на пресметување

Приближната вредност на фиктивниот додаток a_d ќе изнесува:

$$a_d = 2\bar{c} \cdot (\Delta h/a) = 2 \cdot 1102 \cdot 52/300 = 382 \text{ m}; \Rightarrow a_T = a + a_d = 682 \text{ m},$$

$$\cos \psi = \frac{a}{\sqrt{a^2 + \Delta h^2}} = \frac{300}{304,473} = 0,985;$$

$$f = \frac{\bar{p} \cdot a^2}{8\bar{c}} \cdot \frac{1}{\cos \psi} = \frac{a^2}{8\bar{c}} \cdot \frac{1}{\cos \psi} = \frac{300^2}{8 \cdot 1102} \cdot \frac{1}{0,985} = 10,36 \text{ m};$$

$$\sigma'_f \approx \frac{\bar{\sigma}}{\cos \psi} = \frac{14,26}{0,985} = 14,48 \text{ daN/mm}^2;$$

$$\sigma'_1 = \frac{\sigma}{\cos \psi} + \bar{p} \cdot (f - \Delta h/2) = 14,48 + 12,94 \cdot 10^{-3} \cdot (10,36 - 26) = 14,28 \text{ daN/mm}^2;$$

$$\sigma'_2 = \frac{\sigma}{\cos \psi} + \bar{p} \cdot (f + \Delta h/2) = 14,48 + 12,94 \cdot 10^{-3} \cdot (10,36 + 26) = 14,95 \text{ daN/mm}^2.$$

Ако ги споредиме приближните и точните резултати, ќе видиме дека разликите се незначителни. Затоа, во иднина, кога постојат услови за тоа (нормални распони, со големина до 400 m и не преголеми денивелации Δh), најчесто ваквите проблеми ќе ги решаваме со приближните формули.



Пример 2.3. Даден е кос распон со должина $a = 200 \text{ m}$ и висинска разлика $\Delta h = 25 \text{ m}$. Провесот на заштитното јаже во средината од распонот изнесува $f = 3,85 \text{ m}$. Јажето е изработено од челик Ѓ III и ги има следните карактеристики:

- номинален пресек 50 mm^2 ,
- вистински пресек $A = 49,48 \text{ mm}^2$,
- пречник на јажето $d = 9 \text{ mm}$.
- споствена специфична тежина на јажето $p = 7,8 \cdot 10^{-3} \text{ daN/m, mm}^2$.

Да се пресметаат напрегањата во долната и горната точка на зацврстување како и напрегањето во средината од распонот.

Решение:

Кога се работи за мали висински разлики и релативно мали распони, за решавање на ваквите проблеми, со задоволителна точност, се користат приближните формули според кои синцирницата се третира како парабола.

Хоризонталната компонента на напрегањето σ ќе ја одредиме со помош на релацијата:

$$f = \frac{p \cdot a^2}{8 \cdot \sigma} \cdot \frac{1}{\cos \psi} \Rightarrow \sigma = \frac{p \cdot a^2}{8 \cdot f} \cdot \frac{1}{\cos \psi}.$$

Понатаму имаме:

$$\cos \psi = \frac{a}{\sqrt{a^2 + \Delta h^2}} = \frac{300}{\sqrt{300^2 + 25^2}} = 0,992 ,$$

$$\sigma = \frac{1}{0,992} \cdot \frac{0,0078 \cdot 300^2}{8 \cdot 3,85} = 10,2 \frac{\text{daN}}{\text{mm}^2}$$

Параметарот на синцирницата во овој случај ќе изнесува:

$$c = \frac{\sigma}{p} = \frac{10,2}{7,8 \cdot 10^{-3}} = 1309,2 \text{ m} ,$$

а тоталниот распон:

$$a_T = a + a_d = a + 2c \cdot \frac{\Delta h}{a} = 200 + 2 \cdot 1309,2 \cdot \frac{25}{200} = 527,3 \text{ m}$$

Напрегањето σ'_f во средина од распонот ќе биде:

$$\sigma'_f = \frac{\sigma}{\cos \psi} = \frac{10,2}{0,992} = 10,28 \frac{\text{daN}}{\text{m} \cdot \text{mm}^2} .$$

Напрегањата σ'_1 и σ'_2 во долната односно горната точка на обесување ги добиваме со помош на релациите:

$$\sigma'_1 = \sigma'_f + p \cdot \left(f - \frac{\Delta h}{2} \right) = 10,28 + 7,8 \cdot 10^{-3} \cdot (3,85 - 12,5) = 10,212 \frac{\text{daN}}{\text{mm}^2} ,$$

$$\sigma'_2 = \sigma'_f + p \cdot \left(f + \frac{\Delta h}{2} \right) = 10,28 + 7,8 \cdot 10^{-3} \cdot (3,85 + 12,5) = 10,407 \frac{\text{daN}}{\text{mm}^2} .$$

■ ■ ■

Пример 2.4. Да се пресмета должината на синцирницата l и провесот f во средината од распонот на јажето Al/ Ć 240/40 mm² за распон $a = 1500$ m, со висинска разлика $\Delta h = 800$ m. Се посматра состојбата при $\theta = -5^\circ\text{C}$ кога на јажето се има нафатено зимски додатен товар со единечна тежина $\Delta G = 0,842$ daN/m ($\Delta p = \Delta G/A = 0,842/282,5 = 2,982 \cdot 10^{-3}$ daN/m, mm²) и кога хоризонталната компонента на напрегањето во јажето изнесува $\sigma = 10$ daN/mm². Сопствената тежина на јажето изнесува $p = 3,426 \cdot 10^{-3}$ daN/m, mm².

Решение:

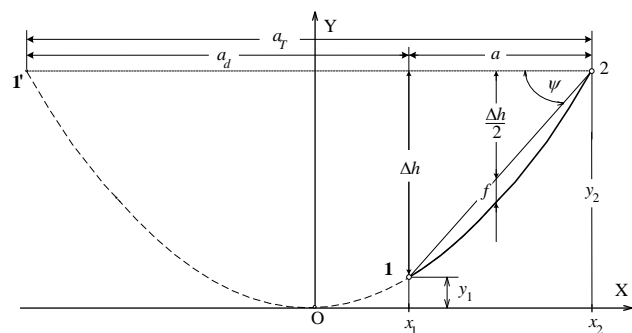
Со оглед на големината на распонот, задачата ќе ја решаваме со точните формули. Најнапред ги пресметуваме следните основни големини за јажето и синцирницата:

$$\bar{p} = p + \Delta p = 6,408 \cdot 10^{-3} \text{ daN/m, mm}^2 ;$$

$$\bar{c} = \frac{\bar{\sigma}}{\bar{p}} = \frac{10}{6,408 \cdot 10^{-3}} = 1561 \text{ m} .$$

$$\cos \psi = \frac{a}{\sqrt{a^2 + \Delta h^2}} = 0,882 .$$

За должината на јажето l во рас-



Слика П.2.4.1

понот важи следната релација:

$$l = \bar{c} \cdot \left(\operatorname{sh} \frac{x_2}{\bar{c}} - \operatorname{sh} \frac{x_1}{\bar{c}} \right),$$

каде што x_1 и x_2 се апсциси на точките на зацврстување „1“ и „2“ на синцирницата кога координатниот почеток е поставен во темето. За нивно одредување потребно е претходно да се пресмета вредноста на тоталниот распон a_T .

$$\operatorname{sh} \frac{a_d}{2\bar{c}} = \frac{(\Delta h / 2\bar{c})}{\operatorname{sh}(a / 2\bar{c})} = \frac{(800 / 2 \cdot 1561)}{\operatorname{sh}(1500 / 2 \cdot 1561)} = \xi = 0,5134 ;$$

$$a_d = 2\bar{c} \cdot \ln(\xi + \sqrt{\xi^2 + 1}) = 2 \cdot 1561 \cdot \ln(0,5134 + \sqrt{0,5134^2 + 1}) = 1540 \text{ m} ;$$

$$a_T = a + a_d = 1500 + 1540 = 3040 \text{ m} .$$

Бидејќи е $a_T/2 = 1520 \text{ m} > a$, заклучуваме дека темето на синцирницата е фиктивно. Откога ќе ја нацртаме синцирницата, ќе пристапиме кон пресметување на апсцисите x_1 и x_2 на точките на зацврстување:

$$x_2 = a_T/2 = 1520 \text{ m} ; y_2 = y_T = \bar{c} \cdot [\operatorname{ch}(a_T/2 \bar{c}) - 1] = 800,39 \text{ m},$$

$$x_1 = x_2 - a = 20 \text{ m} ; y_1 = y_2 - \Delta h = 0,39 \text{ m} .$$

Сега можеме да ги пресметаме и останатите барани големини – должината на синцирницата l и провесот f во средината од распонот (види пример 2.2):

$$l = 1561 \cdot \left(\operatorname{sh} \frac{1520}{1561} - \operatorname{sh} \frac{20}{1561} \right) = 1751 \text{ m};$$

$$x_f = x_1 + a/2 = 20 + 750 = 770 \text{ m};$$

$$y_f = \bar{c} \cdot \operatorname{ch}(x_f / \bar{c}) - \bar{c} = 193,8 \text{ m};$$

$$f = y_2 - \Delta h / 2 - y_f = 206,59 \text{ m}.$$



Пример 2.5. Да се состават монтажните таблици и да се нацртаат монтажните криви $\sigma = \sigma(\theta)$ и $f = f(\theta)$ за комбинираното јаже Al/Č 240/40 mm² ($\alpha = 18,9 \cdot 10^{-6} \text{ 1/}^\circ\text{C}$; $E = 7700 \text{ daN/mm}^2$; $p = 3,426 \cdot 10^{-3} \text{ daN/m,mm}^2$; $d = 21,9 \text{ mm}$; $A = 282,5 \text{ mm}^2$) за распон $a = 200 \text{ m}$. Максималното работно напрегање изнесува $\sigma_M = 8 \text{ daN/mm}^2$, додека факторот на НЗДТ изнесува $k_n = 1,0$ ($\Delta G = 1,0 \cdot g = 0,18 \cdot \sqrt{d} / A = 2,982 \cdot 10^{-3} \text{ daN/m,mm}^2$).

За почетна состојба да се усвои првата основна состојба, дефинирана со следните параметри: $\theta_0 = -5^\circ\text{C}$; $\sigma_0 = \bar{\sigma}_{-5} = \sigma_M = 8 \text{ daN/mm}^2$; $p_0 = \bar{p} = p + \Delta p = p + 1,0 \cdot g / A$ (НЗДТ)

Решение:

Монтажните табели (МТ) и монтажните криви $\sigma(\theta)$ и $f(\theta)$ се користат при монтажата на спроводниците/јажињата кај надземните водови, Од нив се отчитува со колкаво напрегање σ ќе треба да се затегаат јажињата, односно колкав треба да биде провесот f при монтажата на јажето за секоја амбиентна температура на која се врши монтажата.

Формирањето на МТ се врши со повеќекратно решавање на равенката на состојбата (РС). Притоа се тргнува од една почетна состојба (состојба со познати параметри

p_0 , σ_0 и θ_0) и со помош на РС се пресметуваат најнапред напрегањата σ , а потоа и провесите f , за разни температури на амбиентот во температурниот интервал од -20 до $+40^\circ\text{C}$, обично со чекор 10°C .

Почетната, односно позната е состојбата кај која што се јавува најголемото напрегање. Тоа е најчесто состојбата при $-5^\circ\text{C} + \text{НЗДТ}$ (случај кога е $a > a_k$), макар што понекогаш може да се случи тоа да биде состојбата при минималната температура -20°C ($a < a_k$). Според тоа, во првиот случај имаме:

- 1) $a > a_k$; $\theta_0 = -5^\circ\text{C}$; $p_0 = p + \Delta p$; $\sigma_0 = \sigma_M$ и
- 2) $a < a_k$; $\theta_0 = -20^\circ\text{C}$; $p_0 = p$; $\sigma_0 = \sigma_M$.

Притоа, со σ_M е означено усвоеното максимално работно напрегање за кое се проектира разгледуваниот далекувод.

Врз основа на пресметаните монтажни табели може да се нацртаат графиците на зависностите $\sigma = \sigma(\theta)$ и $f = f(\theta)$ кои, пак, се нарекуваат *монтажни криви*. Од нив може да се отчитаат вредностите на напрегањата и провесите што не се опфатени со монтажните табели.

Во конкретниот случај бидејќи критичниот распон изнесува $a_k = 121,9 \text{ m} < a$ (види прилог П2), за параметрите на почетната состојба, означена со индекс „0“, ќе имаме:

$$\begin{aligned} \theta_0 &= -5^\circ\text{C}; \\ p_0 &= \bar{p} = p + \Delta p = (3,426 + 2,982) \cdot 10^{-3} = 6,408 \cdot 10^{-3} \text{ daN/m, mm}^2 \text{ и} \\ \sigma_0 &= \sigma_M = 8 \text{ daN/mm}^2. \end{aligned}$$

За секоја друга состојба, специфичното оптоварување ќе биде $p = 3,426 \cdot 10^{-3} \text{ daN/m, mm}^2$, додека зависноста меѓу напрегањето σ од температурата θ ќе ја одредуваме со помош на равенката на состојба:

$$\sigma + m = (n / \sigma)^2,$$

каде што е:

$$\begin{aligned} m &= \frac{p_o^2 \cdot a^2}{24 \sigma_o^2} \cdot E + \alpha \cdot E \cdot (\theta - \theta_o) - \sigma_o; \\ n &= p \cdot a \cdot \sqrt{\frac{E}{24}}. \end{aligned}$$

Во нашиот случај ќе имаме:

$$\begin{aligned} n &= 3,426 \cdot 10^{-3} \cdot 200 \cdot \sqrt{7700/24} = 12,273 = \text{const}; \\ m &= \frac{6,408^2 \cdot 10^{-6} \cdot 200^2}{24 \cdot 8^2} \cdot 7700 + 18,9 \cdot 10^{-6} \cdot 7700 \cdot (\theta + 5) - 8; \text{ или:} \\ m &= 0,14553 \cdot \theta + 0,96153 = m(\theta). \end{aligned}$$

Формирањето на МТ ја започнуваме со пресметувањето на вредноста на напрегањето σ за минималната температура $\theta = -20^\circ\text{C}$. За неа имаме:

$$m = 0,96153 + 0,14553 \cdot (\theta + 5) = 0,96153 + 0,14553 \cdot (-15) = -1,949; \quad n = 12,273.$$

Почетното решение, според релацијата (6.95б), ќе биде:

$$\sigma_p = n^{(2/3)} - m/3 = 5,32 + 0,65 = 5,97 \text{ daN/mm}^2.$$

Сега можеме со итеративна постапка да го утожнуваме почетното решение. Ќе ја примениме Њутоновата итеративна постапка според која уточнетото решение $\sigma_{(k+1)}$ во

$(k+1)$ -та итерација се пресметува врз основа на решението $\sigma_{(k)}$, добиено во претходната, k -та итерација, со помош на следниот алгоритам:

$$\sigma_{(k+1)} = \sigma_{(k)} - \frac{f(\sigma_{(k)})}{f'(\sigma_{(k)})} = \sigma_{(k)} - \frac{\sigma_{(k)} + m - n^2 / \sigma_{(k)}^2}{1 + 2n^2 / \sigma_{(k)}^3}; \quad k=0,1,2, \dots$$

На тој начин добиваме:

$$\sigma_{(0)} = \sigma_p = 5,97;$$

$$\sigma_{(1)} = 5,97 - \frac{5,97 - 1,949 - 12,273^2 / 5,97^2}{1 + 2 \cdot 12,273^2 / 5,97^3} = 5,97 - \frac{-0,20523}{2,41582} = 6,055.$$

Понатаму имаме:

$$\sigma_{(2)} = 6,055 - \frac{-0,002404}{2,35703} = 6,056;$$

$$\sigma_{(3)} = 6,056 - \frac{-0,000048}{2,35636} = 6,05602 \approx 6,056;$$

итн.

Бидејќи разликата помеѓу вредностите $\sigma_{(2)}$ и $\sigma_{(3)}$, добиени во последните две итерации е по аполутен износ доволно мала, итеративниот процес ќе го прекинеме и решението добиено во последната итерација ќе го прогласиме за конечно. Значи, може да се усвои:

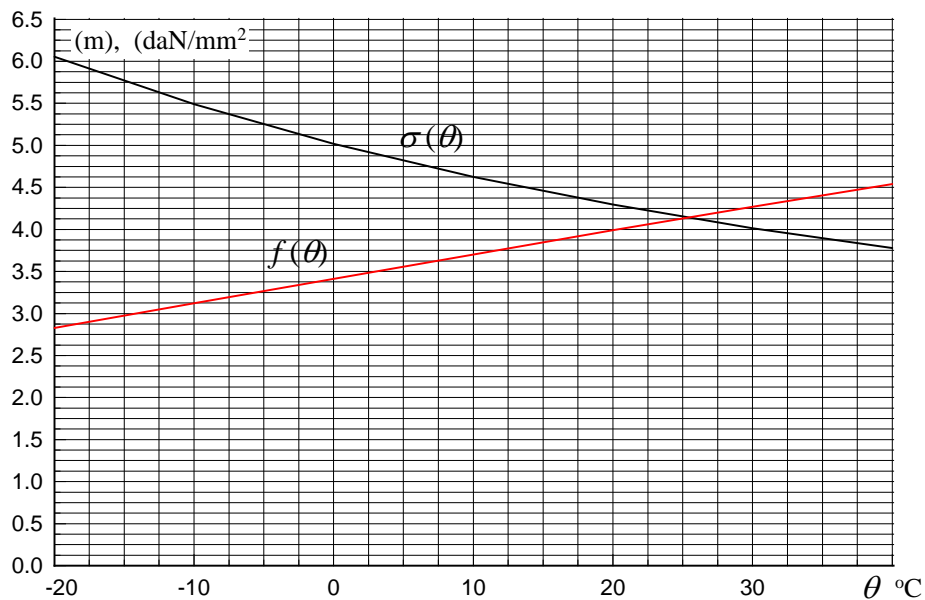
$$\sigma_{-20} = 6,056 \text{ daN/mm}^2.$$

На оваа состојба и одговара провес f_{-20} :

$$f_{-20} = \frac{p \cdot a^2}{8 \cdot \sigma_{-20}} = \frac{3,426 \cdot 10^{-3} \cdot 200^2}{8 \cdot 6,056} = 2,83 \text{ m}.$$

па на тој начин ја добивме првата точка од монтажната табела.

На аналоген начин постапуваме и за преостанатите вредности на температурата θ , со што ја формираме монтажната таблица за разгледуваното јаже. Резултатите од овие пресметки се прикажани во табелата 2.5.1. Врз основа на МТ се нацртани дијаграмите, $\sigma(\theta)$ и $f(\theta)$, т.е. монтажните криви за ова јаже. Тие се прикажани на сликата 2.5.1.



Слика 2.51. Монтажни криви, добиени врз основа на табелата 2.5.1.

Табела 2.5.1. Монтажна таблица за јажето Al/Ѓ 240/40 mm², за распон $a = 200$ m и максимално работно напрегање $\sigma_M = 8$ daN/mm²

θ [°C]	-20	-10	0	10	20	30	40
σ [daN/mm ²]	6,056	5,491	5,019	4,625	4,295	4,015	3,777
f [m]	2,83	3,12	3,41	3,70	3,99	4,27	4,54

■ ■ ■

Задача 2.6. Да се состават монтажни табелици за комбинираното јаже Al/Ѓ 240/40 mm² во распон $a = 350$ m. За почетна состојба да се усвои:

$$\theta_0 = -5^\circ\text{C}; \quad \sigma_0 = \sigma_M = 8 \text{ daN/mm}^2; \quad p_0 = \bar{p} = p + 1,0 \cdot g.$$

Решение:

$$m = 0,14553 \cdot \theta - 0,064; \quad n = 21,478 = \text{const.}$$

Табела П.2.6. Монтажни табелици за јажето Al/Ѓ 240/40 mm², за распон $a = 350$ m и напрегање $\sigma_M = 8$ daN/mm²

θ [°C]	-20	-10	0	10	20	30	40	-5+нзДТ
σ [daN/mm ²]	4,820	4,669	4,531	4,402	4,284	4,174	4,071	8,000
f [m]	10,88	11,24	11,58	11,92	12,25	12,57	12,89	12,77

■ ■ ■

Задача 2.7. Да се состават монтажни таблици за јагето Fe III 50 mm² во распон $a = 330,8$ m. Максималното работно напрегање на јагето изнесува $\sigma_{Mz} = 26$ daN/mm², а факторот на НЗДТ $k_n=1,0$.

Решение:

Табела П.2.7. Монтажни таблици за јагето Fe III 50 mm², за распон $a = 330,8$ m и напрегање $\sigma_{Mz} = 26$ daN/mm²

θ [°C]	-20	-10	0	10	20	30	40	-5+НЗДТ
σ [daN/mm ²]	13,6	13,2	12,8	12,5	12,2	11,9	11,6	26
f [m]	7,86	8,09	8,31	8,53	8,76	8,97	9,19	9,84

■ ■ ■

Пример 2.8. Напрегањето σ на заштитното јаже \check{C} II 50 mm² во еден кос распон со параметри $a=200$ m, $\Delta h= 25$ m (види пример 2.3) изнесува $\sigma_z = 10$ daN/mm², а соодветниот провес 3,85 m. Притоа, температурата на јагето изнесува $\theta = 20^\circ\text{C}$. Потребно е да се одреди:

- Провесот \bar{f} како и напрегањата σ_1 , σ_2 и σ_f при $-5^\circ\text{C}+\text{НЗДТ}$, ако факторот на НЗДТ изнесува $k_n = 1,0$. Дали напрегањето во овој случај ја надминува вредноста на нормалното дозволено напрегање, која за даденото јаже изнесува $\sigma_{nd} = 26$ daN/mm²;
- Провесот \bar{f} како и напрегањата σ_1 , σ_2 и σ_f при $-5^\circ\text{C}+\text{ИЗДТ}$, ако факторот на ИЗДТ изнесува $k_i = 2,0$. Дали напрегањето во овој случај ја надминува вредноста на исклучителното дозволено напрегање за ова јаже $\sigma_{id} = 49,5$ daN/mm².

Решение:

а) Пресметка на состојбата при $-5^\circ\text{C} + \text{НЗДТ}$

Специфичното оптоварување Δp поради зимскиот додатен товар, во овој случај, ќе изнесува:

$$\Delta p = 0,18 \cdot \sqrt{d} / A = 0,18 \cdot 9/49,48 = 10,9 \cdot 10^{-3} \text{ daN/m, mm}^2$$

и следователно:

$$\bar{p} = p + \Delta p = (7,8+10,9)10^{-3} = 18,7 \cdot 10^{-3} \text{ daN/m, mm}^2.$$

Во овој случај, како почетна состојба ќе ни послужи состојбата при $\theta = 20^\circ\text{C}$ чии параметри веќе ни се познати. Значи:

$$\theta_o = 20^\circ\text{C}; \sigma_o = 10 \text{ daN/mm}^2; p_o = p = 7,8 \cdot 10^{-3} \text{ daN/m, mm}^2.$$

Непозната состојба е состојбата при -5°C со НЗДТ.

Бидејќи се работи за кос распон, во изразите за m и n од равенката на состојба, наместо модулот E , ќе треба да фигурира производот $E \cdot \cos \psi$:

$$E \cdot \cos \psi = 18000 \cdot 0,992 = 17856 \text{ daN/mm}^2,$$

$$n = 18,7 \cdot 10^{-3} \cdot 200 \cdot \sqrt{\frac{17856}{24}} = 102 = \text{const.};$$

$$m = \frac{7,8^2 \cdot 10^{-6} \cdot 200^2}{24 \cdot 10^2} \cdot 17856 + 11 \cdot 10^{-6} \cdot 17856 \cdot (-5 - 20) - 10 = 3.195.$$

Бараното напрегање $\bar{\sigma}_{-5}$ го добиваме како решение на равенката:

$$\bar{\sigma}_{-5} + 3,195 = (102/\bar{\sigma}_{-5})^2, \Rightarrow \bar{\sigma}_{-5} = 20,82 \text{ daN/mm}^2.$$

Значи, напрегањето (се мисли на хоризонталната компонента) при -5°C + нормален зимски додатен товар е $\bar{\sigma}_{-5} = 20,82 < 26 \text{ daN/mm}^2$.

Провесот \bar{f}_{-5} и напрегањето σ'_f , во средината од распонот, ќе изнесуваат:

$$\bar{f}_{-5} = 18,7 \cdot 10^{-3} \cdot 200^2 / 8 \cdot 20,82 \cdot 0,992 = 4,53 \text{ m},$$

$$\sigma'_f = \bar{\sigma}_{-5} / \cos \psi = 20,82 / 0,992 = 20,99 \text{ daN/mm}^2,$$

и понатаму:

$$\sigma'_1 = \sigma'_f + \bar{p} \cdot (\bar{f}_{-5} - \Delta h / 2) = 20,99 + 18,7 \cdot 10^{-3} \cdot (4,51 - 12,5) = 20,84 \text{ daN/mm}^2,$$

$$\sigma'_2 = \sigma'_f + \bar{p} \cdot (\bar{f}_{-5} + \Delta h / 2) = 20,99 + 18,7 \cdot 10^{-3} \cdot (4,51 + 12,5) = 21,31 \text{ daN/mm}^2.$$

б) Пресметка на состојбата при -5°C + ИЗДТ

б) Во случајот кога зимскиот додатен товар ја има својата исклучителна вредност $\Delta \bar{p} = 2,0 \cdot \Delta p$, ќе биде:

$$\Delta \bar{p} = 2,0 \cdot \Delta p = 2,0 \cdot 0,18 \cdot \sqrt{d} / A = 2,0 \cdot 10,9 \cdot 10^{-3} = 21,8 \text{ daN/m, mm}^2,$$

а вкупната тежина на замрзнатиот спроводник \bar{p} ќе изнесува:

$$\bar{p} = p + \Delta \bar{p} = (7,8 + 21,8) \cdot 10^{-3} = 29,6 \cdot 10^{-3} \text{ daN/m, mm}^2.$$

За почетна состојба ја усвојуваме состојбата при -5°C + НЗДТ:

$$\theta_0 = -5^\circ\text{C}; \sigma_0 = 20,82 \text{ daN/mm}^2; p_0 = \bar{p} = 18,7 \cdot 10^{-3} \text{ daN/m, mm}^2,$$

Параметрите на непознатата состојба сега се:

$$p = \bar{p} = 29,6 \cdot 10^{-3} \text{ daN/m, mm}^2; \theta = -5^\circ\text{C}; \sigma = \bar{\sigma}_{-5} = ?.$$

Сега можеме да преминеме на решавање на равенката на состојбата:

$$n = 29,6 \cdot 10^{-3} \cdot 200 \cdot \sqrt{17856 / 24} = 161,48;$$

$$m = \frac{18,72^2 \cdot 10^{-6} \cdot 200^2}{24 \cdot 20,82^2} \cdot 17856 + 11 \cdot 10^{-6} \cdot 17856 \cdot (-5 + 5) - 20,82 = 3,239 \text{ daN/mm}^2.$$

$$\bar{\sigma}_{-5} + 3,239 = (161,48 / \bar{\sigma}_{-5})^2 \Rightarrow \bar{\sigma}_{-5} = 28,61 \frac{\text{daN}}{\text{mm}^2}.$$

Знаејќи ја хоризонталната компонента на напрегањето $\bar{\sigma}_{-5}$, големините \bar{f}_{-5} , σ'_f , σ'_1 и σ'_2 , можат лесно да се пресметаат со веќе познатите релации. За овој случај тие ќе изнесуваат:

$$\bar{f}_{-5} = 29,6 \cdot 10^{-3} \cdot 200^2 / (8 \cdot 28,61 \cdot 0,992) = 5,21 \text{ m}, \quad \sigma'_f = 28,61 / 0,992 = 28,84 \text{ daN/mm}^2$$

$$\sigma'_1 = 28,84 + 29,6 \cdot 10^{-3} (5,19 - 12,5) = 28,62 \text{ daN/mm}^2 < 49,5 \text{ daN/mm}^2,$$

$$\sigma'_2 = 28,84 + 29,6 \cdot 10^{-3} (5,19 + 12,5) = 29,36 \text{ daN/mm}^2 < 49,5 \text{ daN/mm}^2.$$



Пример 2.9. Комбинираното јаже Al/Č 240/40 mm² е затегнато во кос распон со параметри $a = 300$ m и $\Delta h = 50$ m. Напрегањето во јажето при температурата $\theta = 20^\circ\text{C}$ изнесува $\sigma_{20} = 3$ daN/mm². Да се одреди обликот на синцирницата т.е. координатите на точките на обесување, за состојбата $\theta = -5^\circ\text{C} + \text{ЗДТ}$. Зимскиот додатен товар ЗДТ се состои од обвивка од мраз со дебелина $\delta = 1$ cm и специфична тежина $p = 0,9$ daN/dm³.

Податоци за јажето: $d = 21,9$ cm; $A = 282,5$ mm²; $p = 3,426 \cdot 10^{-3}$ daN/m, mm²;
 $E = 7700$ daN/mm²; $\alpha = 18,9 \cdot 10^{-6}$ 1/°C.

Решение:

Тежината по единица должина на зимскиот додатен товар ΔG нафатен на јажето со додатниот товар p ќе ја пресметаме со следната релација (види пример 1.6):

$$\Delta G = p \cdot V;$$

каде што V е волуменот на нафатениот мраз врз парче спроводник со должина $L = 1$ m:

$$V = \pi \cdot L \cdot \delta \cdot (d + \delta) = 3,14159 \cdot 100 \cdot 1 \cdot (2,19 + 1) = 1002 \text{ cm}^3 = 1,002 \text{ dm}^3.$$

Понатаму имаме:

$$\Delta G = p \cdot V = 0,9 \cdot 1,002 = 0,902 \text{ daN/m};$$

$$\Delta p = \Delta G / A = 0,902 / 282,5 = 3,193 \cdot 10^{-3} \text{ daN/m, mm}^2;$$

$$\bar{p} = p + \Delta p = (3,426 + 3,193) \cdot 10^{-3} = 6,619 \cdot 10^{-3} \text{ daN/m, mm}^2.$$

До вредноста на хоризонталната компонента на напрегањето $\bar{\sigma}_{-5}$ при $-5^\circ\text{C} + \text{ЗДТ}$ ќе дојдеме со помош на равенката на состојба. Параметрите на почетната (познатата) состојба се:

$$\theta_0 = 20^\circ\text{C}; \quad \sigma_0 = 3 \text{ daN/mm}^2; \quad p_0 = p = 3,426 \cdot 10^{-3} \text{ daN/m, mm}^2;$$

$$\cos \psi = \cos(\arctg(\Delta h/a)) = 0,986; \quad E \cdot \cos \psi = 7592,2 \text{ daN/mm}^2;$$

$$n = 6,619 \cdot 10^{-3} \cdot 300 \cdot \sqrt{7592,2/24} = 35,317;$$

$$m = \frac{3,426^2 \cdot 10^{-6} \cdot 300^2}{24 \cdot 3^2} \cdot 7592,2 + 18,9 \cdot 10^{-6} \cdot 592,2 \cdot (-5 - 20) - 3 = 30,5;$$

$$\bar{\sigma}_{-5} = 5,854 \frac{\text{daN}}{\text{mm}^2}; \quad \bar{c}_{-5} = \frac{\bar{\sigma}_{-5}}{\bar{p}_{-5}} = 884,4 \text{ m}$$

За да можеме да ги одредиме координатите на точките на обесување во оваа состојба, треба претходно да го пресметаме тоталниот распон a_T и да го сместиме координатниот почеток во темето на синцирницата:

$$a_d = 2\bar{c}_{-5} \cdot \Delta h/a = 2 \cdot 884,4 \cdot 50/300 = 294,8 \text{ m}; \quad a_T = a + a_d = 594,8 \text{ m};$$

$$x_2 = a_T/2 = 297,4 \text{ m}; \quad x_1 = x_2 - a = -2,6 \text{ m};$$

$$y_1 = \frac{x_1^2}{2c_{-5}} \approx 0; \quad y_2 = \frac{x_2^2}{2c_{-5}} \approx 50 \text{ m, (i l i } y_2 = y_1 + \Delta h = 50 \text{ m)}.$$



Пример 2.10. На сликата 2.10.1 е прикажан кос распон со должина $a = 150$ m и височинска разлика $\Delta h = 9,6$ m. Разгледуваниот распон претставува дел од едно затезно поле. Спроводниците во распонот се комбинирани јажиња Al/Џ 240/40 mm² ($p = 3,426 \cdot 10^{-3}$ daN/m, mm²). Напрегањето во спроводниците σ зависи од температурата θ на околината. За овој случај, таа зависност е дадена во табеларна форма (табела 2.10).

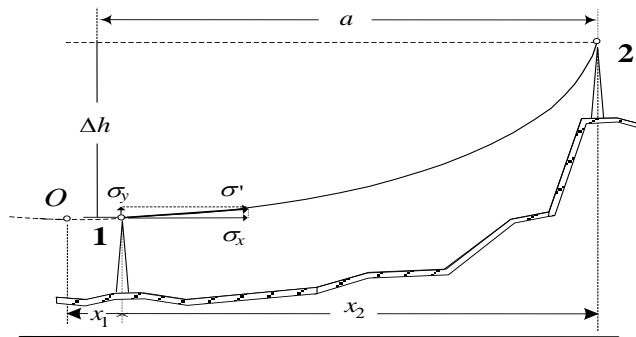
Табела 2.10. Зависност на напрегањето σ од температурата θ

θ (°C)	-20	-10	0	10	20	30	40	50	60	70	80
σ (daN/mm ²)	5,06	4,84	4,68	4,51	4,35	4,21	4,07	3,94	3,82	3,71	3,60

Потребно е да се одреди следното:

- При која температура на спроводниците θ_1 , силата на затегање при понискиот столб ќе има само хоризонтална компонента ;
- Колкаво ќе биде напрегањето σ_1 и неговите компоненти σ_{1x} и σ_{1y} при истиот столб за температура $\theta_2 = -20^\circ\text{C}$;
- Каков ќе биде обликот на синџирницата за температура $\theta_3 = 80^\circ\text{C}$.

Решение :



Слика 2.10. Приказ на разгледуваниот кос распон

- Состојба при температурата θ_1 кога силата на затегање при понискиот столб има само хоризонтална компонента

Силата на затегање при понискиот столб ќе има само хоризонтална компонента ако темето на синџирницата се наоѓа на местото на столбот, односно ако е:

$$a_d = a = 150 \text{ m} .$$

Од последниот услов добиваме:

$$a_d = 2c \cdot \frac{\Delta h}{a} \equiv a \Rightarrow c = \frac{a^2}{2\Delta h} = 1171,88 \text{ m} ;$$

$$\sigma = p \cdot c = 3,426 \cdot 10^{-3} \cdot 1171,88 = 4,014 \frac{\text{daN}}{\text{mm}^2} .$$

Понатаму, со помош на табелата 2.10 применувајќи ја постапката на линеарна интерполација, можеме да ја добиеме температурата θ_1 при која настанува овој случај:

$$\theta_1 = 40 + 10 \cdot \frac{4,070 - 4,014}{4,07 - 3,94} = 44,3^\circ\text{C}.$$

б) Пресметка на состојбата при температурата $\theta_2 = -20^\circ\text{C}$

Од табелата П.2.10.1 го отчитуваме напрегањето σ_{-20} при температура $\theta_2 = -20^\circ\text{C}$:

$$\sigma_{-20} = 5,06 \text{ daN} / \text{mm}^2 .$$

Понатаму имаме:

$$c_{-20} = \sigma_{-20}/p = 5,06/3,426 \cdot 10^{-3} = 1476,9 \text{ m} ;$$

$$a_d = 2 \cdot 1476,9 \cdot 9,6/150 = 189,0 \text{ m};$$

$$a_T = 150 + 189 = 339 \text{ m}; \quad a_T/2 = 169,5 \text{ m}.$$

Ако координатниот почеток од системот ХОУ го поставиме во темето на синцирницата, за координатите на точките на зацврстување „1“ и „2“ ќе ги добиеме следните вредности:

$$x_2 = a_T / 2 = 169,5 \text{ m}; \quad y_2 = c_{-20} \cdot \left(\text{ch} \frac{x_2}{c_{-20}} - 1 \right) = 9,73 \text{ m};$$

$$x_1 = x_2 - a = 19,5 \text{ m}; \quad y_1 = c_{-20} \cdot \left(\text{ch} \frac{x_1}{c_{-20}} - 1 \right) = 0,13 \text{ m}$$

Бидејќи темето на синцирницата при оваа температура е фиктивно ($a_T / 2 > a$) резултантното напрегање σ'_1 при понискиот столб ќе има насока како што е тоа прикажано на сликата 2.10, односно неговата вертикална компонента σ_{1y} ќе биде со насока нагоре. Како што утврдивме во претходниот дел од задачата (случај “а”), ваква ситуација ќе имаме за секоја температура $\theta < \theta_1 = 44,3^\circ\text{C}$.

Хоризонталната и вертикалната компонента на напрегањето при понискиот столб ќе бидат:

$$\sigma_{1x} = \sigma = 5,06 \text{ daN/mm}^2 ; \quad \sigma_{1y} = \sigma \cdot \text{sh} (x_1/c) = 5,06 \cdot 19,5/1476,9 = 0,0669 \text{ daN/mm}^2$$

Резултантното напрегање при понискиот столб ќе биде:

$$\sigma'_1 = \sqrt{\sigma_{1x}^2 + \sigma_{1y}^2} = \sqrt{5,06^2 + 0,0669^2} = 5,0604 \text{ daN/mm}^2 .$$

в) Пресметка на состојбата при температурата $\theta_3 = 80^\circ\text{C}$

При температура $\theta = \theta_3 = 80^\circ\text{C}$ напрегањето во спроводниците ќе биде:

$$\sigma_{80} = 3,6 \text{ daN} / \text{mm}^2.$$

Понатаму следи:

$$c_{80} = \frac{\sigma_{80}}{p} = \frac{3,6 \cdot 10^3}{3,426} = 1050,8 \text{ m}.$$

Конечно:

$$a_d = 2c_{80} \cdot \Delta h/a = 134,5 \text{ m};$$

$$a_T = 150 + 134,5 = 284,5 \text{ m};$$

$$a_T/2 = 142,25 \text{ m} .$$

Повторно координатниот почеток го поставиме во темето на синцирницата и ќе пристапиме кон определување на координатите на точките на зацврстување „1“ и „2“, на сосема ист начин како и во претходниот случај б). На тој начин ќе добиеме:

$$x_1 = 7,75 \text{ m}; \quad y_1 = 0,029 \text{ m};$$

$$x_2 = 142,25 \text{ m}; \quad y_2 = 9,628 \text{ m}.$$

Произлегува дека е $a_T/2 < a$, од каде што заклучуваме дека темето на синцирницата се наоѓа во самиот распон, десно од понискиот столб на растојание $x_1 = 7,75 \text{ m}$.



Пример 2.11. Да се состават монтажните таблици за заштитното јаже \check{C} II 95 mm^2 за распон $a = 300 \text{ m}$. За максимално работно напрегање на јажето е усвоена вредноста $\sigma_M = 19,5 \text{ daN/mm}^2$ (што претставува 75% од вредноста $\sigma_{nd} = 26 \text{ daN/mm}^2$ на нормалното дозволено напрегање за ова јаже), а за нормален зимски додатен товар вредноста ΔG_n е од $1,0 \cdot g \cdot (k_n = 1,0)$. Потребно е да се определи и следното:

- а) максималниот провес на јажето f_{\max} ;
- б) напрегањето σ_{-20V} и аголот на отклон на јажето α при $\theta = -20^\circ\text{C}$ и истовремено дејствување на ветар чија максимална брзина изнесува $v = 120 \text{ km/h} = 33,3 \text{ m/s}$;
- в) аголот на отклон $\alpha_{70\%}$ во случајот кога притисокот на ветрот изнесува 70% од вредноста што соодветствува на максималната брзина на ветрот.

Податоци за јажето: $(A = 93,27 \text{ mm}^2; d = 10,5 \text{ mm}; p = 7,8 \cdot 10^{-3} \text{ daN/m, mm}^2; \bar{p} = 13,93 \cdot 10^{-3} \text{ daN/m, mm}^2; E = 17500 \text{ daN/mm}^2; \alpha = 11 \cdot 10^{-6} \text{ 1/}^\circ\text{C}$.

Решение:

За да ги составиме монтажните табели за јажето ќе треба најнапред да ги одредиме параметрите $(p_0, \sigma_0, \theta_0)$ на почетната (критична) состојба, а за тоа ни е потребно да го одредиме критичниот распон a_k :

$$a_k = \sigma_M \cdot \sqrt{\frac{360 \cdot \alpha}{\frac{-2}{p} - p^2}} = 19,5 \cdot \sqrt{\frac{360 \cdot 11 \cdot 10^{-6}}{(11,93^2 - 7,8^2) \cdot 10^{-6}}} = 106,32 \text{ m}.$$

Бидејќи распонот $a = 300 \text{ m}$ е поголем од критичниот a_k , почетна ќе биде состојбата при $-5^\circ\text{C} + \text{НЗДТ}$, т.е: $\theta_0 = -5^\circ\text{C}$; $\sigma_0 = \sigma_M = 19,5 \text{ daN/mm}^2$, $p_0 = \bar{p} = 13,93 \cdot 10^{-3} \text{ daN/m, mm}^2$.

Монтажните табели ги формираме со помош на равенката на состојбата. Во случајов ќе имаме:

$$n = 7,8 \cdot 10^{-3} \cdot 300 \cdot \sqrt{17500/24} = 63,187 = \text{const}.$$

$$m = \frac{13,93^2 \cdot 10^{-6} \cdot 300^2}{24 \cdot 19,5^2} \cdot 17500 + 11 \cdot 10^{-6} \cdot 17500 \cdot (\theta + 5) - 19,5 = 0,1925 \cdot \theta + 14,9515.$$

Со повеќекратно решавање на равенката на состојбата, за разни вредности на температурата θ , во интервалот $\theta_{\min} \div \theta_{\max}$, ја добиваме табелата 2.11

Табела 2.11.1. Монтажна таблица за јаже \check{C} II 95 mm², $a = 300$ m, $\sigma_M = \bar{\sigma}_{-5} = 19,5$ daN/mm²

θ (°C)	-20	0	20	40	-5+НЗДТ
σ (daN/mm ²)	12,90	12,14	11,48	10,91	19,5
f (m)	6,80	7,23	7,64	8,04	8,03

а) Определување на состојбата со максимален провес

Провесот f ќе биде максимален или при максималната температура $\theta = 40^\circ\text{C}$ или при $\theta = -5^\circ\text{C} + \text{НЗДТ}$. За да утврдиме кога е провесот максимален, ќе ја пресметаме критичната температура θ_k . Во овој случај ќе таа биде:

$$\theta_k = \frac{\bar{\sigma}_{-5}}{E \cdot \alpha} \cdot \left(1 - \frac{p}{p}\right) - 5 = \frac{19,5}{17500 \cdot 11 \cdot 10^{-6}} \cdot \left(1 - \frac{7,8}{13,93}\right) - 5 = 39,6^\circ\text{C} .$$

Податокот $\theta_k < 40^\circ\text{C}$ кажува дека провесот е максимален при максималната температура $\theta = 40^\circ\text{C}$. Неговата вредност во тој случај изнесува:

$$f_{\max} = \frac{p \cdot a^2}{8 \sigma_{40}} = \frac{7,8 \cdot 10^{-3} \cdot 300^2}{8 \cdot 10,91} = 8,04 \text{ m} .$$

Дека е тоа така најлесно ќе се увериме ако го пресметаме провесот \bar{f} при $\theta = -5^\circ\text{C} + \text{НЗДТ}$:

$$\bar{f}_{-5} = \frac{\bar{p} \cdot a^2}{8 \cdot \bar{\sigma}_{-5}} = \frac{13,93 \cdot 10^{-3} \cdot 300^2}{8 \cdot 19,5} = 8,03 \text{ m} < f_{40} .$$

б) Определување на приликите во состојбата при -20°C со ветер

Во случајот кога на јажето делува ветар со брзина $v = 33,3$ m/s, притисокот на ветрот P_V ќе биде:

$$P_V = \frac{v^2}{16} = \frac{33,3^2}{16} = 69,3 \text{ daN/m}^2 .$$

Нападната површина S на спроводникот со должина $L = 1$ m врз која ќе дејствува ветрот ќе биде:

$$S = L \cdot d = 1 \cdot 10,5 \cdot 10^{-3} = 0,0105 \text{ m}^2$$

Според тоа силата на ветрот F_V ќе изнесува:

$$F_V = c \cdot P_V \cdot S = 1 \cdot 69,3 \cdot 0,0105 = 0,728 \text{ daN/m},$$

додека нејзината редуцирана вредност (на единица пресек) ќе биде:

$$p_V = F_V/A = 0,728/93,27 = 7,81 \cdot 10^{-3} \text{ daN/m, mm}^2 .$$

Специфичното оптоварување p'_V поради сопствената тежина и дејството на ветрот ќе биде:

$$p'_V = \sqrt{p^2 + p_V^2} = \sqrt{7,8^2 + 7,81^2} = 11,035 \cdot 10^{-3} \text{ daN/m, mm}^2 .$$

Напрегањето σ_{-20V} при $\theta = -20^\circ\text{C}$ и истовремено дејствување на ветрот се добива со помош на равенката на состојба. Притоа, за почетна состојба ќе ја усвоиме, на пример, состојбата при $\theta = -20^\circ\text{C}$, чии што параметри се веќе пресметани, макар што во принцип тоа може да биде и било која друга состојба со познати параметри. Значи сега ќе имаме:

$$\theta_0 = -20^\circ\text{C}; \quad \sigma_0 = \sigma_{-20} = 12,9 \text{ daN/mm}^2; \quad p_0 = p = 7,8 \cdot 10^{-3} \text{ daN/m, mm}^2;$$

$$n = p'_V \cdot a \cdot \sqrt{\frac{E}{24}} = 11,035 \cdot 10^{-3} \cdot 300 \cdot \sqrt{\frac{17.500}{24}} = 89,4;$$

$$m = \frac{7,8^2 \cdot 10^{-6} \cdot 300^2}{24 \cdot 12,9^2} \cdot 17500 + 11 \cdot 10^{-6} \cdot 17500 \cdot (-20 + 20) - 12,9 = 11,093;$$

$$\sigma_{-20V} + 11,093 = (89,4 / \sigma_{-20V})^2 \Rightarrow \sigma_{-20V} = 16,9 \text{ daN/mm}^2.$$

Значи, под дејство на ветрот напрегањето во јагето ќе се зголеми за 31% (од вредноста $\sigma_{-20} = 12,9 \text{ daN/mm}^2$ на вредноста $\sigma_{-20V} = 16,9 \text{ daN/mm}^2$). Согласно со тоа, косо мерениот провес*, исто така, ќе се зголеми од вредноста $f_{-20} = 6,80 \text{ m}$, на вредноста f_{-20V} , која ќе биде:

$$f_{-20V} = \frac{p'_V \cdot a^2}{8 \cdot \sigma_{-20V}} = \frac{11,035 \cdot 10^{-3} \cdot 300^2}{8 \cdot 16,9} = 7,35 \text{ m}.$$

Аголот на отклон на јагето α се добива од односот:

$$\text{tg } \alpha = \frac{F_V}{G} = \frac{F_V}{p \cdot A} = \frac{0,728}{0,7275} = 1,0 \Rightarrow \alpha = 45^\circ.$$

в) Пресметка на аголот на отклон при ветер со намален интензитет

Во случајот кога притисокот на ветрот изнесува 70% од неговата максимална вредност, тогаш и силата на ветрот ќе изнесува 70% од својата максимална вредност, т.е $F_V = 0,7 \cdot 0,728 = 0,51 \text{ daN/m}$. Соодветно на тоа, за нејзината специфична вредност редуцирана на 1 mm^2 ќе имаме:

$$p_V = 0,7 \cdot 7,81 = 5,47 \cdot 10^{-3} \text{ daN/m, mm}^2.$$

Специфичното оптоварување на спроводникот сега ќе изнесува:

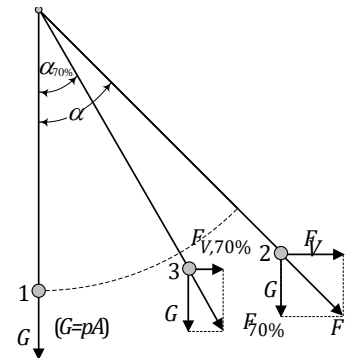
$$p_V = \sqrt{G^2 + F_V^2} / A = \sqrt{p^2 + p_V^2} = 9,53 \cdot 10^{-3} \text{ daN/m, mm}^2$$

Аголот на отклон на јагето поради дејството на ветрот сега ќе се намали на вредноста $\alpha_{70\%}$:

$$\alpha_{70\%} = \text{arc tg } (F_V / G) = \text{arc tg } (0,51 / 0,7275) = 35^\circ.$$

Вертикално мерениот провес ќе биде:

$$f_{70\%} = f_{-20V} \cdot \cos \alpha_{70\%} = 7,35 \cdot \cos 35^\circ = 6,02 \text{ m}.$$



*) Провесот на спроводник/јаже, по дефиниција, претставува вертикално растојание помеѓу правата што ги сврзува точките на зацврстување и самиот спроводник/јаже, мерен во средината од распонот.



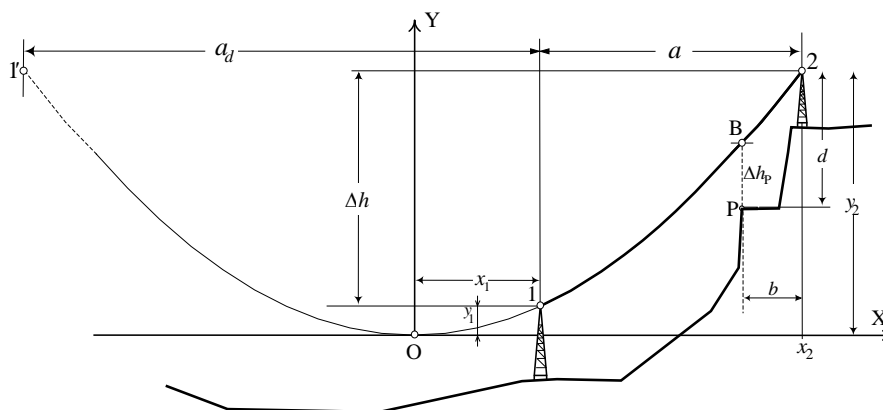
Пример 2.12: 110 kV далекувод се вкрстува со еден автопат во кос распон, како што е тоа прикажано на сликата 2.12. Распонот наедно претставува и затезно поле бидејќи се наоѓа помеѓу два аголно-затезни столба и ги има следните параметри: $a = 570 \text{ m}$; $\Delta h = 242 \text{ m}$. Левиот раб од патот (точката „P“) се наоѓа на растојание $b = 160 \text{ m}$ лево од

столбот бр. 2 и има кота која е за $d = 105$ m пониска од котата на точката на обесување „2“.

Да се изврши контрола на височината на спроводниците над работ од патот како и контрола на напрегањето σ_2 во горната точка на обесување “2” во услови на постоење на ИЗДТ. Спроводниците од далекуводот се комбинирани јажиња Al/\check{C} 240/40 mm^2 , а далекуводот е проектиран за следните услови:

- максимално работно напрегање $\sigma_M = 8$ daN/mm²;
- фактор на нормален зимски додатен товар $k_n = 1,0$;
- фактор на исклучителен зимски додатен товар $k_i = 2,0$.

Решение:



Слика 2.12

Јажето $MKS.N.C1.351$ 240/40 Al/\check{C} ги има следните механички карактеристики: $d = 21,9$ mm; $p = 3,426 \cdot 10^{-3}$ daN/m,mm²; $p = 6,408 \cdot 10^{-3}$ daN/m,mm² (за $k_n = 1,0$); $E = 7700$ daN/mm²; $\alpha = 18,9 \cdot 10^{-6}$ 1/°C.

Максималното работно напрегање σ_M е зададено и изнесува 8 daN/mm². Значи, потребно е да ја пресметаме вредноста на критичниот распон a_k и врз основа на тој податок да одредиме при која состојба може да се јави ова напрегање.

$$a_k = \sigma_M \cdot \sqrt{\frac{360 \cdot \alpha}{p^2 - p^2}} = 8 \cdot \sqrt{\frac{360 \cdot 18,9 \cdot 10^{-6}}{(6,408^2 - 3,426^2) \cdot 10^{-6}}} = 121,9 \text{ m.}$$

Бидејќи е $a_k < a$, максималното напрегање ќе се јави при $-5^\circ C + \text{ИЗДТ}$, односно, почетната состојба ќе ги има следните параметри:

$$\theta_o = -5^\circ C ; \bar{\sigma}_{-5} = \sigma_M = 8 \text{ daN/mm}^2 ; p_o = \bar{p} = 6,408 \text{ daN/m,mm}^2 .$$

Контрола на височината на спроводниците над патот

Кога се вршат пресметки на коси распони со голем агол на наклон ψ (како во случајов), тогаш, во равенката на состојбата место со модулот на еластичност E , ќе треба да се оперира со величината $E^* = E \cdot \cos \psi$. Во конкретниот случај ќе имаме:

$$\cos \psi = \cos [\arctg(\Delta h/a)] = 0,9205 ; E^* = E \cdot \cos \psi = 7088 \text{ daN/mm}^2 .$$

Контролата на височината на спроводниците над патот ќе ја вршиме за состојбата при која ќе се јави најголем провес во распонот. За таа цел, најнапред ќе треба да ја пресметаме критичната температура θ_k :

$$\theta_k = \frac{\bar{\sigma}_{-5}}{E \cdot \alpha} \cdot \left(1 - \frac{p}{\bar{p}}\right) - 5 = \frac{8 \cdot 10^6}{7088 \cdot 18,9} \cdot \left(1 - \frac{3,426}{6,408}\right) - 5 = 22,8^\circ\text{C}.$$

Бидејќи е $\theta_k < 40^\circ\text{C}$, за контролата на височината на спроводниците над патот меродавна ќе биде состојбата при $\theta = 40^\circ\text{C}$. Според тоа, непозната состојба е состојбата при $+40^\circ\text{C}$, додека почетната (критичната) состојба ќе биде и понатаму состојбата при $-5^\circ\text{C} + \text{ИЗДТ}$, дефинирана со параметрите:

$$\theta_o = -5^\circ\text{C}; \quad \sigma_o = 8 \text{ daN/mm}^2; \quad p_o = \bar{p} = 6,408 \cdot 10^{-3} \text{ daN/m,mm}^2.$$

На веќе познатиот начин ги пресметуваме параметрите m_{40} и n од равенката на состојбата. Во конкретниов случај добиваме: $m_{40} = 59,592$ и $n = 33,559$. Понатаму следи:

$$\sigma_{40} + 59,592 = (33,559/\sigma_{40})^2 \Rightarrow \sigma_{40} = 4,202 \text{ daN/mm}^2;$$

$$c = c_{40} = \sigma_{40}/p = 1226,5 \text{ m}; \quad 2c = 2453 \text{ m}.$$

Сега можеме да ги пресметаме фиктивниот додаток a_d и тоталниот распон a_T :

$$a_d = 1004 \text{ m}; \quad a_T = a + a_d = 570 + 1004 = 1574 \text{ m}.$$

Ако координатниот почеток го поставиме во темето на синцирницата, тогаш координатите на точките „1“, „2“, „P“ и „B“ ќе бидат (види сл. 2.12):

$$x_2 = \frac{a_T}{2} = 787 \text{ m}; \quad y_2 = c \cdot \left(\text{ch} \frac{x_2}{c} - 1\right) = 261,24 \text{ m};$$

$$x_1 = x_2 - a = 217 \text{ m}; \quad y_1 = c \cdot \left(\text{ch} \frac{x_1}{c} - 1\right) = 19,24 \text{ m};$$

$$x_B = x_2 - b = 787 - 160 = 627 \text{ m}; \quad y_B = c \cdot \left(\text{ch} \frac{x_B}{c} - 1\right) = 163,75 \text{ m};$$

$$x_P = x_B = 627 \text{ m}; \quad y_P = y_2 - d = 261,24 - 105 = 156,24 \text{ m}$$

Според тоа, спроводниците ќе минуваат над работ од патот на височина Δh_P :

$$\Delta h_P = y_B - y_P = 163,75 - 156,24 = 7,51 \text{ m}.$$

Бидејќи според одредбите од Правилникот [1], сигурносната височина на спроводниците над патот изнесува $H_S = 7 \text{ m}$ (види табела 3.2), произлегува дека е $\Delta h_P > H_S$, т.е. проверката на височината на спроводниците над патот дала позитивен исход.

Состојба при $-5^\circ\text{C} + \text{ИЗДТ}$

Покрај проверката на височината на спроводниците над тлото и над пресечните објекти, според нашите прописи е потребно да се провери и условот дали напрегањето $\bar{\sigma}'_2$ во горната точка на зацврстување „2“ во услови на постоење на ИЗДТ не ја надминува дозволената вредност σ_{id} , која за јажето Al/C 240/40 mm² изнесува $\sigma_{id} = 24,5 \text{ daN/mm}^2$ (види табела 2.5).

За таа цел, со помош на равенката на состојбата најнапред ќе ги пресметаме параметрите \bar{p} и \bar{c} за состојбата при $-5^\circ\text{C} + \text{ИЗДТ}$. Притоа за почетна состојба ќе ја земеме состојбата при $-5^\circ\text{C} + \text{ИЗДТ}$, т.е. за нејзините параметри ќе добиеме:

$$\theta_o = -5^\circ\text{C}; \quad p_o = \bar{p}; \quad \sigma_o = \sigma_M.$$

$$\Delta p_i = \Delta \bar{p} = k_i \cdot \Delta p_n = 2 \cdot 2,982 \cdot 10^{-3} \text{ daN/m,mm}^2;$$

$$\bar{p} = p + \Delta \bar{p} = 9,39 \cdot 10^{-3} \text{ daN/m,mm}^2$$

$$n = \bar{p} \cdot a \cdot \sqrt{\frac{E^*}{24}} = 9,39 \cdot 0,57 \cdot \sqrt{\frac{7088}{24}} = 91,981;$$

$$m = \frac{\bar{p}^{-2} \cdot a^2}{24 \bar{\sigma}^{-2}} \cdot E^* + \alpha \cdot E^* \cdot (-5 + 5) - \bar{\sigma} = 53,564;$$

$$\bar{\sigma} + 53,564 = (91,981 / \bar{\sigma})^2 \Rightarrow \bar{\sigma} = 11,411 \text{ daN/mm}^2;$$

$$\bar{c} = \frac{\bar{\sigma}}{\bar{p}} = \frac{11,411 \cdot 10^3}{9,39} = 1215,2 \text{ m}; \quad 2\bar{c} = 2430,4 \text{ m}.$$

Фиктивниот додаток a_d со кој ќе треба да го надополниме распонот a за да го добиеме тоталниот распон a_T се пресметува на следниот начин:

$$\xi = \frac{\Delta h / 2\bar{c}}{\text{sh}(a / 2\bar{c})} = \frac{242 / 2430,4}{\text{sh}(570 / 2430,4)} = 0,42069;$$

$$a_d = 2\bar{c} \cdot \text{Ar sh}(\xi) = 2\bar{c} \cdot \ln(\xi + \sqrt{\xi^2 + 1}) = 994,5 \text{ m}$$

$$a_T = a + a_d = 1564,5 \text{ m}; \quad a_T / 2 = 782,25 \text{ m}.$$

Според тоа, напрегањето во точката на обесување $\bar{\sigma}'_2$ во состојбата при -5°C +ИЗДТ ќе биде:

$$\bar{\sigma}'_2 = \bar{\sigma} \cdot \text{ch}\left(\frac{a_T}{2\bar{c}}\right) = 11,411 \cdot \text{ch}\left(\frac{1564,5}{2430,4}\right) = 13,858 \text{ daN/mm}^2$$

Значи, контролата покажа дека напрегањата во точките на зацврстување во посматраниот распон при -5°C +ИЗДТ се помали од дозволеното напрегање, т.е:

$$\bar{\sigma}'_1 < \bar{\sigma}'_2 \leq \sigma_{id} = 24,5 \text{ daN/mm}^2.$$

■ ■ ■

Задача 2.1. Да се определи височината $\Delta h_P = y_B - y_P$ на спроводниците над патот од примерот 2.12 со помош на приближните формули (6.42) од [2]. (Одговор: $\Delta h_P = 12,73 \text{ m}$).

■ ■ ■

Задача 2.2. Колкава ќе биде височината Δh_P на спроводниците над патот во примерот 2.12 при температура $\theta = 80^\circ\text{C}$.

■ ■ ■

Пример 2.13. Комбинирано јаже $\text{Al}\check{\text{C}} 240/40 \text{ mm}^2$ се затега во распон $a = 200 \text{ m}$ при надворешна температура $\theta = 20^\circ\text{C}$. Ако за максимално работно напрегање на јажето се усвои вредноста $\sigma_M = 8 \text{ daN/mm}^2$, а за факторот на нормален зимски додатен товар $k_n =$

1,0 ($p = 3,426 \cdot 10^{-3} \text{ daN/m, mm}^2$; $\bar{p} = 6,408 \cdot 10^{-3} \text{ daN/m, mm}^2$), да се одреди со колкава сила F ќе треба да се затегне јажето при монтирањето и колкав треба да биде провесот f во тој случај.

Колкав ќе биде провесот f' ако јажето се затегне со сила F' која е за 20% поголема од потребната. Колкаво ќе биде максималното работно напрегање σ'_M во тој случај.

При решавањето да се користат монтажните криви и таблици пресметани во примерот 2.6.

Решение:

Бидејќи критичниот распон за даденото јаже изнесува $a_k = 120 \text{ m}$, (види пример 2.12), и е помал од распонот a , максималното работно напрегање ќе се јави при $\theta = -5^\circ\text{C} + \text{НЗДТ}$. Затоа ќе можеме да ги користиме монтажните таблици пресметани во примерот 2.6.

Од таблиците отчитуваме:

$$\theta = 20^\circ\text{C}; \sigma_{20} = 4,295 \text{ daN/mm}^2; f_{20} = 3,99 \text{ m}.$$

Силата со која што ќе треба да се затега јажето при монтирањето изнесува:

$$F = \sigma_{20} \cdot A = 4,295 \cdot 282,5 = 1213 \text{ daN}.$$

На тој начин, мерејќи ја силата на затегање F (или пак провесот f) и користејќи ги монтажните криви, се врши затегање на јажето при неговото монтирање така што при $\theta = -5^\circ\text{C} + \text{НЗДТ}$, кога напрегањето е максимално, тоа ќе биде точно еднакво на сметковната вредност $\bar{\sigma}_{-5} = \sigma_M = 8 \text{ daN/mm}^2$.

Ако во случајов, при $\theta = 20^\circ\text{C}$, јажето го затегнеме со сила F' која е за 20% поголема од потребната, ќе имаме и некое ново напрегање σ'_{20} кое ќе биде исто така за 20% поголемо од потребното:

$$F' = 1,2 \cdot F = 1456 \text{ daN}; \sigma'_{20} = 1,2 \cdot \sigma_{20} = 5,154 \text{ daN/mm}^2.$$

Сега провесот ќе се намали на вредноста:

$$f'_{20} = \frac{p \cdot a^2}{8 \cdot \sigma_{20}} = \frac{3,426 \cdot 10^{-3} \cdot 200^2}{8 \cdot 5,154} = 3,32 \text{ m}$$

Се разбира дека во ваквиот случај максималното работно напрегање σ'_M , што ќе се јави при $\theta = -5^\circ\text{C} + \text{НЗДТ}$, ќе има вредност поголема од предвидената $\sigma_M = 8 \text{ daN/mm}^2$. Вредноста σ'_M ќе ја пресметаме со помош на равенката на состојба, при што, почетната состојба ќе ни биде дефинирана со параметрите:

$$\theta_0 = 20^\circ\text{C}; \sigma_0 = \sigma'_{20} = 5,154 \text{ daN/mm}^2; p_0 = \bar{p} = 3,426 \cdot 10^{-3} \text{ daN/m, mm}^2;$$

$$n = 6,408 \cdot 10^{-3} \cdot 200 \cdot \sqrt{7700/24} = 22,96;$$

$$m = \frac{3,426^2 \cdot 10^{-6} \cdot 200^2}{24 \cdot 5,154^2} \cdot 7700 + 18,9 \cdot 10^{-6} \cdot 7700 \cdot (-5 - 20) - 5,154 = -3,122;$$

$$\sigma'_M - 3,122 = (22,96 / \sigma'_M)^2 \Rightarrow \sigma'_M = 9,264 \text{ daN/mm}^2.$$

Значи, поради зголеменото затегање при монтирањето за 20%, ќе имаме и зголемено максимално работно напрегање за околу 16%.



Пример 2.14. Едно од затезните полиња на 35 kV далекувод се состои од пет распони: $a_1 = 337$ m; $a_2 = 242$ m; $a_3 = 216$ m; $a_4 = 254$ m и $a_5 = 250$ m. Спроводниците на далекуводот се јажиња Al/Ѓ 70/12 mm². Потребно е:

- Да се пресмета идеалниот распон на даденото поле;
- Со колкава сила ќе треба да се затегнат спроводниците при монтирањето, ако надворешната температура изнесува $\theta = 30^\circ\text{C}$;
- Колкави ќе бидат провесите во одделните распони од полето во тој случај;
- Во кој од распоните провесот е најголем. Колкав е максималниот провес во тој распон и кога се јавува тој.

Податоци за јажето Al/Ѓ 70/12 mm² :

$$E = 7700 \text{ daN/mm}^2 ; d = 11,7 \text{ mm} ; A = 81,3 \text{ mm}^2 ; p = 3,427 \cdot 10^{-3} \text{ daN/m, mm}^2 ;$$

$$\alpha = 18,9 \cdot 10^{-6} \text{ 1/}^\circ\text{C} ;$$

$$\Delta p = 1,0 \cdot g/A = 7,426 \cdot 10^{-3} \text{ daN/m, mm}^2 ; \bar{p} = 10,853 \cdot 10^{-3} \text{ daN/m, mm}^2 ;$$

Максималното работно напрегање на јажето изнесува: $\sigma_M = 8 \text{ daN/mm}^2$.

Решение :

а) Пресметка на идеалниот распон

Идеалниот распон a_i за даденото затезно поле ќе биде:

$$a_i = \sqrt{\frac{\sum a_i^3}{\sum a_i}} = \sqrt{\frac{a_1^3 + a_2^3 + a_3^3 + a_4^3 + a_5^3}{a_1 + a_2 + a_3 + a_4 + a_5}} = \sqrt{\frac{86,458 \cdot 10^6}{1209}} = 267,4 \text{ m}.$$

б) Пресметка на силата на затегање при температура $\theta = 30^\circ\text{C}$

Лесно се покажува дека критичниот распон за дадените спроводници изнесува $a_k = 64,1$ m. Бидејќи е $a_k < a_i$ следува дека максималното напрегање σ_M ќе се јави при состојбата $\theta = -5^\circ\text{C} + \text{НЗДТ}$. Значи, почетната состојба ќе биде дефинирана со следните параметри:

$$\theta_0 = -5^\circ\text{C} ; \sigma_0 = 8 \text{ daN/mm}^2 ; p_0 = \bar{p} = 10,853 \cdot 10^{-3} \text{ daN/m, mm}^2 .$$

За да ја одредиме силата на затегање F при монтирањето на јажињата во случајот кога надворешната температура изнесува $\theta = 30^\circ\text{C}$, најнапред, со помош на равенката на состојбата, ќе го пресметаме напрегањето σ_{30} при $\theta = 30^\circ\text{C}$:

$$n = 3,427 \cdot 10^{-3} \cdot 267,4 \cdot \sqrt{7700/24} = 16,414 ;$$

$$m = \frac{10,853^2 \cdot 10^{-6} \cdot 267,4^2}{24 \cdot 8^2} \cdot 7700 + 18,9 \cdot 10^{-6} \cdot 7700 \cdot (30+5) - 8 = 40,465 ;$$

$$\sigma_{30} + 40,465 = (16,414 / \sigma_{30})^2 \Rightarrow \sigma_{30} = 2,50 \text{ daN/mm}^2 .$$

Силата F со која јажето треба да се затегне во даденото затезно поле при надворешна температура $\theta = 30^\circ\text{C}$ изнесува:

$$F = \sigma_{30} \cdot A = 2,50 \cdot 81,3 = 206,5 \text{ daN} .$$

в) Пресметка на провесите во одделните распони од затезното поле

На идеалниот распон a_i му одговара идеалниот провес f_i . Во конкретниот случај, при температура $\theta = 30^\circ\text{C}$, тој изнесува:

$$f_i = \frac{p \cdot a_i^2}{8 \cdot \sigma_{30}} = \frac{3,427 \cdot 10^{-3} \cdot 267,4^2}{8 \cdot 2,50} = 12,25 \text{ m}.$$

Провесите во поедините распони од полето при оваа температура ќе изнесуваат:

$$f_1 = f_i \cdot \frac{a_1^2}{a_i^2} = 12,25 \cdot \left(\frac{337}{267,4} \right)^2 = 19,46 \text{ m};$$

$$f_2 = f_i \cdot \frac{a_2^2}{a_i^2} = 12,25 \cdot \left(\frac{242}{267,4} \right)^2 = 10,03 \text{ m};$$

$$f_3 = f_i \cdot \frac{a_3^2}{a_i^2} = 12,25 \cdot \left(\frac{126}{267,4} \right)^2 = 2,72 \text{ m};$$

$$f_4 = f_i \cdot \frac{a_4^2}{a_i^2} = 12,25 \cdot \left(\frac{254}{267,4} \right)^2 = 11,05 \text{ m и}$$

$$f_5 = f_i \cdot \frac{a_5^2}{a_i^2} = 12,25 \cdot \left(\frac{250}{267,4} \right)^2 = 10,71 \text{ m}.$$

г) Пресметка на максималниот провес од затезното поле

Најголем провес ќе имаме секогаш (независно од температурата θ) во првиот распон, бидејќи тој е најголем. За температурата $\theta = 30^\circ\text{C}$, тој изнесува $f_1 = 19,46 \text{ m}$, а се разбира дека за $\theta = 40^\circ\text{C}$ ќе биде уште поголем. Меѓутоа, за да утврдиме дали провесот f_1 (истото важи и за идеалниот провес, а и за сите останати провеси во полето) е максимален при $\theta = 40^\circ\text{C}$ или при $\theta = -5^\circ\text{C} + \text{НЗДТ}$, потребно е да ја одредиме критичната температура θ_k за дадените спроводници:

$$\theta_k = \frac{\bar{\sigma}_{-5}}{E \cdot \alpha} \cdot \left(1 - \frac{p}{P}\right) - 5 = \frac{8}{7700 \cdot 18,9 \cdot 10^{-6}} \cdot \left(1 - \frac{3,427}{10,853}\right) - 5 = 32,6^\circ\text{C}.$$

Бидејќи е $\theta_k < 40^\circ\text{C}$, максимален провес ќе имаме при $\theta = 40^\circ\text{C}$ а не при $\theta = -5^\circ\text{C} + \text{НЗДТ}$.

За да го одредиме максималниот провес $f_{1,\text{max}}$, најнапред, со помош на равенката на состојбата, ќе го одредиме напрегањето σ_{40} при $\theta = 40^\circ\text{C}$. Лесно се покажува дека бараното напрегање ќе биде решение на следната равенка:

$$\sigma_{40} + 40,769 = (16,414/\sigma_{40})^2 \Rightarrow \sigma_{40} = 2,495 \text{ daN/mm}^2.$$

Идеалниот провес при оваа температура ќе биде, значи, максимален и ќе изнесува:

$$f_{i,40} = f_{i,\text{max}} = \frac{p \cdot a_i^2}{8 \sigma_{40}} = \frac{3,427 \cdot 10^{-3} \cdot 267,4^2}{8 \cdot 2,495} = 12,26 \text{ m},$$

додека вредноста $f_{1,\text{max}}$ на провесот во првиот распон при истата температура ќе биде:

$$f_{1,\text{max}} = f_{i,\text{max}} \cdot \frac{a_1^2}{a_i^2} = 12,26 \cdot \frac{337^2}{267,4^2} = 19,47 \text{ m}.$$



Решавање на состојбата при 40°C :

$$a_T = a + a_d = a + 2c_{40} \cdot \frac{\Delta h}{a} = 300 + 2328 \cdot \frac{20}{300} = 477 \text{ m};$$

$$f_T = c_{40} \cdot \operatorname{ch} \left(\frac{a_T / 2}{c_{40}} - 1 \right) = 21,42 \text{ m}.$$

Ако координатниот почеток го поставиме во точката “О” (види слика 2.15), тогаш темето од синцирницата “Т” ќе ги има следните координати (x_T, y_T) :

$$x_T = \frac{a_T}{2} = 238,5 \text{ m}; \quad y_T = (y_A + H_4 - L_{iz}) - f_T;$$

$$y_T = (20 + 14,8 - 1,45) - 21,42 = 11,93 \text{ m}.$$

Во тој случај равенката со која што ќе се опишува синцирницата од распонот, во однос на новиот координатен систем, ќе гласи:

$$y - y_T = c \cdot \operatorname{ch} \left(\frac{x - x_T}{c} - 1 \right).$$

Критичната точка во еден распон е онаа точка од трасата во која височината на спроводниците над тлото H_k е најмала. Од прикажаното произлегува дека критичната точка „К“ може да се наоѓа или во сегментот ВС или пак во сегментот CD од трасата.

Најмалото вертикално растојание меѓу спроводниците и тлото во сегментот CD се наоѓа под самото теме од синцирницата и тоа изнесува $H_0 = y_T = 11,93 \text{ m}$. Останува уште да се утврди во која точка од сегментот ВС на трасата вертикалното растојание меѓу спроводниците и тлото ќе биде најмало, за да се утврди положбата на критичната точка.

Најмалото вертикално растојание на потегот ВС може да биде: или во точката „В“, или во точката „С“, или пак негде во самиот сегмент ВС. Во последниов случај, доколку критичната точка “К” навистина се наоѓа во сегментот ВС, тогаш тоа ќе биде онаа точка од трасата над која тангентата на синцирницата ќе биде паралелна со правата В–С. Со други зборови, треба да се бара точка од синцирницата со координати (x_k, y_k) во која што првиот извод ќе биде еднаков на вредноста y' , при што е:

$$y' = \operatorname{tg} \alpha = \frac{y_C - y_B}{x_C - x_B} = \frac{0 - 20}{200 - 40} = -0,125.$$

Равенката со која е опишана синцирницата во споменатиот координатен систем гласи:

$$y - y_T = c \cdot \operatorname{ch} \frac{x - x_T}{c} - c,$$

од каде што следи:

$$y' = \frac{dy}{dx} = c \cdot \operatorname{sh} \frac{x - x_T}{c};$$

$$x = x_T + c \cdot \operatorname{Ar sh} (y') = x_T + c \cdot \ln (y' + \sqrt{y'^2 + 1})$$

Според тоа, координатата x_k на точката во која првиот извод на синцирницата ќе ја има зададената вредност $y' = -0,125$, ќе биде:

$$x_k = 238,5 + 1326 \cdot \ln (-0,125 + \sqrt{0,125^2 + 1}) = 73,2 \text{ m}.$$

Значи, приближувањето на спроводниците до тлото ќе биде најголемо во точката $K(x_k, y_k)$, при што е:

$$x_k = 73,2 \text{ m}; \quad y_k = y_T + c \cdot \text{ch}(x_k - x_T)/c) - c = 11,93 + 10,32 = 22,25 \text{ m}.$$

Точката „Р“ на тлото што се наоѓа под точката „К“, ќе ги има следните координати:

$$x_P = x_k = 73,2 \text{ m}; \quad y_P = y_B + \text{tg } \alpha \cdot (x_P - x_B) = 20 - 0,125 \cdot (73,2 - 40) = 15,85 \text{ m},$$

од каде произлегува дека височината на спроводниците над тлото во критичната точка „К“ ќе биде:

$$\Delta H = y_k - y_P = 22,25 - 15,85 = 6,4 \text{ m}.$$

Бидејќи е $6,4 \text{ m} < 11,93 \text{ m}$, произлегува дека точката „К“, која се наоѓа над сегментот ВС, на растојание $x_k = 73,2 \text{ m}$ десно до столбот бр. 4, ќе биде критична точка во целиот распон.



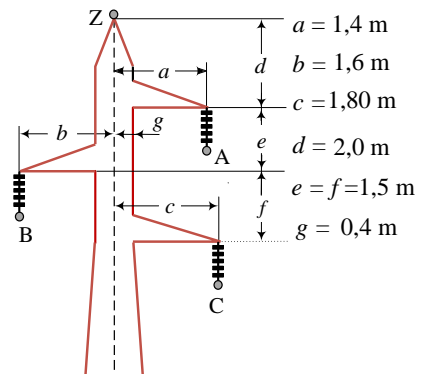
Задача 2.3. Да се определи позицијата на критичната точка x_k во распонот разгледуван во примерот 2.15, за состојбата при $-5^\circ\text{C} + \text{НЗДТ}$. Колкава е височината на спроводниците над тлото ΔH кај критичната точка во тој случај.



Пример 3.1. Да се изврши проверка на сигурносните растојанија кај 35 kV далекувод, изведен со челично–решеткасти столбови, чијшто изглед е прикажан на сликата П.3.1.1.

Влезни податоци:

- спроводници: Al/C 95/15 mm²; ($A = 109,7 \text{ mm}^2$; $d = 13,6 \text{ mm}$; $p = 3,416 \cdot 10^{-3} \text{ daN/m,mm}^2$; $E = 7700 \text{ daN/mm}^2$; $\alpha = 18,9 \cdot 10^{-6} \text{ 1/}^\circ\text{C}$; $G = 0,375 \text{ daN/m}$)
- максимално работно напрегање на спроводниците: $\sigma_M = 8 \text{ daN/mm}^2$;
- распон $a = 150 \text{ m}$; терен рамен.
- фактор на НЗДТ: $k_n = 1,0$;
- притисок на ветерот $P_V = 60 \text{ daN/mm}^2$;
- изолатори: синцири со капести изолатори 2xK170/280; должина $L_{iz} = 84 \text{ cm}$; тежина $G_{iz} = 27,3 \text{ daN}$.
- Димензии на главата од столбот (во cm): $a = 140 \text{ cm}$; $b = 160 \text{ cm}$; $c = 180 \text{ cm}$; $d = 200 \text{ cm}$; $e = 150 \text{ cm}$; $f = 150 \text{ cm}$; $g = 40 \text{ cm}$; $h = a - g = 100 \text{ cm}$.



Слика П.3.1.1

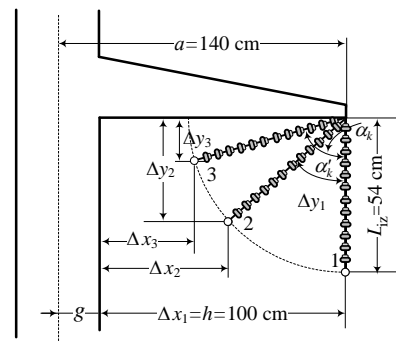
Решение:

a) Проверка на растојанијата на главата на столбот

Во однос на доближувањето на спроводниците до заземјените делови од столбот под дејство на ветерот, во најнеповолна ситуација се наоѓа највисокиот спроводник кој припаѓа на фазата „А“ (види слика П.3.1.1.) бидејќи должината на неговата конзола изнесува $a = 1,6 \text{ m}$.

Неговата оддалеченост од заземјените делови на столбот треба да се контролира за следните 3 случаи:

1. Случај на неотклонет изолаторски синцир, кога сигурносното растојание кај водовите со номинален напон 35 kV (табела 3.1) изнесува $d_{s1} = 35 \text{ cm}$.
2. Случај на отклонет изолаторски синцир под дејство на ветер со притисок $P'_V = 0,15 \cdot P_{\max} = 9 \text{ daN/m}^2$ кога сигурносното растојание изнесува $d_{s2} = 30 \text{ cm}$.



Слика П.3.1.2

3. Случај на отклонет изолаторски синцир под дејство на ветер со притисок $P'_V = 0,15 \cdot P_{\max} = 60 \text{ daN/m}^2$ кога сигурносното растојание изнесува $d_{s3} = 10 \text{ cm}$.

Аголот на отклон на изолаторските синцири под дејство на ветерот што дејствува со притисок P_V , во општ случај, се пресметува според следната релација:

$$\alpha = \arctg \frac{F_V + 0,5 \cdot F_{iz}}{G_Z + 0,5 \cdot G_{iz}} = \arctg \frac{P_V \cdot d \cdot a_{sr} + 0,5 \cdot F_{iz}}{G \cdot a_{gr} + 0,5 \cdot G_{iz}}, \quad (1)$$

каде што се: F_V сила со која што ветерот дејствува на спроводникот; F_{iz} сила со која што ветерот дејствува на изолаторскиот синцир; G_Z – вкупна тежина на спроводникот; G_{iz} – тежина на изолаторскиот синцир; d – пречник на спроводникот; G – тежина по единица

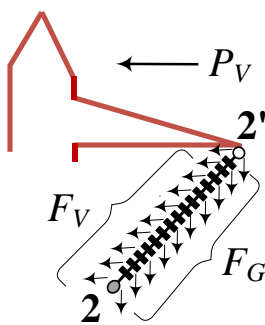
должина на спроводникот; a_{sr} , a_{gr} – среден и гравитационен распон кај посматраниот столб.

Силата со која што ветрот дејствува врз изолаторскиот синцир може да се пресмета со помош на следната формула:

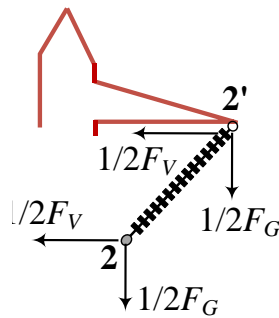
$$F_{iz} = P_V \cdot S_{iz} \approx P_V \cdot (L_{iz} \cdot D_{iz}) \approx P_V \cdot 0,1 \cdot L_{iz}. \quad (2)$$

во која што фигурира „еквивалентната“ површина на изолаторскиот синцир S_{iz} нападната од ветрот, односно „еквивалентната широчина“ D_{iz} , која за изолаторските синцири со капести изолатори изнесува приближно 0,1 m.

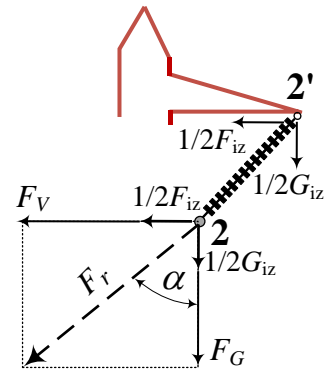
Силите F_{iz} и G_{iz} не се концентрирани, туку се „распределени“ (слика П.3.1.3). Затоа, по своето механичко дејство врз изолаторскиот синцир тие се претставуваат со по две еднакви сили на обата краја од самиот изолатор (слика П.3.1.4).



Слика П.3.1.3



Слика П.3.1.4



Слика П.3.1.5

Позицијата на изолаторскиот синцир во просторот под дејство на сите споменати сили, како и големината на аголот на отклон α во однос на вертикалата, ќе бидат определени од големината и насоката на дејствување на резултантната сила \vec{F}_r (слика П.3.1.5). Од таму произлегува и релацијата (1).

Кога се работи за рамни и приближно рамни терени, тогаш средните и гравитационите распони на столбовите се приближно исти, т.е. $a_{sr} \approx a_{gr}$ и, со оглед на редот на големина на силите F_{iz} и G_{iz} , ($F_{iz} \ll F_V$ и $G_{iz} \ll G_Z$) може да се пишува:

$$\alpha = \arctg \frac{P_V \cdot d \cdot a_{sr} + 0,5 \cdot F_{iz}}{G \cdot a_{gr} + 0,5 \cdot G_{iz}} \approx \arctg \frac{P_V \cdot d}{G}. \quad (3)$$

Во таквите случаи е можно да се направи приближна пресметка на аголот на отклон α на изолаторскиот синцир под дејство на ветрот со помош на релацијата (3). Тоа ќе го правиме во случаите кога е $P'_V = 0,15 \cdot P_{max}$ како и кога е $P_V = P_{max}$.

1) Во првиот случај ($P_V = 0$) аголот на отклон е $\alpha = 0$. Тогаш ќе имаме

$$\Delta x_1 = h = 100 \text{ cm} > d_{s1} = 35 \text{ cm}; \Delta y_1 = L_{iz} = 84 \text{ cm} > d_{s1} = 35 \text{ cm}.$$

2) Во вториот случај ($P'_V = 0,15 \cdot P_{max}$) ќе имаме:

$$P'_V \cdot d = (0,15 \cdot P_{max}) \cdot d = 0,9 \cdot 13,6 \cdot 10^{-3} = 0,122 \text{ daN/m};$$

$$G = p \cdot A = 3,416 \cdot 10^{-3} \cdot 109,7 = 0,375 \text{ daN/m};$$

$$\alpha' = \arctg \frac{F_V' \cdot d}{G} = \arctg \frac{0,122}{0,375} = 18,1^\circ .$$

За оваа вредност на аголот на отклон оддалеченостите на фазниот спроводник од конструкцијата на столбот ќе бидат:

$$\Delta y_2 = L_{iz} \cdot \cos \alpha' = 84 \cdot \cos(18,1) = 79,8 \text{ cm} > d_{s2} = 30 \text{ cm} ;$$

$$\Delta x_2 = h - L_{iz} \cdot \sin \alpha' = 100 - 84 \cdot \sin(18,1) = 73,9 \text{ cm} > d_{s2} = 30 \text{ cm} .$$

3. Случај на отклонет изолаторски синџир под дејство на ветар со својот полн притисок $P_V = P_{\max}$, кога сигурносното растојание изнесува $d_{s3} = 10 \text{ cm}$.

$$P_V = P_{\max} \cdot d = 60 \cdot 13,6 \cdot 10^{-3} = 0,816 \text{ daN/m} ;$$

$$\alpha = \arctg \frac{F_V}{G} = \arctg \frac{0,816}{0,375} = 65,3^\circ ;$$

$$\Delta y_3 = L_{iz} \cdot \cos \alpha = 84 \cdot \cos(65,3) = 34,8 \text{ cm} > d_{s3} = 10 \text{ cm} ;$$

$$\Delta x_3 = h - L_{iz} \cdot \sin \alpha = 100 - 84 \cdot \sin(65,3) = 23,6 \text{ cm} > d_{s3} = 10 \text{ cm} .$$

б) Проверка на растојанијата во средината од распонот

Според членот 30 од Правилникот [1], растојанието D помеѓу фазните спроводници или помеѓу фазните спроводници и заштитното јаже во средината од распонот при температура од 40°C и во состојба без ветар, изразено во см, мора да изнесува најмалку:

$$D_{\min} = k \cdot \sqrt{f_{40} + L_{iz}} + d_{s1} .$$

Од наведената релација се гледа дека ова растојание зависи од провесот на спроводниците при температура $\theta = 40^\circ\text{C}$, односно посредно зависи од параметрите на јажето и големината на распонот што се совладува. Провесот f_{40} , за конкретниот случај, ќе го пресметаме со познатата процедура, применувајќи ја равенката на состојбата.

Специфичната тежина на спроводникот со нормален додатен товар ќе биде:

$$\Delta p = \Delta p_n = 1,0 \cdot g/A = 1,0 \cdot (0,18 \cdot \sqrt{13,6})/109,7 = 6,051 \cdot 10^{-3} \text{ daN/m, mm}^2 ;$$

$$\bar{p} = p + \Delta p = (3,418 + 6,051) \cdot 10^{-3} = 9,470 \cdot 10^{-3} \text{ daN/m, mm}^2 ;$$

Критичниот распон ќе изнесува:

$$a_k = \sigma_M \cdot \sqrt{\frac{360 \cdot \alpha}{\bar{p}^2 - p^2}} = 8 \cdot \sqrt{\frac{360 \cdot 18,9}{9,41^2 - 3,438^2}} = 74,7 \text{ m} .$$

Бидејќи е $a_k < a$ произлегува дека максималното напрегање ќе се јави при $-5^\circ\text{C} + \text{НЗДТ}$, односно $\bar{\sigma}_{-5} = \sigma_M = 8 \text{ daN/mm}^2$. Сега, тргнувајќи од оваа состојба, со помош на равенката на состојба, лесно се пресметуваат големините σ_{40} и f_{40} при $\theta = 40^\circ\text{C}$:

$$\theta_0 = -5^\circ\text{C} ; \sigma_0 = 8 \text{ daN/mm}^2 ; p_0 = \bar{p} = 9,41 \cdot 10^{-3} \text{ daN/m, mm}^2 ;$$

$$n = 9,178 ; m = 8,658 ; \Rightarrow \sigma_{40} = 2,721 \text{ daN/mm}^2 .$$

Спортред тоа, провесот на спроводникот во распонот $a = 150 \text{ m}$ ќе биде;

$$f_{40} = \frac{p \cdot a^2}{8 \cdot \sigma_{40}} = \frac{3,426 \cdot 10^{-3} \cdot 150^2}{8 \cdot 2,721} = 3,53 \text{ m} \equiv 353 \text{ cm} .$$

Во релацијата за пресметка на минимално дозволеното растојание D_{\min} [см] меѓу фазните спроводници или меѓу фазните спроводници и заштитното јаже во средината

од распонот фигурира и коефициентот k , чија вредност зависи од заемниот распоред на спроводниците и од вредноста на аголот на отклон α ($^\circ$) на спроводниците под дејство на ветрот со својот максимален притисок P_{\max} . (кој во случајов изнесува $\alpha = 65,3^\circ$) За кос распоред на спроводниците, коефициентот k се пресметува со релацијата:

$$k = 2 + \alpha/10 = 2 + 65,3/10 = 8,53 .$$

Според нашите прописи, за 35 kV далекуводи минималното сигурносно растојание d_S во случајот на неотклонети спроводници изнесува $d_S = d_{s1} = 35$ cm. Според тоа, ќе имаме:

$$D_{\min} = 8,53 \cdot \sqrt{35^2 + 54} + 35 = 207 \text{ cm} = 2,07 \text{ m} .$$

Значи растојанието меѓу било кои две јажиња (спроводници) во средината од распонот мора да биде поголемо од 2,07 m.

Од самата слика на главата од столбот лесно можеме да се увериме дека најкритично е растојанието D_{A-C} меѓу горниот и долниот спроводник, на релација фаза А – фаза С. Ова растојание во средината од распонот е исто како и на главата од столбот (провесите на спроводниците се еднакви меѓу себе) и тоа изнесува:

$$D_{A-C} = \sqrt{(c-a)^2 + (e+f)^2} = \sqrt{(1,8-1,4)^2 + (1,5+1,5)^2} = 3,03 \text{ m} > 2,07 \text{ m} .$$

Доколку истата постапка ја спроведеме и за растојанието D_{A-Z} меѓу највисокиот спроводник и заштитното јаже, ќе добиеме дека ова растојание при главата на столбот изнесува:

$$D_{A-Z} = \sqrt{a^2 + (d+L_{iz})^2} = \sqrt{1,4^2 + (2+0,54)^2} = 2,9 \text{ m} > 2,07 \text{ m} ,$$

а во средината од распонот тоа ќе биде поголемо од оваа вредност затоа што заштитното јаже секогаш се затега така што да има помал провес отколку провесот на фазниот спроводник.

Од анализата произлегува дека, во конкретниот случај (спроводници Al/Ѓ 95/15; $\sigma_M = 8 \text{ daN/mm}^2$; $a = 150 \text{ m}$, $k_n = 1$; $P_V = 60 \text{ daN/m}^2$), разгледуваниот тип столб со своите димензии ќе ги задоволи барањата во поглед на сигурносните растојанија.



Задача 1.1. За столбот разгледуван во примерот 3.1 да се пресметаат конструктивните агли на отклон α'_k и α_k .

Решение: (Види пример 7.3 од учебникот)

$$\alpha'_k = \arcsin \frac{h-d_{s2}}{L_{iz}} = \arcsin \frac{100-30}{80} = 56,4^\circ ; \quad \alpha_k = \arccos \frac{d_{s3}}{L_{iz}} = \arccos \frac{10}{80} = 83,2^\circ$$



Пример 3.2. Спроводници Al/Ѓ 360/57 mm² и заштитно јаже Ѓ III 50 mm² се монтира во хоризонтален распон $a = 350 \text{ m}$, Скицата на главата од употребените столбови, тип „S“, само со други димензии на главата од столбот, е прикажана на сликата П.3.1.1 (во претходниот пример), при што е $L_{iz} = 1,45 \text{ m}$. Максималното работно напрегање на спроводниците треба да изнесува $\sigma_M = 9 \text{ daN/mm}^2$. Факторите на НЗДТ и ИЗДТ изнесуваат: $k_n = 1,0$ и $k_i = 2,0$ – респективно. Притисокот на ветрот за тој дел од трасата

изнесува $P_V = 90 \text{ daN/m}^2$. Ако се знае дека монтирањето на спроводниците и јажињата се врши при надворешна температура $\theta = 15^\circ\text{C}$, да се пресмета:

- а) со колкава сила треба да се затегнат спроводниците при монтирањето;
- б) со колкава сила F_{15z} треба да се затегне заштитното јаже за да се постигне растојанието D_{A-Z-Sr} помеѓу заштитното јаже и спроводниците од фазата „А“, во средината од распонот при $+15^\circ\text{C}$ да биде за 10% поголемо од соодветното растојание D_{A-Z} на главата од столбот.
- в) колкаво ќе биде максималното работно напрегање σ_{Mz} за вака монтираното заштитно јаже, ако се знае дека критичниот распон на заштитното јаже е $a_{kz} < a$, т.е. $\bar{\sigma}_{-5z} = \sigma_{Mz}$.

Димензии на главата на столбот (во согласност со сликата П.3.1.1):

$a = 260 \text{ cm}$; $b = 260 \text{ cm}$; $c = 355 \text{ cm}$; $d = 300 \text{ cm}$; $e = 295 \text{ cm}$; $f = 185 \text{ cm}$; $g = 60 \text{ cm}$.

Бројни вредности:

$Al/\check{C} 360/57 \text{ mm}^2$	$\check{C} \text{ III } 50 \text{ mm}^2$
$M = 1,483 \text{ kg/m}$	$M_z = 0,384 \text{ kg/m}$
$d = 26,6 \text{ mm}$	$d_z = 9 \text{ mm}$
$A = 360,2 + 57,3 = 417,5 \text{ mm}^2$	$A_z = 48,36 \text{ mm}^2$
$p = 3,483 \cdot 10^{-3} \text{ daN/m, mm}^2$	$p_z = 7,8 \cdot 10^{-3} \text{ daN/m, mm}^2$
$E = 7700 \text{ daN/mm}^2$	$E_z = 18000 \text{ daN/mm}^2$
$\alpha = 18,9 \cdot 10^{-6} \text{ } 1/^\circ\text{C}$	$\alpha_z = 11 \cdot 10^{-6} \text{ } 1/^\circ\text{C}$

Решение:

а) Пресметка на специфичните товари и критичниот распон:

Најнапред ќе ги пресметаме специфичните товари и другите податоци за спроводниците и заштитното јаже, потребни за понатамошните пресметки. Резултатите се прикажани во следната табела:

Фазни спроводници	Заштитно јаже
$G = 0,981 \cdot M = 1,454 \text{ daN/m}$	$G_z = 0,981 \cdot M_z = 0,377 \text{ daN/m}$
$p = G/A = 3,483 \cdot 10^{-3} \text{ daN/m, mm}^2$	$p_z = G_z/A_z = 7,8 \cdot 10^{-3} \text{ daN/m, mm}^2$
$g = 0,18 \cdot \sqrt{d} = 0,928 \text{ daN/m}$	$g_z = 0,18 \cdot \sqrt{d_z} = 0,54 \text{ daN/m}$
$\Delta p = 1,0 \cdot g/A = 2,23 \cdot 10^{-3} \text{ daN/m, mm}^2$	$\Delta p_{nz} = 1,0 \cdot g_z/A_z = 11,166 \cdot 10^{-3} \text{ daN/m, mm}^2$
$\bar{p} = p_n = p + \Delta p_n = 5,713 \cdot 10^{-3} \text{ daN/m, mm}^2$	$\bar{p}_z = \bar{p}_{nz} = p_z + \Delta p_{nz} = 18,966 \cdot 10^{-3} \text{ daN/m, mm}^2$
$a_k = \sigma_M \cdot \sqrt{\frac{360 \cdot a}{\bar{p}^2 - p^2}} = 164 \text{ m} < a$	$a_{kz} < a.$

б) Пресметка на состојбата на спроводниците и заштитното јаже при $+15^\circ\text{C}$

Бидејќи распонот a е поголем од критичните распони a_k и a_{kz} на спроводниците односно заштитното јаже, почетна состојба ќе биде состојбата при $-5^\circ\text{C} + \text{НЗДТ}$, т.е:

$$\theta_0 = -5^\circ\text{C}; \quad p_0 = \bar{p} = 5,707 \cdot 10^{-3} \text{ daN/m, mm}^2; \quad \sigma_0 = \sigma_M = 9 \text{ daN/mm}^2.$$

Значи, непозната е состојбата при $+15^\circ\text{C}$, која има параметри:

$$\theta = 15^{\circ}\text{C}; p = 3,483 \cdot 10^{-3} \text{ daN/m, mm}^2; \sigma = \sigma_{15} = ?$$

Од равенката на состојбата произлегува следната релација:

$$\sigma_{15} + 9,708 = (21,84/\sigma_{15})^2 \Rightarrow \sigma_{15} = 5,585 \text{ daN/mm}^2.$$

Понатаму следи:

$$F_{15} = \sigma_{15} \cdot A = 5,585 \cdot 417,5 = 2332 \text{ daN};$$

$$f_{15} = \frac{p \cdot a^2}{8 \cdot \sigma_{15}} = \frac{3,483 \cdot 10^{-3} \cdot 350^2}{8 \cdot 5,585} = 9,55 \text{ m}.$$

в) Пресметка на силата на затегање на јажето F_{15z}

Растојанието $D_{A-Z} = D_{Z-A}$ помеѓу заштитното јаже и спроводникот од најгорната фаза “А”, на главата од столбот, согласно сликата 3.1.1, ќе биде:

$$D_{A-Z} = \sqrt{a^2 + (d + L_{1z})^2} = \sqrt{2,6^2 + 4,45^2} = 5,15 \text{ m}.$$

Значи растојанието D_{AZ-sr} помеѓу заштитното јаже и спроводникот од фазата А во средината од распонот треба да биде:

$$D_{A-Z-sr} = 1,1 \cdot D_{AZ} = 1,1 \cdot 5,15 = 5,67 \text{ m} \equiv 567 \text{ cm}.$$

Ако сега ова растојание го изразиме преку димензиите на главата од столбот и потребната разлика во провеси $\Delta f = f_{15} - f_{15z}$, ќе добиеме:

$$D_{A-Z-sr} = \sqrt{a^2 + (d + L_{1z} + \Delta f)^2} = 567 \text{ cm};$$

$$\Rightarrow \Delta f = \sqrt{D_{A-Z-sr}^2 - a^2} - (d + L_{1z}) = 59 \text{ cm} \approx 0,59 \text{ m}$$

Значи, провесот на заштитното јаже, при истата температура ($\theta = 15^{\circ}\text{C}$), не смее да биде поголем од:

$$f_{15z} = f_{15} - \Delta f = 9,55 - 0,590 = 8,96 \text{ m},$$

односно, напрегањето на заштитното јаже не смее да биде помало од:

$$\sigma_{15z} \geq \frac{p_z \cdot a^2}{8 f_{15z}} = \frac{7,8 \cdot 10^{-3} \cdot 350^2}{8 \cdot 8,96} = 13,33 \frac{\text{daN}}{\text{mm}^2}.$$

Според тоа силата со која треба да се затегне јажето за да се постигне бараниот провес f_{15z} , односно бараното растојание D_{A-Z-sr} , ќе биде:

$$F_{15z} = \sigma_{15z} \cdot A_z = 13,33 \cdot 48,36 = 645 \text{ daN}.$$

г) Пресметка на максималното работно напрегање σ_{Mz}

Бидејќи е $a_{kz} < a$, максималното работно напрегање σ_{Mz} на заштитното јаже ќе се јави исто така при $-5^{\circ}\text{C} + \text{НЗДТ}$. За да ја најдеме вредноста на ова напрегање, тргнуваме од познатата состојба за 15°C , додека непозната е состојбата при $-5^{\circ}\text{C} + \text{НЗДТ}$:

$$\theta_0 = 15^{\circ}\text{C}; \sigma_0 = 13,33 \text{ daN/mm}^2; p_0 = 7,8 \cdot 10^{-3} \text{ daN/m, mm}^2;$$

$$\theta = -5^{\circ}\text{C}; p = \bar{p}_z = 18,966 \cdot 10^{-3} \text{ daN/m, mm}^2; \sigma = \bar{\sigma}_{-5z} = ?.$$

$$\bar{\sigma}_{-5z} + 15,794 = (181,8/\bar{\sigma}_{-5z})^2 \Rightarrow \bar{\sigma}_{-5z} = \sigma_{Mz} = 28 \text{ daN/mm}^2.$$



Пример 3.3. За распонот од претходниот Пример 3.2 да се изврши проверка на растојанијата помеѓу спроводниците и јажињата во средината од распонот при температура $\theta = 40^\circ\text{C}$ и во услови без ветар, согласно Правилникот [2].

Решение:

Според одредбите од Правилникот, во услови без ветар и при $+40^\circ\text{C}$ е потребно растојанијата помеѓу било кои два спроводника, односно помеѓу било кој фазен спроводник и заштитното јаже, во средината од распонот да бидат поголеми од вредноста:

$$D_{\min} = k_v \cdot \sqrt{f_{40} + L_{tz}} + d_s.$$

Исто така, растојанието од заштитното јаже до било кој спроводник во истите услови не смее да биде помало од вредноста:

$$D_{\min,z} = k_z \cdot \sqrt{f_{40z}} + d_s.$$

За да ги извршиме бараните проверки, најнапред ќе биде потребно да ги пресметаме напрегањата σ_{40} и σ_{40z} на спроводниците и заштитното јаже при температурата $\theta = 40^\circ\text{C}$. Со примена на равенката на состојбата, тргнувајќи притоа од познатата состојба при $+15^\circ\text{C}$, лесно ќе се добијат бараните напрегања:

$$\sigma_{40} = 5,088 \text{ daN/mm}^2; \quad f_{40} = p \cdot a^2 / (8\sigma_{40}) = 10,48 \text{ m};$$

$$\sigma_{40z} = 12,53 \text{ daN/mm}^2; \quad f_{40z} = p_z \cdot a^2 / (8\sigma_{40z}) = 9,53 \text{ m};$$

$$\Delta f = f_{40} - f_{40z} = 10,48 - 9,53 = 0,95 \text{ m}.$$

Под дејство на ветрот, кој делува со својот полн притисок $P_v = 90 \text{ daN/m}^2$, спроводниците ќе се отклонат од вертикалата за агол $\alpha_v = 58,7^\circ$, додека заштитното јаже ќе се отклони за агол $\alpha_z = 65^\circ$.

a) Пресметка на растојанијата спроводник–спроводник D_{v-v}

Потребното растојание D_{\min} , според нашите прописи, во овој случај ќе изнесува:

$$D_{\min} = k_v \cdot \sqrt{f_{40} + L_{tz}} + d_s.$$

Бидејќи се работи за 110 kV далекувод, сигурносното растојание ќе биде $d_s = 90 \text{ cm}$. Понатаму имаме:

$$k_v = 2 + \alpha_v/10 = 2 + 58,7/10 = 7,87 \text{ (кос распоред)}.$$

Според тоа, потребното растојание D_{\min} ќе изнесува:

$$D_{\min} = 7,87 \cdot \sqrt{1048+145} + 90 = 362 \text{ cm}.$$

Од нацртот на главата на столбовите произлегува дека ќе имаме:

$$D_{A-B} = \sqrt{(a+b)^2 + e^2} = \sqrt{5,20^2 + 1,85^2} = 5,52 \text{ m} = 552 \text{ cm};$$

$$D_{A-C} = \sqrt{(c-a)^2 + (e+f)^2} = \sqrt{0,95^2 + 3,70^2} = 3,82 \text{ m} = 382 \text{ cm};$$

$$D_{B-C} = \sqrt{(b+c)^2 + f^2} = \sqrt{5,95^2 + 1,85^2} = 6,23 \text{ m} = 623 \text{ cm},$$

па според тоа, на релација спроводник-спроводник, критично ќе биде растојанието D_{AC} помеѓу фазите „А“ и „С“, т.е. $D_{v-v} = D_{A-C} = 382 \text{ cm}$.

Бидејќи критичното растојание $D_{v-v} > D_{\min}$ ($382 \text{ cm} > 362 \text{ cm}$), следува дека условот $D_{v-v} > D_{\min}$ е задоволен.

б) Пресметка на најмалото растојание спроводник–заштитно јаже D_{v-z}

Како што беше веќе кажано, растојанието од билок кој спроводник до било кој друг спроводник односно заштитно јаже, во средината од распонот и при $+40^\circ\text{C}$ во услови без ветар, треба да изнесува најмалку $D_{\min} = 362 \text{ cm}$.

Од сликата 3.1.1 се гледа дека во таа смисла, критично е растојанието на релација фаза „А“ – заштитно јаже „Z“. Физичкото растојание на релацијата „А–Z“ во средината од распонот при температура $\theta = 40^\circ\text{C}$ и во услови без ветар ќе биде:

$$D_{A-Z} = D_{Z-A} = \sqrt{a^2 + (d + L_{iz} + \Delta f_{40})^2};$$

$$D_{A-Z} = \sqrt{2,60^2 + (3 + 1,45 + 0,95)^2} = 5,99 \text{ m} = 599 \text{ cm}.$$

па според тоа, условот $D_{v-z} \equiv D_{A-Z} > D_{\min}$ е повторно исполнет.

в) Потребно растојание од заштитно јаже до спроводниците $D_{z,\min}$

Од нацртот на главата на столбот е очигледно дека најблиску до заштитното јаже се наоѓа спроводникот од фазата „А“, и во разгледуваниот случај, тоа растојание изнесува $D_{A-Z} = D_{Z-A} = 589 \text{ cm}$. Потребното растојание D_z од заштитното јаже до било кој спроводник, според нашите прописи ќе изнесува:

$$D_{z,\min} = k_z \cdot \sqrt{f_{40,z}} + d_s = 8,5 \cdot \sqrt{953} + 90 = 352 \text{ cm}.$$

Бидејќи вистинското растојание D_{Z-A} е поголемо од потребното $D_{z,\min}$, следува дека и во овој, последен, случај на проверка прописите во поглед на растојанијата во средината од распонот ќе бидат задоволени. Тоа значи дека избраниот столб ќе задоволи по тие барања во разгледуваните услови на неговото користење.

До истиот заклучок може да се дојде и на нешто пократок начин, преку податокот за *електричниот распон* на столбот.

Од досега кажаното произлегува дека најмалото растојание D_{v-v} на релацијата спроводник–спроводник, односно спроводник–заштитно јаже изнесува $D_{v-v} = D_{A-C} = 382 \text{ cm}$, додека на релацијата заштитно јаже–спроводник минималното растојание D_{z-v} помеѓу заштитното јаже и било кој спроводник изнесува $D_{z-v} = D_{Z-A} = 589 \text{ cm}$.

Дозволената вредност на провесот на спроводниците f_{40} во тој случај, според релацијата (8.6), ќе биде:

$$f_{40} = \frac{(D_{v-v} - d_s)^2}{k_v} - L_{iz} = \frac{(382 - 90)^2}{7,87^2} - 145 = 1194 \text{ cm} = 11,94 \text{ m}.$$

Напрегањето σ_{40} во спроводниците при $+40^\circ\text{C}$, кое одговара на овој провес, според релацијата (8.17), се добива како решение на следната квадратна равенка:

$$\sigma_{40}^2 + A \cdot \sigma_{40} - B = 0.$$

Коефициентите A и B се оглед на зададените бројни вредности, ќе бидат:

$$A = \frac{3p \cdot \sigma_M^2 \cdot (45 \cdot \alpha \cdot E - \sigma_M)}{3p \cdot \sigma_M^2 + \bar{p}^2 \cdot E \cdot f_{40}} = \frac{-2,0746}{3,84} = -0,54025;$$

$$B = \frac{p^2 \cdot \sigma_M^2 \cdot E \cdot f_{40}}{3p \cdot \sigma_M^2 + \bar{p}^2 \cdot E \cdot f_{40}} = \frac{90,341}{3,84} = 23,5264;$$

$$\sigma_{40} = \frac{-A + \sqrt{A^2 + 4B}}{2} = 5,128 \frac{\text{daN}}{\text{mm}^2}.$$

Конечно, со помош на релацијата (8.14) се пресметува бараниот електричен распон:

$$a_{el} = \sqrt{\frac{8 \cdot f_{40} \cdot \sigma_{40}}{p}} = 375 \text{ m.}$$

На сличен начин се постапува и во случајот кога се разгледуваат растојанијата на релација заштитно јаже–спроводник. Во тој случај се добива:

$$D_{z-v} = D_{z-A} = 589 \text{ cm}; \quad f_{40,z} = (D_{z-v} - d_s)^2 / k^2 = \frac{(589-90)^2}{8,5^2} = 3446 \text{ cm} = 34,46 \text{ m};$$

$$\sigma_{40,z}^2 - 1,1314 \cdot \sigma_{40,z} + 106,767 = 0 \Rightarrow \sigma_{40,z} = 10,914 \text{ daN/mm}^2;$$

$$a_{el,z} = \sqrt{\frac{8 \cdot f_{40,z} \cdot \sigma_{40,z}}{p_z}} = 621 \text{ m.}$$

Според тоа електричниот распон на разгледуваниот столб ќе изнесува:

$$a_{el} = \min\{375; 621\} = 375 \text{ m.}$$

Бидејќи предвидениот распон a е помал од електричниот распон за овој столб ($a < a_{el}$), произлегува дека условите пропишани со Правилникот ќе бидат задоволени.

■ ■ ■

Задача 3.2. Да се утврди дали истиот столб од примерот 3.3, при истите максимални работни напрегања σ_M и σ_{Mz} , при истите климатски услови ($k_n = 1,0$; $P_v = 90 \text{ daN/m}^2$) и во истиот распон $a = 350 \text{ m}$ ќе задоволи во поглед на дозволените растојанија во средината од распонот при температурата $\theta = +40^\circ\text{C}$, ако се работи за истото заштитно јаже но за друг вид фазни спроводници, од типот Al/C 240/40 mm².

Одговор: Не, бидејќи во тој случај електричниот распон на столбот ќе изнесува $a_{el} = 343,1 \text{ m}$, т.е. ќе биде помал од распонот a . (види пример 7.2 од учебникот [1]).

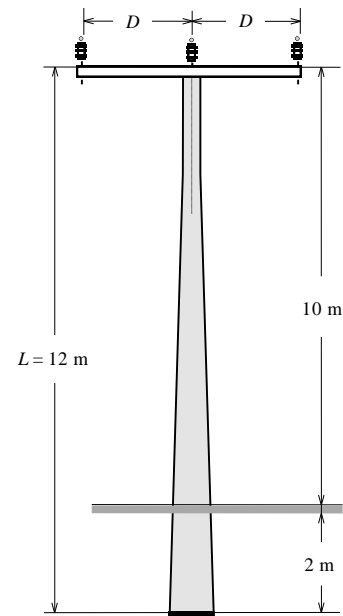
■ ■ ■

Пример 3.4. Бетонски столб, прикажан на сликата 3.4, се состои од бетонски јарбол долг $L = 12$ m и бетонска конзола со непозната должина $2D$. Столбот е наменет за изведба на 20 kV далекувод со потпорни изолатори и со спроводници Al/Č 50/8 mm² закои е усвоено максимално работно напрегање $\sigma_M = 8$ daN/mm². Далекуводот ќе минува низ регион со следните климатски параметри:

- фактор на НЗДТ $k_n = 1,0$;
- Притисок на ветрот $P_V = 50$ daN/m².

Спроводниците Al/Č 50/8 mm² ги имаат следните карактеристики:

$A = 56,3$ mm²; $d = 9,5$ mm; $M = 196$ kg/km; $G = 192$ daN/km; $\alpha = 19,1 \cdot 10^{-6}$ 1/°C; $E = 8.100$ daN/mm²; $p = 3,397 \cdot 10^{-3}$ daN/m, mm²; $\bar{p} = p + \Delta p = 13,303 \cdot 10^{-3}$ daN/m, mm². Да се утврди колкаво треба да биде растојанието помеѓу секои два соседни спроводника на конзолата од столбот D така што неговиот електричен распон во дадените услови да изнесува $a_{el} = 120$ m.



Слика 3.4

Решение:

За секој распон a , па според тоа и за случајот кога се работи за електричниот распон a_{el} , постои следната релација:

$$a_{el}^2 = \frac{8 \cdot \sigma_{40} \cdot f_{40}}{p}$$

Кога провесот f_{40} го изразуваме во cm, тогаш ќе важи:

$$a_{el}^2 = \frac{8 \cdot \sigma_{40} \cdot f_{40}}{100 \cdot p}$$

Во последната релација фигурираат две непознати величини; тоа се напрегањето σ_{40} и провесот на спроводниците f_{40} при температура $\theta = 40^\circ\text{C}$. Во задачата најнапред ќе ја пресметаме вредноста σ_{40} со помош на равенката на состојбата, а потоа, со помош на претходната релација, ќе го пресметаме и провесот на спроводниците f_{40} во електричниот распон. Потоа, со така пресметаниот провес f_{40} , ќе го пресметаме и бараното растојание D .

Имајќи предвид дека критичниот распон во разгледуваните услови изнесува $a_k = 51,3$ m и тој е помал од разгледуваниот (електричниот), следува дека напрегањето ќе биде максимално во состојбата при $-5^\circ\text{C} + \text{НЗДТ}$. Таа наедно ќе биде и појдовна (позната) состојба, т.е. ќе имаме:

$$\theta_0 = -5^\circ\text{C}; \quad \sigma_0 = \sigma_M = 8 \text{ daN/mm}^2;$$

$$p_0 = p + \Delta p = 13,303 \cdot 10^{-3} \text{ daN/m, mm}^2.$$

Со примената на равенката на состојбата ја добиваме следната релација:

$$\sigma_{40} + 12,4 = \frac{7,489^2}{\sigma_{40}^2} \Rightarrow \sigma_{40} = 1,975 \text{ daN/mm}^2;$$

$$f_{40} = \frac{p \cdot a_{el}^2}{8 \sigma_{40}} = \frac{3,397 \cdot 10^{-3} \cdot 120^2}{8 \cdot 1,975} = 3,1 \text{ m} = 310 \text{ cm}.$$

Истовремено, според Правилникот [1], растојанието D помеѓу било кои два соседни спроводника на главата на столбот, изразено во см, мора да биде поголемо или еднакво од вредноста:

$$D \geq D_{\min} = k \cdot \sqrt{f_{40} + L_{iz}} + d_S,$$

и во неа сите величини се изразени исто така во см. Во разгледуваниот случај ќе имаме:

$$L_{iz} = 0 \text{ (согласно Правилникот за потпорни изолатори);}$$

$$d_S = d_{S1} = 25 \text{ см (согласно табелата 3.1, за } U_n = 20 \text{ kV)}$$

$$k = 4 + \alpha/25 \text{ (} k \geq 6 \text{) (за спроводници/јажиња во хоризонтален замен распоред и за номинални напони до 20 kV – вклучително).}$$

За аголот на отклон на спроводниците под дејство на ветрот со својот максимален (полн) притисок ќе добиеме:

$$\alpha = \arctg \frac{F_V}{G} = \arctg \frac{1 \cdot 50 \cdot 0,0096}{0,981 \cdot M} = \arctg \frac{0,48}{0,192} = 68,2^\circ$$

па според тоа, коефициентот k ќе добие вредност:

$$k = 4 + 68,2/25 = 6,73.$$

Кога се работи за електричниот распон, тогаш растојанието помеѓу двата најблиски спроводника е токму еднакво на бараното, т.е. тогаш ќе важи:

$$D = D_{\min} = k \cdot \sqrt{f_{40} + L_{iz}} + d_S.$$

Во последната релација единствена непозната е бараното растојание D . Значи, добиваме:

$$D = 6,73 \cdot \sqrt{310 + 0} + 25 = 143,5 \text{ см или } D = 1,44 \text{ м.}$$

■ ■ ■

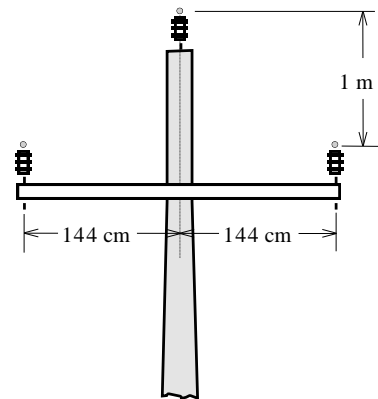
Задача 3.3. Се посматра столбот од примерот 3.4. Колкаво е растојанието D за случајот кога сакаме електричниот распон на столбот да изнесува $e_{el} = 150$ м. (Одговор: $D = 1,67$ м).

■ ■ ■

Задача 3.4. Колкав е електричниот распон на столбот од примерот 3.4 ако конзолата со широчина $2D = 2 \times 144$ см = 288 см се спушти за 1 м, така што спроводниците ќе имаат триаголен распоред (сл. 3.3.4.1).

(Одговор: $a_{el} = 153,3$ м.).

■ ■ ■

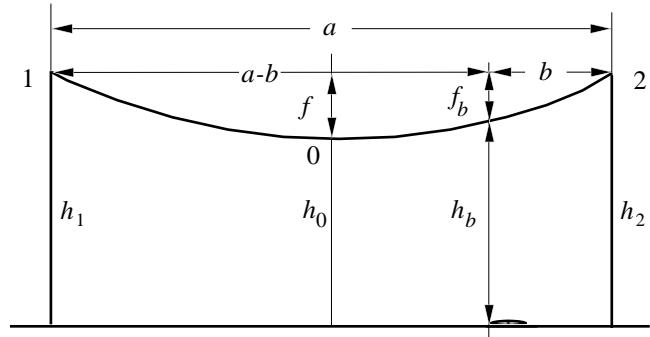


Слика 3. 3.4.1

ЗАДАЧИ ОД РАЗНИ ОБЛАСТИ

Пример 4.1. Се посматра хоризонтален распон $a = 300$ m. Спроводниците во распонот се комбинирани Al/C јажиња $240/40$ mm², за кои се познати следните податоци: ($A = 282,5$ mm²; $G = 968$ daN/m; $d = 21,9$ mm; $E = 7700$ daN/mm²; $\alpha = 18,9 \cdot 10^{-6}$ 1/°C; $p = G/A = 3,426 \cdot 10^{-3}$ daN/m,mm²). Обете точки на обесување “1” и “2” се наоѓаат на иста висина над тлото $h_1 = h_2 = 17,3$ m. Водот е граден за следните климатски параметри: фактор на НЗДТ $k_n = 1,6$; притисок на ветрот $P_v = 75$ daN/m².

Во состојбата при температура на спроводниците $\theta = 20^\circ\text{C}$ висината на спроводниците над работ од патот, кој се наоѓа на растојание $b = 50$ m десно од столбот бр. 2, изнесува $h_b = 11,79$ m. Да се пресмета напрегањето σ_{20} на спроводниците во посматраната ситуација и да се пресмета висината на спроводниците над тлото во средината од распонот $h_0 = ?$



Решение:

Провесот f_b на спроводниците во точката В од синцирницата, согласно сликата, ќе биде:

$$f_b = y_2 - h_b = 17,3 - 11,79 = 5,51 \text{ m.}$$

Помеѓу провесот f_b во точката В и провесот f во средината од распонот постои следната релација:

$$f_b = 4f \cdot \frac{b \cdot (a-b)}{a^2} \Rightarrow f = f_b \cdot \frac{a^2}{4b \cdot (a-b)} \text{ или:}$$

$$f = f_{20} = 5,51 \cdot \frac{300^2}{4 \cdot 50 \cdot 250} = 9,93 \text{ m.}$$

За висината h_0 на спроводниците над тлото во средината од распонот, според сликата, добиваме:

$$h_0 = h_1 - f = 17,3 - 9,93 = 7,37 \text{ m.}$$

Според тоа, напрегањето на спроводниците σ_{20} при 20°C ќе биде:

$$f_{20} = \frac{p \cdot a^2}{8\sigma_{20}} \Rightarrow \sigma_{20} = \frac{p \cdot a^2}{8f_{20}} = \frac{3,426 \cdot 10^{-3} \cdot 300^2}{8 \cdot 9,93} = 3,883 \text{ daN/mm}^2.$$

■ ■ ■

Пример 4.2. За распонот од примерот 4.1. да се утврди во која од следните две состојби: при -20°C или при $-5^\circ\text{C} + \text{НЗДТ}$, напрегањето на спроводниците е поголемо.

Решение:

Задачата ќе ја решиме на тој начин што со примена на равенката на состојбата, тргнувајќи од познатата состојба при 20°C , ќе ги определиме напрегањата во

споменатите состојби. Според тоа, и во обата случаја, параметрите p_0 , σ_0 и θ_0 на познатата состојба ќе бидат:

$$p_0 = p = 3,426 \cdot 10^{-3} \text{ daN/m,mm}^2; \sigma_0 = \sigma_{20} = 3,883 \text{ daN/mm}^2; \theta_0 = 20^\circ \text{C}.$$

За состојбата при -20°C , ќе имаме:

$$\theta = -20^\circ\text{C}; p = 3,426 \cdot 10^{-3} \text{ daN/mm}^2; \sigma = \sigma_{-20} = ?$$

$$m = \frac{p_0^2 \cdot a^2}{24 \cdot \sigma_0^2} \cdot E + \alpha \cdot E \cdot (\theta - \theta_0) - \sigma_0 =$$

$$= \frac{3,426^2 \cdot 10^{-6} \cdot 300^2}{24 \cdot 3,883^2} \cdot 7700 - 18,9 \cdot 10^{-6} \cdot 7700 \cdot (-20 - 20) - 3,883 = 12,774$$

$$n = p \cdot a \cdot \sqrt{E/24} = 3,426 \cdot 10^{-3} \cdot 300 \cdot \sqrt{7700/24} = 18,41;$$

$$\sigma_{-20} + 12,774 = 18,41 / \sigma_{-20}^2 \Rightarrow \sigma_{-20} = 4,438 \text{ daN/mm}^2$$

Тежината на зинскиот додатен товар за состојбата при $-5^\circ\text{C} + \text{НЗДТ}$ ќе биде:

$$\Delta G = k_n \cdot g = k_n \cdot 0,18 \cdot \sqrt{d} = 1,6 \cdot 0,18 \cdot \sqrt{21,9} = 1,348 \text{ daN/m};$$

$$\Delta p = \Delta G / A = 1,348 / 282,5 = 4,771 \cdot 10^{-3} \text{ daN/m,mm}^2$$

Специфичната тежина на спроводникот за оваа состојба, според тоа, ќе биде:

$$\bar{p} = p + \Delta p = (3,426 + 4,771) \cdot 10^{-3} = 8,197 \cdot 10^{-3} \text{ daN/m,mm}^2$$

Значи, за состојбата при $-5^\circ\text{C} + \text{НЗДТ}$ ќе имаме:

$$\theta = -5^\circ\text{C}; p = 8,197 \cdot 10^{-3} \text{ daN/mm}^2; \sigma = \bar{\sigma}_{-5} = ?$$

Понатаму имаме:

$$m = \frac{3,426^2 \cdot 10^{-6} \cdot 300^2}{24 \cdot 3,883^2} \cdot 7700 + 18,9 \cdot 10^{-6} \cdot 7700 \cdot (-5 - 20) - 3,883 = 14,957.$$

$$n = 8,197 \cdot 10^{-3} \cdot 300 \cdot \sqrt{7700/24} = 44,047;$$

$$\bar{\sigma}_{-5} + 14,957 = 44,047^2 / \bar{\sigma}_{-5}^2 \Rightarrow \bar{\sigma}_{-5} = 9 \text{ daN/mm}^2$$

Според тоа, напрегањето на спроводниците е поголемо во состојбата при $-5^\circ\text{C} + \text{НЗДТ}$.



Задача 4.1. Да се утврди во која од следните две состојби: а) при $\theta = \theta_{\max} = 40^\circ\text{C}$ или б) при $-5^\circ\text{C} + \text{НЗДТ}$, провесот на спроводниците во распонот анализиран во примерот 4.1 е поголем.

Решение:

а) Состојба при $-5^\circ\text{C} + \text{НЗДТ}$: $\bar{\sigma}_{-5} = 9 \text{ daN/mm}^2$; $\bar{f}_{-5} = \bar{p} \cdot a^2 / 8\bar{\sigma}_{-5} = 10,25 \text{ m}$

б) Состојба при 40°C : $m = 20,774$; $n = 18,41$; $\sigma_{40} = 3,669 \text{ daN/mm}^2$; $f_{40} = 10,5 \text{ m}$.



Задача 4.2. За распонот од примерот 4.1 да се провери дали напрегањето $\bar{\sigma}'$ на спроводниците во точките на обесување во состојбата при $-5^\circ\text{C} + \text{ИЗДТ}$ ја надминува вредноста на исклучителното дозволено напрегање $\sigma_{id} = 24,5 \text{ daN/mm}^2$.

Решение:

Позната состојба: $\theta_0 = -5^\circ\text{C}$; $p_0 = \bar{p} = 8,197 \cdot 10^{-3} \text{ daN/mm}^2$; $\sigma_0 = 9 \text{ daN/mm}^2$

Непозната состојба: $\theta = -5^\circ\text{C}$; $p = \bar{p} = 12,968 \cdot 10^{-3} \text{ daN/mm}^2$; $\sigma = \bar{\sigma}' = ?$

$$m = \frac{p_0^2 \cdot a^2}{24 \cdot \sigma_0^2} \cdot E + \alpha \cdot E \cdot (-5 + 5) - \sigma_0 = 14,952 \text{ daN/mm}^2; n = \bar{p} \cdot a \cdot \sqrt{E/24} = 65,699$$

$$\bar{\sigma}' + 14,952 = 65,699^2 / \bar{\sigma}'^2 \Rightarrow \bar{\sigma}' = 12,532 \text{ daN/mm}^2 < \sigma_{id}.$$

■ ■ ■

Пример 4.3 Се посматра затезно поле од еден 110 kV далекувод кој треба да биде изведен со спроводници Al/Fe 240/40 mm². Усвоеното максимално работно напрегање изнесува $\sigma_M = 9 \text{ daN/mm}^2$, а климатските параметри се следните: притисок на ветрот $P_V = 75 \text{ daN/m}^2$ и фактор на НЗДТ $k_n = 1,0$. Се предвидува носечките столбови од далекуводот да бидат се од типот „S“ (ЕМО-Охрид) (сл. П.4.3.1) додека затезните, од типот А150. Употребените носечки изолатори ќе имаат должина $L_{iz} = 1,5 \text{ m}$. Затезното поле е составено од 5 распони: $a_1 = 300 \text{ m}$, $a_2 = 320 \text{ m}$, $a_3 = 400 \text{ m}$, $a_4 = 278,5 \text{ m}$ и $a_5 = 310 \text{ m}$. Распонот бр 3 е преголем за предвидените столбови од аспект на дозволените растојанија во средината од распонот при температура $\theta = 40^\circ\text{C}$ ($a_{el} = 359,1 \text{ m}$; видете го примерот 7.2 од учебникот), па проблемот треба да се реши со примена на зголемено напрегање на највисоката фаза „А“, со што би се постигнало поголемо растојание D_{A-C} во средината од распонот. Да се пресмета колкаво треба да биде максималното работно напрегање σ_M^+ за фазата „А“.

Решение:

Тргувајќи од познатата состојба $\theta_0 = -5^\circ\text{C}$; $p_0 = \bar{p} = p + \Delta p = 6,408 \cdot 10^{-3} \text{ daN/m,mm}^2$ и $\sigma_0 = \sigma_M = 9 \text{ daN/mm}^2$ при $-5^\circ\text{C} + \text{НЗДТ}$, најнапред ќе го пресметаме напрегањето σ_{40} , а потоа и провесот $f_{40,3}$ на фазите „А“ и „В“ во третиот распон за состојбата при $\theta = 40^\circ\text{C}$ (без ветер). Како резултат се добива:

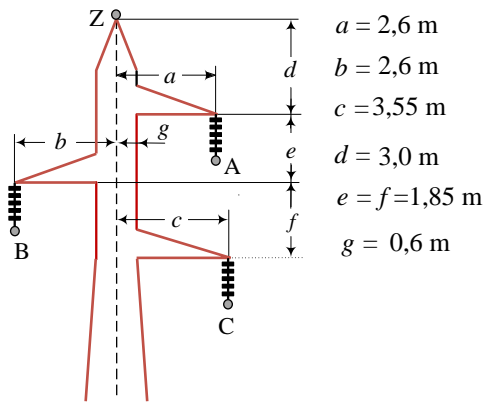
$$a_i = 330 \text{ m}; n = p \cdot a_i \cdot \sqrt{E/24} = 20,251;$$

$$m = \frac{p_0^2 \cdot a_i^2}{24 \cdot \sigma_0^2} \cdot E + \alpha \cdot E \cdot (\theta - \theta_0) - \sigma_0 = 15,261;$$

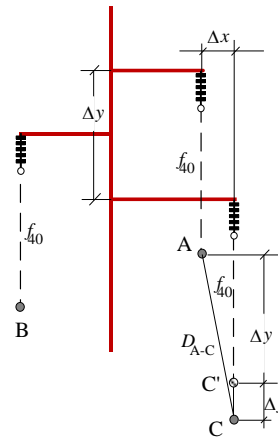
$$\Rightarrow \sigma_{40} = 4,551 \text{ daN/mm}^2.$$

Во тој случај, провесот $f_{40,3}$ ќе биде:

$$f_{40} = \frac{p \cdot a_3^2}{8 \cdot \sigma_{40}} = \frac{3,426 \cdot 10^{-3} \cdot 400^2}{8 \cdot 4,55} = 15,063 \text{ m} = 1506 \text{ cm}.$$



Слика П.4.3.1



Слика П.4.3.2

Сега можеме да го пресметаме најмалото потребно растојание D_{\min} во средината од третиот распон, дефинирано со Правилникот:

$$\alpha = 180 / \pi \cdot \arctg(P_V \cdot d / G) = 59,48^\circ;$$

$$k = 2 + \alpha / 10 = 2 + 59,48 / 10 = 7,948$$

$$D_{\min} = k \cdot \sqrt{f_{40,3} + L_{IZ}} + d_s = 7,948 \cdot \sqrt{1506 + 150} + 90 = 413 \text{ cm.}$$

Сега можеме да го пресметаме потребното намалување на провесот Δf кај фазата „А“ што ќе услови зголемено растојание D_{A-C} помеѓу фазите „А“ и „С“ во средината од распонот така што ќе биде постигнат условот $D_{\min} = D_{A-C}$. Од сликата П.4.3.2 се добива дека вистинското растојание D_{A-C} помеѓу фазите „А“ и „С“ во средината од распонот ќе биде:

$$\Delta x = (c - a) = (355 - 260) = 95 \text{ cm; } \Delta y = (e + f) = (185 + 185) = 370 \text{ cm.}$$

$$D_{\text{вист.}} = \sqrt{\Delta x^2 + (\Delta y + \Delta f)^2} \equiv D_{A-C} \Rightarrow \Delta f = \sqrt{D_{A-C}^2 - \Delta x^2} - \Delta y = 31,93 \text{ cm.}$$

Значи, провесот f'_{40} во горната фаза „А“ ќе биде:

$$f'_{40} = f_{40} - \Delta f = 1506 - 31,93 = 1474,33 \text{ cm} = 14,743 \text{ m.}$$

На овој провес му одговара напрегање σ'_{40} :

$$\sigma'_{40} = \frac{p \cdot a_3^2}{8 \cdot f'_{40}} = \frac{3,427 \cdot 10^{-3} \cdot 400^2}{8 \cdot 14,743} = 4,649 \frac{\text{daN}}{\text{mm}^2} = 1,0214 \cdot \sigma_{40}$$

И конечно, тргнувајќи од познатата нова состојба при $+40^\circ\text{C}$ за фазата „А“, со примена на равенката на состојбата се добива напрегањето кое ќе наедно ќе биде и максимално работно напрегање за оваа фаза.

$$\bar{\sigma}'_{-5} + 7,788 = \frac{37,883^2}{\bar{\sigma}'_{-5}^2} \Rightarrow \bar{\sigma}'_{-5} = 9,193 \frac{\text{daN}}{\text{mm}^2} = 1,0214 \cdot \sigma_M.$$

■ ■ ■

Пример 4.4. Да се докаже дека резултантната вертикална сила F_G со која спроводниците дејствуваат врз точката на зацврстување при еден столб може приближно, но сепак доволно точно, да се пресметува со помош на равенката:

$$F_G = G \cdot a_{gr} = p \cdot A \cdot a_{gr},$$

кадешто a_{gr} е т.н. „гравитационен распон”, дефиниран како растојание помеѓу темињата од синцирниците во двата соседни распона.

Решение:

Компонентите σ_x и σ_y на напрегањето во спроводниците во било која точка од синцирницата ќе бидат:

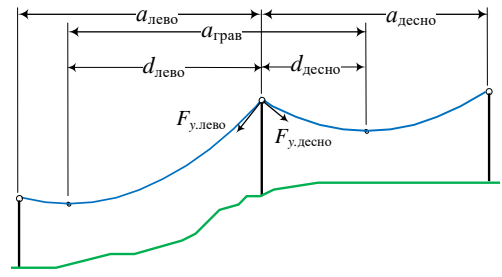
$$\sigma_x = \sigma = const.; \quad \sigma_y = \sigma \cdot \text{sh}(|x|/c) \approx \sigma \cdot (|x|/c) = p \cdot |x|$$

На тој начин добиваме:

$$\sigma_{y, \text{лево}} = p \cdot d_{\text{лево}}; \quad F_{y, \text{лево}} = \sigma_{y, \text{лево}} \cdot A = p \cdot A \cdot d_{\text{лево}};$$

$$\sigma_{y, \text{десно}} = p \cdot d_{\text{десно}}; \quad F_{y, \text{десно}} = \sigma_{y, \text{десно}} \cdot A = p \cdot A \cdot d_{\text{десно}}$$

$$F_G = F_{y, \text{лево}} + F_{y, \text{десно}} = p \cdot A \cdot (d_{\text{лево}} + d_{\text{десно}}) = p \cdot A \cdot a_{gr}$$



Слика П.4.4.1



Пример 4.5. Да се докаже дека во општ случај гравитациониот распон при некој столб може да се пресмета со помош на формулата:

$$a_{gr} = \frac{a_{\text{лево}} + a_{\text{десно}}}{2} + c \cdot \left(\frac{\Delta h_{\text{лево}}}{a_{\text{лево}}} - \frac{\Delta h_{\text{десно}}}{a_{\text{десно}}} \right)$$

Ознаките во оваа формула се усогласени со претходната слика.

Решение:

$$d_{\text{лево}} = \frac{a_{T, \text{лево}}}{2} = \frac{a_{\text{лево}} + 2 \cdot c \cdot \Delta h_{\text{лево}} / a_{\text{лево}}}{2} = \frac{a_{\text{лево}}}{2} + c \cdot \frac{\Delta h_{\text{лево}}}{a_{\text{лево}}}$$

$$d_{\text{десно}} = a_{\text{десно}} - \frac{a_{T, \text{десно}}}{2} = a_{\text{десно}} - \frac{a_{\text{десно}} + 2 \cdot c \cdot \Delta h_{\text{десно}} / a_{\text{десно}}}{2} = \frac{a_{\text{десно}}}{2} - c \cdot \frac{\Delta h_{\text{десно}}}{a_{\text{десно}}}$$

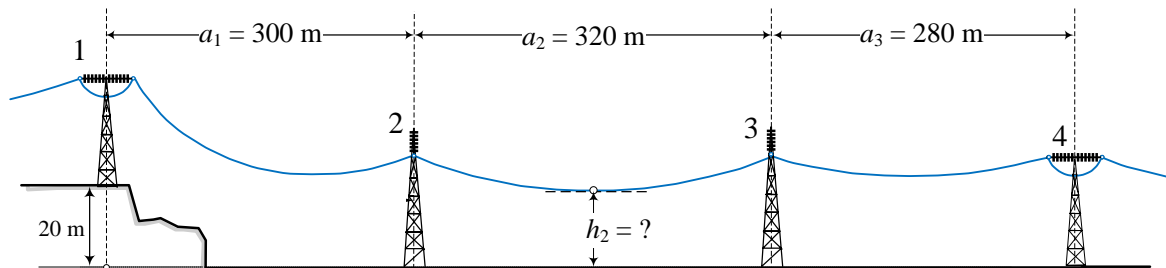
$$a_{gr} = d_{\text{лево}} + d_{\text{десно}} = \frac{a_{\text{лево}} + a_{\text{десно}}}{2} + c \cdot \left(\frac{\Delta h_{\text{лево}}}{a_{\text{лево}}} - \frac{\Delta h_{\text{десно}}}{a_{\text{десно}}} \right), \text{ ИЛИ}$$

$$a_{gr} = \frac{a_{\text{лево}} + a_{\text{десно}}}{2} + c \cdot \left(\frac{\Delta h_{\text{лево}}}{a_{\text{лево}}} - \frac{\Delta h_{\text{десно}}}{a_{\text{десно}}} \right)$$



Пример 4.6. На сликата е прикажано затезно поле од еден 110 kV далекувод, составено од три распони: $a_1 = 300$ m, $a_2 = 320$ m и $a_3 = 280$ m. Водот е изведен со спроводници $Al/\check{C} 240/40$ mm². Должината на носечките изолаторските синцири изнесува $L_{iz} = 1,8$ m а тежината $G_{iz} = 58,4$ m. Предвидено е далекуводот да биде изграден за следните услови: максимално работно напрегање $\sigma_M = 9$ daN/mm², фактор на НЗДТ $k_n = 1,6$, притисок на ветрот $P_V = 75$ daN/m². Во табелата Т.4.6.1 е прикажана столбната листа на посматраното затезно поле. Во неа со H_S се означени височините на столбовите до најниската (долната) конзола. Потребно е:

- а) да се пресмета приближната и точната вредност на идеалниот распон;
 б) да се формираат монтажните табели за посматраното затезно поле;
 в) колкава е висината $h_{2,40}$ на спроводниците над тлото во распонот a_2 при $\theta = 40^\circ\text{C}$;
 г) колкава е висината $h_{2,80}$ на спроводниците над тлото во распонот a_2 при $\theta = 80^\circ\text{C}$;
 д) да се пресмета гравитациониот распон a_{gr} на столбот бр. 2 при температура $\theta = 40^\circ\text{C}$;
 е) колкав е аголот на отклон α_2 на изоляторите при столбот бр. 2 под дејство на ветрот кој дејствува со својот полн притисок, при температура $\theta = 40^\circ\text{C}$;



Слика П.4.6.1. Графички приказ на анализираното затезно поле

Табела Т.4.6.1. Столбна листа на затезното поле

Столб број	Столб тип	Стационажа X_s (m)	Височина H_s (m)	Изолација тип	Должина L_{iz} (m)	Тежина G_{iz} (daN)
1	A150	0	16,0	EZ	/	65,2
2	S	300	21,8	ENP	1,8	58,4
3	S	620	21,8	ENP	1,8	58,4
4	A150	900	18,0	EZ	/	65,2

Решение:

а) Пресметка на идеалниот распон

$$a_i \approx \sqrt{\frac{\sum a_j^3}{\sum a_j}} = \sqrt{\frac{a_1^3 + a_2^3 + a_3^3}{a_1 + a_2 + a_3}} = \sqrt{\frac{81,72 \cdot 10^6}{900}} = 301,330 \text{ m} - \text{приближна вредност};$$

$$a_i = \frac{\sum c_j^3 / a_j^2}{\sum c_j^2 / a_j} \cdot \sqrt{\frac{\sum a_j^3}{\sum c_j^2 / a_j}} = 301,324 \text{ m} - \text{точна вредност}.$$

б) Формирање на монтажните табели

Постапката за формирање на монтажните табели во случајов ќе биде идентична со онаа, применета во примерот 2.5.

Најнапред се пресметува критичниот распон a_k за да се утврди кога се јавува максималното работно напрегање σ_M т.е. која ќе биде почетната состојба за самата равенка на состојбата. Во случајов се добива $a_k = 99,7 \text{ m}$. Потоа, тргнувајќи од состојбата при $-5^\circ\text{C} + \text{НЗДТ}$, како позната, со повеќекратна примена на равенката на состојбата на идеалниот распон $a_i = 301,324 \text{ m}$, за разни вредности на температурата θ во интервалот $(-20^\circ\text{C} \text{ } +40^\circ\text{C})$ најнапред се добива зависноста $\sigma(\theta)$ а потоа и зависноста $f(\theta)$:

МОНТАЖНА ТАБЕЛА НА ПРОВЕСИ И НАПРЕГАЊА НА СПРОВОДНИЦИТЕ

Затезно поле бр. 1 помеѓу столбовите бр. 1 и бр. 4

Спроводници:

Al/Č 240/40 mm²

Максимално работно напрегање: 9 daN/mm²

9 daN/mm²

Фактор на НЗДТ:

1,6

Идеален распон:

301,324 m

Температура [°C]			-20	-10	0	10	20	30	40	-5+НЗДТ
Напрегање [daN/mm ²]			4,431	4,275	4,132	4,002	3,882	3,772	3,670	9,000
Сила на затегање [daN]			1252	1208	1167	1131	1097	1066	1037	2543
Провес [cm] во ид. распон			878	910	941	972	1002	1031	1059	1034
Столб број	Распон <i>a</i> [m]	Висинска разлика [m]	Провеси во вистинските распони [cm]							
			-20	-10	0	10	20	30	40	-5+НЗДТ
1-2	300	-20	872	904	935	966	995	1030	1059	1027
2-3	320	0	990	1026	1061	1096	1130	1169	1194	1166
3-4	280	-2	758	786	812	839	865	890	914	893

в) Пресметка на висината $h_{2,40}$ на спроводниците над тлото во распонот a_2 при 40°C

Од монтажната табела за температурата $\theta = 40^\circ\text{C}$ за распонот a_2 отчитуваме:

$$\sigma_{40} = 3,670 \text{ daN/mm}^2. \Rightarrow c_{40} = \sigma_{40} / p = 3,67 / 3,426 \cdot 10^{-3} = 1071,1 \text{ m}$$

Провесот во вториот распон $f_{2,40}$ може да се отчита од монтажната табела (1194 cm) или пак да се пресмета:

$$f_{2,40} = \frac{p \cdot a^2}{8\sigma_{40}} = \frac{3,426 \cdot 10^{-3} \cdot 320^2}{8 \cdot 3,67} = 11,94 \text{ m} \equiv 1194 \text{ cm}.$$

Висината на спроводниците над тлото во средината од распонот a_2 ќе се добие од самата геометрија на проблемот:

$$h_{2,40} = \frac{(H_{S2} - L_{iz,2}) + (H_{S3} - L_{iz,3})}{2} - f_{2,40} = \frac{20+20}{2} - 11,94 = 8,06 \text{ m}.$$

г) Пресметка на висината $h_{2,80}$ на спроводниците над тлото во распонот a_2 при 80°C

Со примена на равенката на состојбата, повторно тргнувајќи познатата состојба при $-5^\circ\text{C} + \text{НЗДТ}$, се добива бараното напрегање σ_{80} на температура $\theta = 80^\circ\text{C}$.

$$\sigma_{80} + 27,538 = 18,494^2 / \sigma_{80}^2 \Rightarrow \sigma_{80} = 3,329 \text{ daN/mm}^2.$$

Понатаму имаме:

$$f_{2,80} = \frac{p \cdot a^2}{8\sigma_{80}} = \frac{3,426 \cdot 10^{-3} \cdot 320^2}{8 \cdot 3,329} = 13,18 \text{ m}$$

$$h_{2,80} = \frac{(H_{S2} - L_{iz,2}) + (H_{S3} - L_{iz,3})}{2} - f_{2,80} = \frac{20+20}{2} - 13,18 = 6,82 \text{ m}.$$

д) Пресметка на гравитациониот распон $a_{gr.2}$ при столбот бр. 2

Во согласност со резултатот добиен во Примерот 4.5, за гравитациониот распон на столбот бр. 2 ќе имаме:

$$a_{gr.2} = \frac{a_1 + a_2}{2} + c_{40} \cdot \left(\frac{\Delta h_1}{a_1} - \frac{\Delta h_2}{a_2} \right) = \frac{300 + 320}{2} + 1071,1 \cdot \left(\frac{-20}{300} - \frac{0}{320} \right) = 238,6 \text{ m.}$$

Гравитациониот распон ќе ни послужи за пресметување на вертикалната сила $F_G = G \cdot a_{gr.2}$ со која фазниот спроводник, под дејство на земјината тежа, дејствува врз изолаторскиот синџир во точката на обесување „2“.

ѓ) Пресметка на аголот на отклон на изолаторите при столбот бр. 2

Аголот на отклон α на носечките изолаторски вериги кај некој столб под дејство на ветрот се добива врз основа на постапката опишана во Примерот 3.1 и релацијата (1). Врз точката на обесување „2“ во тој случај дејствуваат неколку сили, и тоа:

1) силата на ветрот F_V врз фазните спроводници која што се добива како производ:

$$F_V = P_V \cdot d \cdot a_{sr.2} = P_V \cdot d \cdot \frac{a_1 + a_2}{2} = 75 \cdot 21,9 \cdot 10^{-3} \cdot \frac{300 + 320}{2} = 509,2 \text{ daN,}$$

2) силата на сопствената тежина на самиот фазен спроводник F_G :

$$F_G = G \cdot a_{gr.2} = G \cdot \left[\frac{a_1 + a_2}{2} + c_{40} \cdot \left(\frac{\Delta h_1}{a_1} - \frac{\Delta h_2}{a_2} \right) \right] = 0,968 \cdot 238,6 = 231 \text{ daN,}$$

3) половина од силата F_{iz} со која ветрот дејствува врз изолаторскиот синџир:

$$F_{iz} = P_V \cdot S_{iz} = P_V \cdot (L_{iz} \cdot D_{iz}) = 75 \cdot 1,8 \cdot 0,1 = 13,5 \text{ daN:}$$

4) половина од силата $G_{iz} = 58,4 \text{ daN}$ на тежината на изолаторскиот синџир.

Според тоа, за аголот на отклон на изолаторскиот синџир кај столбот бр. „2“ при 40°C , кога ветрот дејствува со својот полн притисок, ќе добиеме:

$$\alpha_2 = \arctg \frac{P_V \cdot d \cdot a_{sr.2} + 0,5 \cdot F_{iz}}{G \cdot a_{gr.2} + 0,5 \cdot G_{iz}} \approx \arctg \frac{509,2 + 13,5 / 2}{231 + 58,4 / 2} = 63,2^\circ.$$

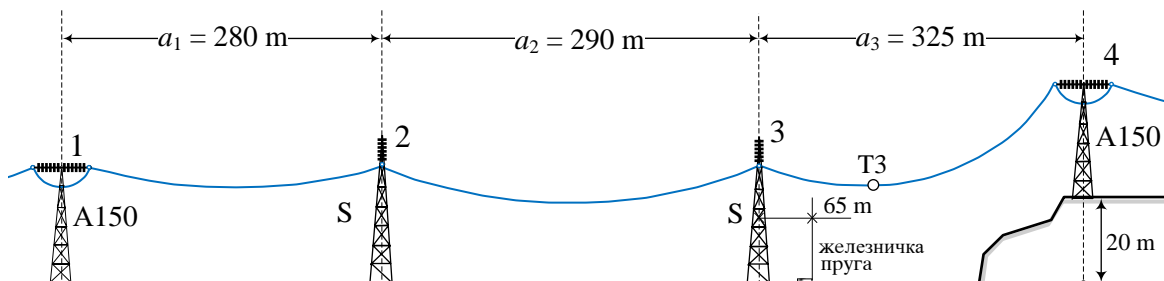


Пример 4.7. На сликата П.4.7.1 е прикажано затезно поле од еден 110 kV далекувод, составено од три распони: $a_1 = 280 \text{ m}$, $a_2 = 290 \text{ m}$ и $a_3 = 325 \text{ m}$. Водот е изведен со спроводници Al/C 240/40 mm². Во распонот a_3 водот се вкрстува со железничка пруга така што нејзиниот десен раб минува на растојание $\Delta x = 65 \text{ m}$ десно од оската на столбот бр. 3. Предвидено е далекуводот да биде изграден за следните услови: максимално работно напрегање $\sigma_M = 9 \text{ daN/mm}^2$, фактор на НЗДТ $k_n = 1,6$, притисок на ветрот $P_V = 75 \text{ daN/m}^2$. Должината на носечките изолаторски синџири изнесува $L_{iz} = 1,5 \text{ m}$ а тежината $G_{iz} = 55 \text{ daN}$. Во табелата е прикажана столбната листа на посматраното затезно поле. Во неа со H_S се означени височините на столбовите до најниската (долната) конзола.

При монтажата на спроводниците, која се правела на температура $\theta = 15^\circ\text{C}$, извршено е нивно затегање така што провесот во вториот распон изнесувал $f_2 = 11 \text{ m}$. Да се утврди:

а) Дали е тоа исправно и зошто.

- б) За така изведениот далекувод да се пресмета колкава ќе биде висината на спроводниците над тлото во вториот распон во состојбата со најголем провес.
- в) Се посматра состојба при -5°C со исклучителен додатен товар чија вредност е три пати поголема од нормалниот зимски додатен товар, т.е $\Delta\bar{p} = 3 \cdot \Delta p_n = 3 \times (k_n \times 0,18 \cdot \sqrt{d} / A)$. Хоризонталната компонента на напрегањето во посматраната состојба изнесува $\sigma_x = 15 \text{ daN/mm}^2$. Да се пресмета висината $h_{\text{жп}}$ на спроводниците над десниот раб од железничката пруга како и вкупното напрегање на спроводниците σ_4 во горната точка на обесување при столбот бр. 4.
- г) Да се пресмета гравитациониот распон кај столбот бр. 3 и тоа за следните две состојби: 1. $\theta = 40^{\circ}\text{C}$ ($\sigma_{40} = 3,109 \text{ daN/mm}^2$, $c_{40} = \sigma_{40}/p = 907,22 \text{ m}$) и 2. $\theta = -5^{\circ}\text{C} + \text{НЗДТ}$. ($\bar{\sigma}_{-5} = 7,658 \text{ daN/mm}^2$, $\bar{c}_{-5} = \bar{\sigma}_{-5} / \bar{p} = 934,13 \text{ m}$).
- ѓ) Се посматра состојбата при $\theta = 40^{\circ}\text{C}$. Да се пресмета хоризонталната сила $F_{V,3}$ со која спроводниците, под дејството на ветрот, дејствуваат врз секоја од конзолите на столбот бр. 3 за следните два случаја:
- 1) кога ветрот дејствува со 15% од својот полн притисок;
 - 2) кога ветрот дејствува со својот полн притисок.
- Колкави ќе бидат аглие на отклон на изолаторските вериги од вертикалата α'_3 и α_3 за овие два случаја и дали е нивната големина усогласена со одредбите од нашиот Правилник.



Слика П.4.7.1

Столб број	Столб тип	Стационажа X_S (m)	Височина H_S (m)	Изолација тип	Должина L_{iZ} (m)	Тежина G_{iZ} (daN)
1	A150	0	16,0	EZ	/	60
2	S	280	18,8	EN	1,5	55
3	S	570	18,8	EN	1,5	55
4	A150	895	16,0	EZ	/	60

Решение:

Со оглед на тоа што голем дел од проблемите за коишто станува збор овде се решаваани во претходните примери, решавањето на овој пример ќе се изведува скратено, без детални објаснувања.

$$a_i = \sqrt{\frac{a_1^3 + a_2^3 + a_3^3}{a_1 + a_2 + a_3}} = 300,22 \text{ m} - \text{идеален распон на затезното поле}$$

$$a_k = \sigma_M \cdot \sqrt{\frac{360 \cdot \alpha}{\bar{p}^2 - p^2}} = 9 \cdot \sqrt{\frac{360 \cdot 18,9 \cdot 10^{-6}}{(8,198^2 - 3,426^2) \cdot 10^{-6}}} = 99,7 \text{ m}; a_i > a_k;$$

Според условите за градба на надземниот вод напрегањето σ_{15} на спроводниците при температура $+15^\circ\text{C}$ се пресметува со примена на равенката на состојбата, тргнувајќи од познатата состојба при $-5^\circ\text{C} + \text{НЗДТ}$ кога напрегањето треба да биде еднакво на усвоеното максимално работно напрегање $\bar{\sigma}_{-5} = \sigma_M = 9 \text{ daN/mm}^2$. Со решавање се добива:

$$\sigma_{15} = 3,943 \text{ daN/mm}^2.$$

а) Монтажа на спроводниците на температура $\theta = 15^\circ\text{C}$

$f_{2,15} = 11,0 \text{ m}$ – провес во вториот распон при $+15^\circ\text{C}$ со кој е затегнат спроводникот.

$$\sigma_{2,15} = \frac{p \cdot a_2^2}{8 \cdot f_{2,15}} = \frac{3,426 \cdot 10^{-3} \cdot 290^2}{8 \cdot 11,0} = 3,275 \text{ daN/m, mm}^2 \text{ - напрегање при } +15^\circ\text{C}$$

Значи спроводникот при монтажата бил затегнат со напрегање коешто е за 17% помал од предвидениот, што не е исправно.

б) Провеси и висини на спроводниците над тлото во распонот a_2 при $\theta = 40^\circ\text{C}$

Критичната температура на спроводниците за разгледуваните услови изнесува $\theta_k = 25,63^\circ\text{C}$; ($\theta_k < 40^\circ\text{C}$). Значи состојбата со најголеми провеси е при $+40^\circ\text{C}$.

Тргнувајќи од познатата изведена состојба при $+15^\circ\text{C}$ ($\theta_0 = 15^\circ\text{C}$; $p_0 = p$; $\sigma_0 = 3,275 \text{ daN/m, mm}^2$) со примена на равенката на состојбата се добива бараното напрегање σ_{40} при $+40^\circ\text{C}$: $\sigma_{40} + 32,0248 = 18,4^2 / \sigma_{40}^2 \Rightarrow \sigma_{40} = 3,109 \text{ daN/m, mm}^2$.

Слично, со помош на равенката на состојбата, може да се пресмета и напрегањето $\bar{\sigma}_{-5}$ при $-5^\circ\text{C} + \text{НЗДТ}$: $\bar{\sigma}_{-5} + 25,476 = 44,086^2 / \bar{\sigma}_{-5}^2 \Rightarrow \bar{\sigma}_{-5} = 7,659 \text{ daN/m, mm}^2$, ($\bar{\sigma}_{-5} < \sigma_M$).

Провесите во распоните на оваа температура ќе бидат:

$$f_{40,j} = \frac{p \cdot a_j^2}{8\sigma_{40} \cdot \cos \psi_j} = \frac{p \cdot a_j^2}{8\sigma_{40}} \cdot \frac{\sqrt{\Delta h_j^2 + a_j^2}}{\Delta h_j}; j=1,2,3.$$

На тој начин се добива: $f_{40,1} = 10,80 \text{ m}$; $f_{40,2} = 11,59 \text{ m}$; $f_{40,3} = 14,55 \text{ m}$.

Во тој случај висината $h_{2,40}$ на спроводниците над тлото во распонот a_2 ќе биде:

$$h_{2,40} = \frac{(H_{S2} - L_{iz.2}) + (H_{S3} - L_{iz.3})}{2} - f_{2,40} = \frac{17,3 + 17,3}{2} - 11,59 = 5,71 \text{ m}.$$

в) Пресметка висината $h_{жсп}$ и вкупното напрегање на спроводниците σ_4 во горната точка на обесување кај столбот бр. 4 при $-5^\circ\text{C} + \text{ИЗДТ}$

Параметарот на синцирница во овој режим ќе биде:

$$\bar{c}_{-5} = \bar{\sigma}_x / \bar{p} = 15 / 17,74 \cdot 10^{-3} = 846 \text{ m}$$

Тоталниот распон a_{T3} ќе биде:

$$a_{T3} = a_3 + 2 \cdot \bar{c}_{-5} \cdot \Delta h_3 / a_3 = 401,47 \text{ m}. \quad a_{T3} / 2 = 200,73 \text{ m}.$$

Провесот \bar{f}_{T3} во тоталниот распон a_3 ќе биде:

$$\bar{f}_{T3} = \sigma_x \cdot [\cosh(a_{T3} / 2\sigma_x) - 1] = 23,95 \text{ m}.$$

Вкупното напрегање $\bar{\sigma}'_4$ во точката на обесување кај столбот број „4“ ќе биде:

$$\bar{\sigma}'_4 = \bar{\sigma}_x \cdot \cosh(a_{T3} / 2\bar{\sigma}_x) = 15,42 \text{ daN/mm}^2.$$

Стационажата на столбот бр. „4“ ќе биде $x_4 = X_{S4} = a_1 + a_2 + a_3 = 895 \text{ m}$, додека стационажата на темето „Т3“ од синцирницата во третиот распон, сметано во однос на координатниот почеток сместен во подножјето на столбот бр. „1“ ќе биде:

$$x_{T3} = x_4 - a_{T3} / 2 = 895 - 200,73 = 694,27 \text{ m}.$$

Ако со y_4 ја означиме котата на точката на обесување на синцирницата при столбот бр. „4“, тогаш котата y_{T3} на темето „Т3“ од синцирницата ќе биде:

$$y_{T3} = y_4 - \bar{f}_{T3} = 36 - 23,946 = 12,054 \text{ m}$$

Оддалеченоста Δx од десниот раб на железничката пруга до темето „Т3“ на синцирницата ќе биде:

$$\Delta x = x_{T3} - (X_{S3} + 65) = 694,97 - (570 + 65) = 59,97 \text{ m}.$$

Котата y_K на точката „К“ од синцирницата што се наоѓа над десниот раб од патот, е наедно и бараната висина $h_{жп}$, ќе биде:

$$h_{жп} \ y_K = y_{T3} + \bar{c}_{-5} \cdot \cosh[(\Delta x / \bar{c}_{-5}) - 1] = 12,054 + 2,079 = 14,13 \text{ m}.$$

2) Пресметка на гравитациониот распон кај столбот бр. 3 при 40°C и при $-5^\circ\text{C} + \text{НЗДТ}$

Средниот (ветров) распон при столбот бр. 3 ќе биде $a_{sr,3} = (a_2 + a_3) / 2 = 307,5 \text{ m}$.

За состојбата при $+40^\circ\text{C}$ ќе имаме:

$$\sigma_{40} = 3,109 \text{ daN/mm}^2; \ c_{40} = \sigma_{40} / p = 907,22 \text{ m}$$

Гравитациониот распон $a_{gr,3}$ при столбот бр. 3 во посматраната состојба ќе биде:

$$a_{gr,3} = a_{sr,3} + c_{40} \cdot \left(\frac{\Delta h_2}{a_2} - \frac{\Delta h_3}{a_3} \right); \ a_{gr,3} = 307,5 + 907,22 \cdot \left(\frac{0}{290} - \frac{36 - 17,3}{325} \right) = 272,05 \text{ m}.$$

На сличен начин, за состојбата при $-5^\circ\text{C} + \text{НЗДТ}$ ќе добиеме:

$$\bar{\sigma}_{-5} = 7,658 \text{ daN/mm}^2; \ \bar{c}_{-5} = \bar{\sigma}_{-5} / \bar{p} = 934,13 \text{ m};$$

$$a_{gr,3} = 307,5 + 934,13 \cdot \left(\frac{0}{290} - \frac{36 - 17,3}{325} \right) = 253,75 \text{ m}.$$

д) Пресметка на хоризонталната сила од ветер F_{V3} како и аглиите на отклон α'_3 и α_3 при 40°C кај столбот бр. 3

1) Состојба при 40°C со ветар чиј притисок изнесува 15% од максималниот.

$$P'_V = 0,15 \cdot P_{\max} = 0,15 \cdot 75 = 11,25 \text{ daN/m}^2;$$

$$F'_{V,3} = P'_V \cdot d \cdot a_{sr,3} = 11,25 \cdot 0,0219 \cdot 307,5 = 75,76 \text{ daN}$$

$$F'_{iz} = P'_V \cdot L_{iz} \cdot D_{iz} = 11,25 \cdot 1,5 \cdot 0,1 = 1,68 \text{ daN};$$

$$F_{G,3} = G \cdot a_{gr,3} = 0,968 \cdot 272,05 = 263,4 \text{ daN}$$

$$\text{tg} \alpha'_3 = \frac{F'_V + 0,5 \cdot F'_{iz}}{F_G + 0,5 \cdot G_{iz}} = \frac{75,76 + 0,5 \cdot 1,68}{263,4 + 0,5 \cdot 55} = \frac{76,62}{290,9} = 0,263 \Rightarrow \alpha'_3 = 17,75^\circ$$

2) Состојба при 40°C со ветар чиј притисок изнесува 100% од максималниот.

$$P_V = 1 \cdot P_{\max} = 75 \text{ daN/m}^2;$$

$$F_{V,3} = P_V \cdot d \cdot a_{\text{sr},3} = 75 \cdot 0,0219 \cdot 307,5 = 505,07 \text{ daN}$$

$$F_{\text{iz}} = P_V \cdot L_{\text{iz}} \cdot D_{\text{iz}} = 75 \cdot 1,5 \cdot 0,1 = 11,25 \text{ daN};$$

$$F_{G,3} = G \cdot a_{\text{gr},3} = 0,968 \cdot 272,05 = 263,4 \text{ daN}$$

$$\text{tg} \alpha_3 = \frac{F_V + 0,5 \cdot F_{\text{iz}}}{F_G + 0,5 \cdot G_{\text{iz}}} = \frac{505,07 + 0,5 \cdot 11,25}{263,4 + 0,5 \cdot 55} = \frac{510,7}{290,9} = 1,756 \Rightarrow \alpha_3 = 60,3^\circ$$

Во примерот 7.3 од учебникот беа пресметани критичните агли на отклон на изолаторската верига α'_k и α_k за столбовите 110 kV тип S (ЕМО): $\alpha'_k = 55,9^\circ$ и $\alpha_k = 78,1^\circ$. Бидејќи вистинските агли на отклон α'_3 и α_3 за разгледуваните состојби а) и б) се помали од критичните ($17,75^\circ < 55,9^\circ$ и $60,3^\circ < 78,1^\circ$) произлегува дека големината на овие агли е усогласена со нашиот правилник.

■ ■ ■

Пример 4.8. Се посматра состојбата при $\theta = 40^\circ\text{C}$ од Примерот 4.7. Да се утврди дали се задоволени одредбите од Правилникот во поглед на дозволените растојанија помеѓу спроводниците во средината од распонот a_2 .

Решение:

Според Правилникот, минималното потребно растојание помеѓу било кои два спроводника, односно спроводник-заштитно јаже, во средината од распонот при температура 40°C , изнесува:

$$D_{\min} = k \cdot \sqrt{f_{40} + L_{\text{iz}}} + d_s.$$

За применетите столбови тип „S“, производ на ЕМО-Охрид критична е комбинацијата помеѓу двете фазни спроводника на релација „А - С“ коишто се наоѓаат од истата страна на оската од столбот (види Пример 7.3 од учебникот). Тие се наоѓаат во заемно кос распоред, поради што ќе имаме:

$$\alpha = \text{arctg} \frac{P_V \cdot d}{G} = 59,5^\circ; \quad k = 2 + \frac{\alpha}{10} = 7,95; \quad d_s = 90 \text{ cm} (U_n = 110 \text{ kV});$$

$$\sigma_{40} = 3,109 \frac{\text{daN}}{\text{m,mm}^2}; \quad f_{40} = \frac{p \cdot a_2^2}{8\sigma_{40}} = \frac{3,427 \cdot 10^{-3} \cdot 290^2}{8 \cdot 3,109} = 11,59 \text{ m} = 1159 \text{ cm};$$

Сега можеме да го пресметаме минималното потребно растојание D_{\min} :

$$D_{\min} = k \cdot \sqrt{f_{40} + L_{\text{iz}}} + d_s = 7,95 \cdot \sqrt{1159 + 150} + 90 = 377,6 \text{ cm}.$$

Кај столбовите со кос распоред (тип „S“ – ЕМО Охрид) критично е растојанието $D_{\text{A-C}}$. Под претпоставка дека провесите на спроводниците и заштитното јаже се еднакви, ($f_{40} = f_{40z}$; $\Delta f = 0$), тоа растојание ќе изнесува (види сл. П.4.3.1 во Примерот 4.3):

$$\Delta x = (c - a) = (355 - 260) = 95 \text{ cm}; \quad \Delta y = (e + f) = (185 + 185) = 370 \text{ cm}.$$

$$D_{\text{A-C}} = \sqrt{\Delta x^2 + (\Delta y + \Delta f)^2} = 382 \text{ cm}; \quad \Rightarrow D_{\text{A-C}} > D_{\min}$$

Значи, $D_{\text{A-C}} < D_{\min}$, од каде што произлегува дека одредбите од Правилникот во вториот распон се задоволени.

■ ■ ■

Пример 4.9. Да се изврши проценка на големината на грешката што се прави при пресметувањето на провесот f на хоризонталните распони со примена на приближната формула (6.39)

Решение:

Егзактната вредност на провесот f на спроводник со специфична тежина p , затегнат со напрегање на затегање $\sigma = p \cdot c$, во еден хоризонтален распон a гласи (рел. 6.35):

$$f = c \cdot \left(\operatorname{ch} \frac{a}{2c} - 1 \right) = \frac{\sigma}{p} \cdot \left(\operatorname{ch} \frac{p \cdot a}{2\sigma} - 1 \right) \quad (6.35)$$

а приближната (6.39):

$$f' = \frac{a^2}{8c} = \frac{p \cdot a^2}{8\sigma} \quad (6.39)$$

Ако функцијата $\operatorname{ch}()$ што фигурира во (6.35) ја развиеме во еден бесконечен ред и потоа ги земеме предвид само првите три члена од тој ред како негова апроксимација, ќе добиеме:

$$f = c \cdot \left[\left(1 + \frac{a^2}{(2c)^2} \cdot \frac{1}{2!} + \frac{a^4}{(2c)^4} \cdot \frac{1}{4!} \right) - 1 \right] \approx c \cdot \left(\frac{a^2}{8c^2} + \frac{a^4}{384c^4} \right) = f' + \frac{a^4}{384c^3} .$$

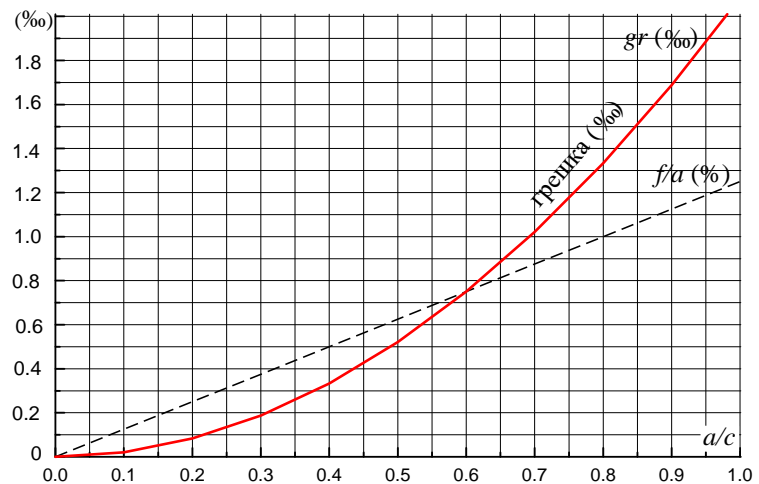
$$f' - f = \Delta f = \frac{-a^4}{384c^3}; \quad \frac{\Delta f}{f'} = \frac{-1}{48} \cdot \frac{a^2}{c^2} \Rightarrow \quad gr = \left| \frac{\Delta f}{f'} \right| = \frac{1}{48} \cdot \frac{a^2}{c^2} \text{ или}$$

$$gr\% = \frac{1000}{48} \cdot \frac{a^2}{c^2} (\%)$$

Понатаму имаме: $\frac{f}{a} \approx \frac{f'}{a} = \frac{1}{8} \cdot \frac{a}{c} .$

Во претходната формула со gr е означена вредноста на релативната грешка (по апсолутен износ) што се прави кога провесот место со егзактната формула (6.35) се пресметува со приближната (6.39). Инаку забележуваме дека грешката е секогаш негативна што значи дека приближно пресметаниот провес f' е секогаш помал од вистинскиот f .

Во табелата 2.23 и на дијаграмот П.4.9 се прикажани односот f/a , изразен во проценти (%) и релативната грешка $gr\%$, изразена во (‰) во функција од односот a/c на распонот. Ако се земе дека границата на прифатливост на апроксимативната формула (6.39) е грешката од најмногу 1% тогаш од дијаграмот П.4.9 можеме да отчитаме дека провесот f' пресметан со приближната формула (6.39) дава задоволителни резултати за распони кај кои односот f/a е под 6%.



Слика П.4.9. Графички приказ на големината на грешката $gr\%$

Табела Т4.9. Табеларен приказ на големината на грешката $gr\%$

a/c	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
f/a (‰)	1,25	2,50	3,75	5,00	6,25	7,50	8,75	10,0	11,25	12,5
gr (‰)	0,208	0,833	1,875	3,333	5,208	7,500	10,208	13,333	16,875	20,833

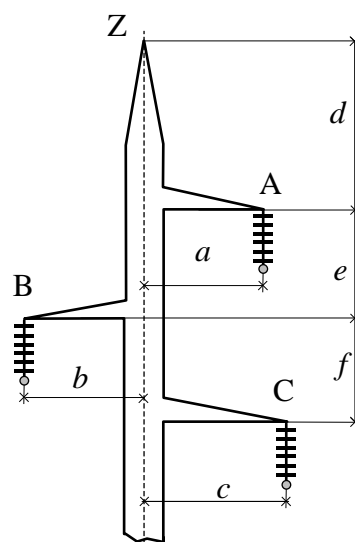


Задача 4.3. Се посматра хоризонтален распон $a = 300$ m помеѓу два носечки столба од типот S, производ на ЕМО-Охрид. Познати се следните податоци за водот:

Спроводници: Al/Č 240/40 mm² ($A=282,5$ mm², $G=0,968$ daN/m, $d=21,9$ mm, $E = 7700$ daN/mm², $\alpha = 18,9 \cdot 10^{-6}$ 1/°C; $p = 3,426 \cdot 10^{-3}$ daN/m,mm²); $\sigma_M = 9$ daN/mm²;

Заштитно јаже: Fe III 50 mm²; ($A_z = 49,48$ mm², $G_z = 0,386$ daN/m, $d_z = 9$ mm, $E_z = 18000$ daN/mm², $\alpha_z = 11 \cdot 10^{-6}$ 1/°C, $p_z = 7,8 \cdot 10^{-3}$ daN/m,mm²); $\sigma_{Mz} = ?$.

Димензии на главата на столбовите тип S: (во согласност со сликата 1): $a = b = 2,6$ m; $c = 3,55$ m; $d = 3$ m; $e = f = 1,85$ m.



Слика 3.4.3.1

Се посматра средината од распонот при $\theta = 40^\circ\text{C}$. Да се пресмета:

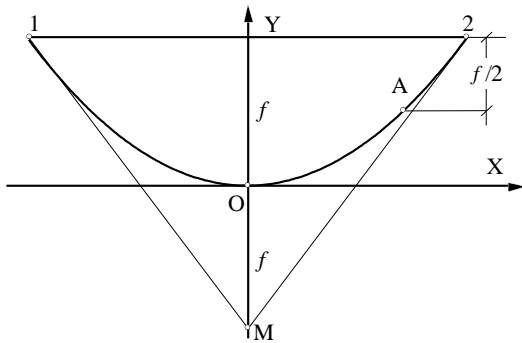
- Колкави се растојанијата D_{Z-A} , D_{A-B} , D_{A-C} и D_{B-C} . Познато е дека провесот на заштитното јаже f_{40z} при 40°C е за 10% помал од провесот f_{40} на фазните спроводници.
- Поради настаната еднофазна куса врска во фазата „А“, доаѓа до нагло повишување на температурата во таа фаза на вредноста $\theta_A = 120^\circ\text{C}$. Температурите на останатите фази останува иста. Колкаво ќе биде растојанието D_{A-C} во тој случај.
- Колкава треба да биде температурата θ_x на фазата „А“ во тој случај за да биде растојанието D_{A-C} помеѓу спроводниците од фазите „А“ и „С“ во средината од распонот најмало.



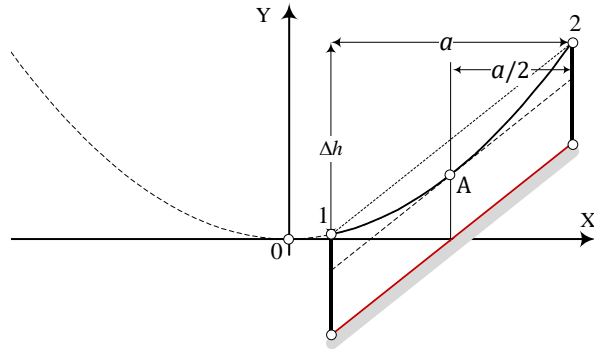
Задача 4.4. Да се докаже дека тангентите на синцирницата повлечени во точките на обесување 1 и 2 се сечат во точката М со координати $x_M = 0$ $y_M = -f$ (слика 3.4.4.1). Кои се координатите x_A и y_A на точката А во која провесот изнесува $f_A = f/2$.



Задача 4.5. Да се докаже дека вертикалното растојание помеѓу спроводниците и тлото во косиот распон од сликата 3.4.5.2 е најмало во средината од распонот.



Слика 3.4.5.1



Слика 3.4.5.2

■ ■ ■

Пример 4.10. Спроводник со специфична тежина $p = 3,510^{-3}$ daN/m, mm² е затегнат во кос распон со параметри $a = 300$ m и $\Delta h = 30$ m. Во состојбата бр. 1, при температура $\theta_1 = \theta_{\min} = -20^\circ\text{C}$ напрегањето во спроводникот изнесува $\sigma_1 = 5$ daN/mm², додека во состојбата бр. 2, кога температурата е максимална, имаме $\theta_2 = \theta_{\max} = 40^\circ\text{C}$ и $\sigma_2 = 3$ daN/mm². Да се определи обликот на синцирницата за овие два случаја.

Решение:

1) **Состојба бр. 1 при температура $\theta_1 = -20^\circ\text{C}$**

$$\sigma = \sigma_1 = 5 \text{ daN/mm}^2; \quad p_1 = p = 3,42610^{-3} \text{ daN/m, mm}^2; \quad c = \sigma/p = 1429 \text{ m}$$

$$a_d = 2c\Delta h/a = 2 \cdot 1429 \cdot 30/300 = 286 \text{ m}$$

$$a_T = a + a_d = 300 + 286 = 586 \text{ m}; \quad a_T/2 = 586/2 = 293 \text{ m},$$

$$x_2 = a_T/2 = 293 \text{ m}, \quad x_1 = x_2 - a = -7 \text{ m},$$

$$f = \frac{p \cdot a^2}{8 \cdot \sigma} \cdot \frac{1}{\cos \psi} = \frac{3,426 \cdot 10^{-3} \cdot 300^2}{8 \cdot 5} \cdot \frac{1}{0,995} = 7,91 \text{ m}.$$

2) **Состојба бр. 2 при температура $\theta_2 = +40^\circ\text{C}$**

$$\sigma = \sigma_2 = 3 \text{ daN/mm}^2;$$

$$p_2 = p = 3,42610^{-3} \text{ daN/m, mm}^2;$$

$$c = \sigma/p = 857 \text{ m}$$

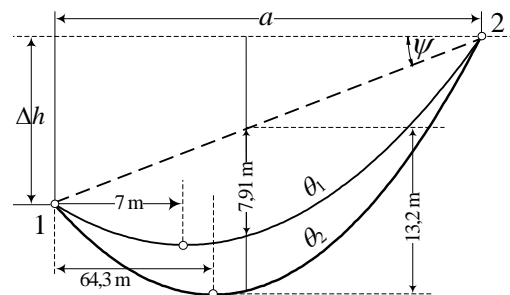
$$a_d = 2c\Delta h/a = 2 \cdot 857 \cdot 30/300 = 171,4 \text{ m}$$

$$a_T = a + a_d = 300 + 171,4 = 471,4 \text{ m};$$

$$a_T/2 = 471,4/2 = 235,7 \text{ m},$$

$$x_2 = a_T/2 = 235,7 \text{ m}; \quad x_1 = x_2 - a = -64,3 \text{ m};$$

$$f = \frac{p \cdot a^2}{8 \cdot \sigma} \cdot \frac{1}{\cos \psi} = \frac{3,426 \cdot 10^{-3} \cdot 300^2}{8 \cdot 3 \cdot 0,995} = 13,2 \text{ m}.$$



Слика П.4.10

Резултатите од пресметките за обете состојби се сместени во табелата П.4.10. Графичкиот приказ на резултатите е даден на сликата П.4.10.

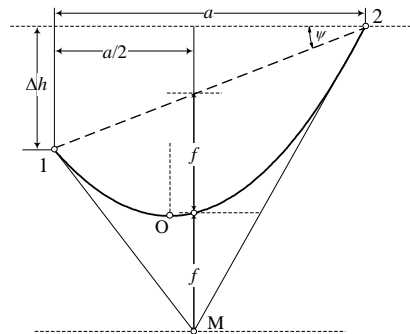
Табела 3.4.10. Табеларен приказ на резултатите од пресметките

состојба	θ	σ	c	a_d	a_T	x_2	x_1	f
1	-20°C	5 daN/mm^2	1429 m	286 m	586 m	293 m	-7 m	7,91 m
2	$+40^\circ\text{C}$	3 daN/mm^2	857 m	171,4m	471,4m	235,6m	-64,3m	13,2 m

■ ■ ■

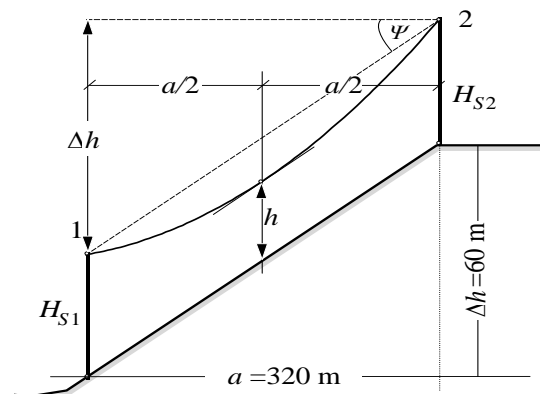
Задача 4.6. На случајот од состојбата 2 во примерот 4.10 да се утврди дали навистина тангентите на синцирницата во кос распон, повлечени во точките на обесување 1 и 2 се сечат во точка М која што лежи точно на средината од распонот, како што е тоа прикажано на сликата 3.4.6.1.

■ ■ ■



Слика 3.4.6.1

Пример 4.11. На сликата П.4.11 е прикажано јаже А1/Ѓ 240/40 затегнато во кос распон со параметри $a = 320 \text{ m}$ и $\Delta h = 60 \text{ m}$. Обата столба се затезни, од типот А150 и имаат еднакви височини $H_{S1} = H_{S2} = H_S = 18 \text{ m}$. Се посматра состојба на синцирницата кога температурата на спроводниците изнесува $\theta = 20^\circ\text{C}$. Вертикалната висина на спроводниците над тлото е најмала во средината од распонот и во посматраната состојба изнесува $h_{20} = 6,47 \text{ m}$. Да се пресмета:



Слика П.4.11

а) напрегањето на јажето (т.е. хоризонталната компонента на напрегањето) во посматраната состојба σ_{20} ;

б) кога е провесот на спроводниците поголем: при максималната температура $\theta = 40^\circ\text{C}$ или во состојбата при $-5^\circ\text{C} + \text{НЗДТ}$ (нормален зимски додатен товар), ако факторот на НЗДТ изнесува $k_n = 1,6$.

Решение:

а) Пресметка на напрегањето на јажето σ_{20} за посматраната состојба при 20°C

За посматраното јаже се познати следните параметри: $A = 282,5 \text{ mm}^2$, $d = 21,9 \text{ mm}$; $E = 7700 \text{ daN/mm}^2$, $\alpha = 18,9 \cdot 10^{-6} \text{ 1/}^\circ\text{C}$; $p = 3,426 \cdot 10^{-3} \text{ daN/m,mm}^2$. Понатаму имаме: $\Psi = \arctg(\Delta h/a) = \arctg(60/320) = 11,8^\circ$; $\cos \Psi = 0,983$.

Провесот на спроводниците во средината од распонот ќе биде:

$$f_{20} = H_S - h_{20} = 18 - 6,47 = 11,53 \text{ m.}$$

Бараното напрегање σ_{20} на јажето сега можеме да го добиеме ќе го добиеме преку познатиот провес f_{20} :

$$f_{20} = \frac{p \cdot a^2}{8 \cdot \sigma_{20}} \cdot \frac{1}{\cos \Psi} \Rightarrow \sigma_{20} = \frac{p \cdot a^2}{8 \cdot f_{20}} \cdot \frac{1}{\cos \Psi} = \frac{3,426 \cdot 10^{-3} \cdot 320^2}{8 \cdot 11,53 \cdot 0,983} = 3,869 \frac{\text{daN}}{\text{mm}^2}.$$

б) Пресметка на провесите f_{40} и \bar{f}_{-5} при $+40^\circ\text{C}$ и при $-5^\circ\text{C} + \text{НЗДТ}$

Напрегањето σ_{40} при $+40^\circ\text{C}$ ќе го добиеме со помош на равенката на состојбата. Притоа, за позната состојба ќе ја прогласиме состојбата при $+20^\circ\text{C}$, за која ни се познати параметрите $p_0 = p = 3,426 \cdot 10^{-3} \text{ daN/m,mm}^2$ $\sigma_0 = \sigma_{20} = 3,869 \text{ daN/mm}^2$ и $\theta_0 = 20^\circ\text{C}$, додека непозната ќе биде состојбата при $\theta = +40^\circ\text{C}$ за која ќе го пресметаме напрегањето σ_{40} :

$$n = p \cdot a \cdot \sqrt{E/24} = 3,426 \cdot 10^{-3} \cdot 320 \cdot \sqrt{7700/24} = 19,637$$

$$m = \frac{p_0^2 \cdot a^2}{24 \cdot \sigma_0^2} \cdot E + \alpha \cdot E \cdot (\theta - \theta_0) - \sigma_0$$

$$m_{40} = m(\theta)_{\theta=40^\circ\text{C}} = \frac{3,426^2 \cdot 0,32^2}{24 \cdot 3,869^2} \cdot 7700 + 18,9 \cdot 10^{-6} \cdot 7700 \cdot (40 - 20) - 3,869;$$

$$m_{40} = 24,801 \frac{\text{daN}}{\text{mm}^2}.$$

$$\sigma_{40} + m_{40} = (n / \sigma_{40})^2 \Rightarrow \sigma_{40} = 3,68 \text{ daN/mm}^2.$$

$$f_{40} = \frac{p \cdot a^2}{8 \cdot \sigma_{40}} \cdot \frac{1}{\cos \Psi} = \frac{3,426 \cdot 10^{-3} \cdot 320^2}{8 \cdot 3,68 \cdot 0,983} = 12,12 \text{ m.}$$

Висината на спроводниците над тлото во оваа состојба ќе биде:

$$h_{40} = H_S - f_{40} = 18 - 12,12 = 5,88 \text{ m.}$$

Пред да го пресметаме напрегањето $\bar{\sigma}_{-5}$ при $-5^\circ\text{C} + \text{НЗДТ}$ ќе биде потребно да ја пресметаме специфичната тежина на јажето заедно со НЗДТ, т.е. вредноста $\bar{p} = p + \Delta p$ на синцирницата за таа состојба:

$$\Delta p = k_n \cdot g = 1,6 \cdot 0,18 \cdot \sqrt{21,9} / 282,5 = 4,771 \cdot 10^{-3} \text{ daN/m,mm}^2$$

$$\bar{p} = p + \Delta p = (3,426 + 4,771) \cdot 10^{-3} = 8,197 \cdot 10^{-3} \text{ daN/m,mm}^2$$

Напрегањето $\bar{\sigma}_{-5}$ при $-5^\circ\text{C} + \text{НЗДТ}$ ќе го добиеме со помош на равенката на состојбата. Притоа, за позната состојба ќе ја прогласиме повторно состојбата при $+20^\circ\text{C}$, додека за непозната состојба ќе имаме:

$$p = \bar{p} = 8,197 \cdot 10^{-3} \text{ daN/m,mm}^2; \theta = -5^\circ\text{C}; \bar{\sigma}_{-5} = ?$$

На тој начин добиваме:

$$n = \bar{p} \cdot a \cdot \sqrt{E/24} = 8,197 \cdot 10^{-3} \cdot 320 \cdot \sqrt{7700/24} = 46,983$$

$$m = \frac{(3,426 \cdot 10^{-3})^2 \cdot 320^2}{24 \cdot 3,869^2} \cdot 7700 - 18,9 \cdot 10^{-6} \cdot 7700 \cdot (-5 - 20) - 3,869 = 18,253$$

$$\bar{\sigma}_{-5} + 18,253 = (46,983/\bar{\sigma}_{-5})^2 \Rightarrow \bar{\sigma}_{-5} = 9 \text{ daN/mm}^2; \bar{f}_{-5} = \frac{\bar{p} \cdot a^2}{8 \cdot \bar{\sigma}_{-5}} \cdot \frac{1}{\cos \Psi} = 11,86 \text{ m}.$$

Значи, критична во поглед на висината на спроводниците над тлото ќе биде состојбата при +40°C, бидејќи $f_{40} > \bar{f}_{-5}$.

■ ■ ■

Пример 4.12. Колкава ќе биде хоризонталната компонента $\bar{\sigma}$, а колкаво вкупното напрегање $\bar{\sigma}'$ во горната точка на обесување од распонот третиран во Примерот 4.11 (сл. П.4.11) во состојбата при -5°C+ИЗДТ кој е за три пати поголем од НЗДТ ($k_i = 3$).

Решение:

Вредноста на специфичната тежина $\Delta \bar{p}$ на ЗДТ во наведените услови ќе биде:

$$\Delta \bar{p} = 3 \cdot \Delta p = 3 \cdot 4,771 \cdot 10^{-3} = 14,313 \cdot 10^{-3} \text{ daN/m,mm}^2;$$

$$\bar{p} = p + \Delta \bar{p} = 17,379 \cdot 10^{-3} \text{ daN/m,mm}^2.$$

Хоризонталната компонента на напрегањето $\bar{\sigma}$ во состојбата при при -5°C+ЗДТ ќе ја добиеме со примена на равенката на состојбата. За параметрите на двете состојби ќе усвоиме:

– позната состојба: -5°C+НЗДТ;

$$p_0 = \bar{p} = 8,197 \cdot 10^{-3} \text{ daN/m,mm}^2; \sigma_0 = 9 \text{ daN/mm}^2; \theta_0 = -5^\circ \text{ C};$$

– непозната состојба: -5°C+ЗДТ; $p = \bar{p} = 17,939 \cdot 10^{-3} \text{ daN/m,mm}^2; \sigma = \bar{\sigma} = ?;$

Коефициентите m и n во равенката на состојбата сега ќе бидат:

$$n = \bar{p} \cdot a \cdot \sqrt{E/24} = 101,676; m = \frac{p_o^2 \cdot a^2}{24 \cdot \sigma_o^2} \cdot E - \sigma_o = 18,252, \text{ и}$$

$$\bar{\sigma} + 18,252 = (101,676/\bar{\sigma})^2 \Rightarrow \bar{\sigma} = 17,1 \text{ daN/mm}^2.$$

Напрегањето $\bar{\sigma}'$ во горната точка на обесување во состојбата при -5°C+ЗДТ ќе го добиеме со помош на следната релација:

$$\bar{\sigma}' = \bar{\sigma} \cdot \text{ch} \frac{a_T}{2 \cdot \bar{c}}$$

За таа цел, најнапред ќе го пресметаме параметарот \bar{c} на синцирницата:

$$\bar{c} = \bar{\sigma} / \bar{p} = 17,1 \cdot 10^3 / 17,739 = 964 \text{ m},$$

а потоа и тоталниот распон a_T на синцирницата за истата таа состојба:

$$a_d = 2 \cdot \bar{c} \cdot \frac{\Delta h}{a} = 2 \cdot 964 \cdot \frac{60}{320} = 361,5 \text{ m}; a_T = a + a_d = 681,5 \text{ m}.$$

Конечно, за вкупното напрегање на синцирницата во горната точка на обесување ќе добиеме:

$$\bar{\sigma}' = 17,1 \cdot \text{ch} \frac{681,5}{2 \cdot 964} = 17,1 \cdot 1,063 = 18,18 \text{ daN/mm}^2.$$

■ ■ ■

Пример 4.13. При кој зимски додатен товар (ЗДТ) напрегањето $\bar{\sigma}'$ во горната точка на обесување на синцирницата од Примерот 4.11 ќе ја достигне вредноста на исклучителното дозволено напрегање $\sigma_{id} = 24,5 \text{ daN/mm}^2$.

Решение:

Во овој случај ни е познато вкупното напрегање $\bar{\sigma}' = \sigma_{id} = 24,5 \text{ daN/mm}^2$ во горната точка на обесување на синцирницата, односно приближно ни е позната и хоризонталната компонента на напрегањето $\bar{\sigma}$, бидејќи ако претпоставиме дека обликот, т.е. параметарот на синцирницата за таа состојба е ист со оној, пресметан во претходниот пример, ќе добиеме:

$$\bar{\sigma} = \bar{\sigma}' / \text{ch} \frac{a_T}{2\bar{c}} = 24,5 / 1,063 = 23,048 \text{ daN/mm}^2.$$

Понатаму, врз основа на равенката на состојбата, применета за состојбата при $-5^\circ\text{C} + \text{НЗДТ}$ (како позната, со параметри:

$$p_0 = \bar{p} = 8,197 \cdot 10^{-3} \text{ daN/m,mm}^2; \sigma_0 = 9 \text{ daN/mm}^2 \text{ и } \theta_0 = -5^\circ\text{C})$$

и состојбата при $-5^\circ\text{C} + \text{НЗДТ}$, како непозната состојба, за која го знаеме напрегањето $\bar{\sigma}$ и температурата $\theta = -5^\circ\text{C}$, а непозната е специфичната тежина на јажето заедно со НЗДТ, ќе добиеме:

$$m = \frac{p_0^2 \cdot a^2}{24 \cdot \sigma_0^2} \cdot E + \alpha \cdot E \cdot (\theta - \theta_0) - \sigma_0 = 18,253 \text{ daN/mm}^2; n = \bar{p} \cdot a \cdot \sqrt{E/24} = ?$$

$$\bar{\sigma} + m = n^2 / \bar{\sigma}^2 \Rightarrow n = \bar{\sigma} \cdot \sqrt{\bar{\sigma} + m} = 23,048 \cdot \sqrt{23,048 + 18,253} = 148,119$$

$$\bar{p} = n / (a \cdot \sqrt{E/24}) = 25,842 \cdot 10^{-3} \text{ daN/m,mm}^2$$

$$\Delta\bar{p} = \bar{p} - p = (25,842 - 3,426) \cdot 10^{-3} = 22,416 \cdot 10^{-3} \text{ daN/m,mm}^2$$

што е за 4,7 пати поголемо од нормалниот зимски додатен товар $\Delta p_{\text{НЗДТ}}$.

Сега можеме да направиме проверка на добиеното решение. Лесно може да се покаже дека за добиениот ЗДТ $\bar{p} = 222,416 \cdot 10^{-3} \text{ daN/m,mm}^2$ ќе имаме:

$$\bar{c} = \bar{\sigma} / \bar{p} = 892 \text{ m}; a_T = 654,5 \text{ m};$$

$$\bar{\sigma}' = \bar{\sigma} \cdot \text{ch}(a_T / 2\bar{c}) = 23,048 \cdot 1,068 = 24,62 \text{ daN/mm}^2.$$

Очигледно е дека вака добиениот резултат е приближен бидејќи на почетокот од задачата се тргна од претпоставката дека параметарот на синцирницата изнесува 964 m, т.е. дека вкупното напрегање $\bar{\sigma}'$ е за 1,063 пати поголемо од соодветната хоризонтална компонента, како што тоа беше случај во претходната задача. Затоа ќе биде потребно да се направи (барем уште) една дополнителна корекција при што целата процедура ќе се повтори, но сега со друга вредност за хоризонталната компонента на напрегањето:

$$\bar{\sigma} = \bar{\sigma}' / \text{ch} \frac{a_T}{2\bar{c}} = 24,5 / 1,068 = 22,939 \text{ daN/mm}^2.$$

Ако така направиме, ќе го добиеме следното решение, кое ќе го сметаме за конечно:

$$\bar{p} = 25,686 \cdot 10^{-3} \text{ daN/m,mm}^2; \Delta\bar{p} = 22,26 \cdot 10^{-3} = 4,67 \cdot \Delta p_{\text{НЗДТ}};$$

$$\bar{c} = 893 \text{ m}; \bar{\sigma}' = 24,5 \text{ daN/mm}^2$$



Задача 4.9. При која температура θ_x темето на синцирницата од примерот 4.13 ќе падне во долната точка на обесување „1“.

Решение:

$$a_T / 2 = a \Rightarrow a_d = 2c \frac{\Delta h}{a} \equiv a \Rightarrow c = \frac{a^2}{2\Delta h} = \frac{320^2}{2 \cdot 60} = 853,3 \text{ m};$$

$$\sigma = p \cdot c = 3,426 \cdot 10^{-3} \cdot 853,3 = 2,924 \text{ daN/mm}^2$$

$$n = 19,637; m = m(\theta_x) = ?; \sigma + m = (n / \sigma)^2; m = (n / \sigma)^2 - \sigma = 42,194$$

$$m = \frac{p^2 \cdot a^2}{24 \cdot \sigma^2} \cdot E + a \cdot E \cdot (\theta_x - 20) - \sigma = 21,892 + 0,14553 \cdot (\theta_x - 20) \Rightarrow \theta_x = 159,5^\circ \text{C}.$$

■ ■ ■

Пример 4.14. За примерот разгледуван во Примерот 4.11 да се пресметаат растојанијата D_{A-B} , D_{A-C} и D_{B-C} помеѓу спроводниците во средината од распонот за состојбата при 20°C . Колкави ќе бидат истите тие растојанија после еднофазната куса врска, настаната на фазата „А“, ако се знае дека за време на кусата врска температурата на спроводникот од фазата „А“ достигнала вредност $\theta_A = 150^\circ\text{C}$, додека температурата на останатите фазни спроводници останала неизменета.

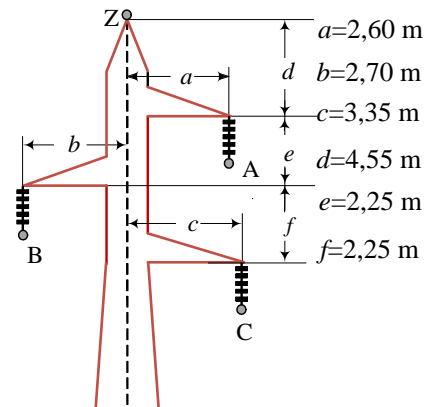
Решение:

Во нормални услови и во состојба без ЗДТ, кога сите фазни спроводници имаат иста температура, сите фазни спроводници ќе имаат ист провес. Затоа во тој случај растојанијата во средината од распонот ќе бидат исти со оние што се имаат на главата од столбот. Според тоа, во согласност со скицата од главата, за таквата состојба ќе имаме:

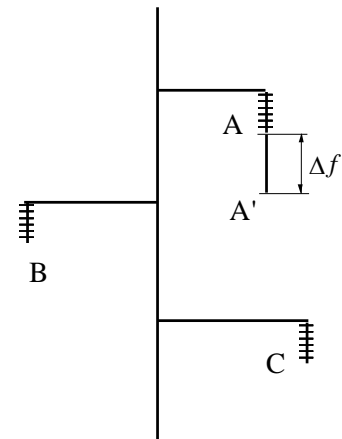
$$D_{A-B} = \sqrt{(a+b)^2 + e^2} = 5,76 \text{ m};$$

$$D_{A-C} = \sqrt{(c-a)^2 + (e+f)^2} = 4,56 \text{ m};$$

$$D_{B-C} = \sqrt{(b+c)^2 + f^2} = 6,45 \text{ m}$$



Во состојбата веднаш по исклучувањето на кусата врска, кога температурата на фазата „А“ ќе достигне вредност $\theta_A = 150^\circ\text{C}$, провесот на спроводникот од фазата „А“ ќе се наголеми за износ $\Delta f = f_{150} - f_{20}$. За да ја пресметаме неговата вредност, најнапред ќе биде потребно да ја пресметаме вредноста на провесот f_{150} при $\theta = 150^\circ\text{C}$, односно вредноста на напрегањето σ_{150} при истата таа температура. Тоа ќе го направиме применувајќи ја равенката на состојбата, при што за позната ќе ја усвоиме состојбата при 20°C , за која веќе ги знаеме напрегањето $\sigma_{20} = 3,869 \text{ daN/mm}^2$, односно провесот $f_{20} = 11,53 \text{ m}$ (види Пример 4.11), додека непозната ќе ни биде состојбата при 150°C . На тој начин добиваме:



$$n = 19,637; m = m_{150} = 40,81; \sigma_{150} + 40,81 = 19,637^2 / \sigma_{150}^2$$

$$\sigma_{150} = 2,968 \text{ daN/mm}^2$$

$$f_{150} = \frac{p \cdot a^2}{8 \cdot \sigma_{150} \cdot \cos \Psi} = \frac{3,426 \cdot 10^{-3} \cdot 320^2}{8 \cdot 2,968 \cdot 0,983} = 15,03 \text{ m}; \Delta f = 15,03 - 11,53 = 3,5 \text{ m}.$$

Според тоа, непосредно после исклучувањето на кусата врска ќе ги имаме следните растојанија:

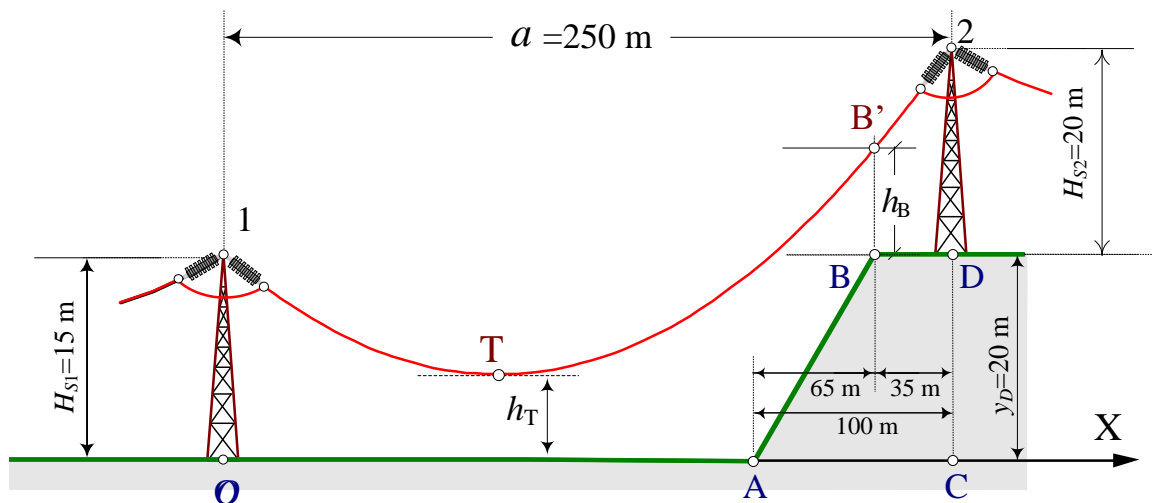
$$D'_{A-B} = \sqrt{(a+b)^2 + (e-\Delta f)^2} = \sqrt{(2,6+2,7)^2 + (2,25-3,5)^2} = 5,45 \text{ m};$$

$$D'_{A-C} = \sqrt{(c-a)^2 + (e+f-\Delta f)^2} = \sqrt{(3,35-2,6)^2 + (4,5-3,5)^2} = 1,25 \text{ m};$$

$$D'_{B-C} = \sqrt{(b+c)^2 + f^2} = D_{B-C} = 6,45 \text{ m}.$$



Пример. 4.15. На сликата П.4.16 е прикажан кос распон од еден 35 kV надземен вод, изведен со спроводници од типот Al/Fe 95/15 mm². Големината на распонот изнесува $a = 250 \text{ m}$, а денивелацијата $\Delta h = y_2 - y_1 = (y_D + H_{S2}) - H_{S1} = 15 \text{ m}$. Водот е граден за следните климатски параметри: притисок на ветрот $P_V = 75 \text{ dN/m}^2$; фактор на НЗДТ $k_n = 1,6$. Одделните точки од трасата, прикажани на сликата имаат координати, дадени во табелата П.4.16.1.



Слика П.4.15.1. Приказ на косиот распон

Табела П.4.16.1. Податоци за координатите на точките, прикажани на сликата П.4.15.1.

Точка	O	1	A	B	C	D	2
$x, \text{ m}$	0	0	150	215	250	250	250
$y, \text{ m}$	0	15	0	25	0	20	40

Во состојба кога температурата на спроводниците е максимална и изнесува $\theta = 40^\circ\text{C}$, напрегањето σ_{40} во нив изнесува $\sigma_{40} = 2,661 \text{ daN/mm}^2$. Да се пресмета следното:

- а) физичките и механичките параметри на спроводниците;
- б) фиктивниот додаток a_d и тоталниот распон a_T за дадената состојба;
- в) положбата на темето од синцирницата T , т.е. височината h_T на темето над тлото како и неговата положба во однос на левиот и десниот столб, т.е. координатите x_1 и x_2 на точките на обесување сметано во однос на координатниот почеток кој е сместен во темето на синцирницата;
- г) височината h_B на спроводниците над левиот раб од патот (точка В);
- д) должината на спроводниците во распонот l како и коефициентот на нивната отпуштеност λ ;
- ѓ) повесот f во средината од распонот;
- е) колкави ќе бидат напрегањата σ'_1 и σ'_2 во точките на обесување „1“ и „2“ на синцирницата во оваа состојба;
- ж) вкупната хоризонтална сила F_H со која ветрот, чија што брзина изнесува $V = 40$ m/s, дејствува врз фазниот спроводник во распонот;
- з) напрегањето $\bar{\sigma}_{-5}$ (се мисли на хоризонталната компонента од напрегањето) што ќе се појави во состојбата при $-5^\circ\text{C} + \text{ИЗДТ}$;
- с) напрегањето $\bar{\bar{\sigma}}_{-5}$ (се мисли на хоризонталната компонента од напрегањето) како и вкупните напрегања во точките на обесување $\bar{\bar{\sigma}}_1$ и $\bar{\bar{\sigma}}_2$ што ќе се појават во состојбата при $-5^\circ\text{C} + \text{ИЗДТ}$. Факторот на исклучителен додатен товар е $k_i=3$, т.е. исклучителниот зимски додатен товар е за три пати поголем од нормалниот. Колкава ќе биде височината h_B над работ од патот во овој случај.

Останати податоци: Спроводници: Al/Č 95/15; $G = 0,375$ daN/m; $d = 13,3$ mm; $A = 109,8\text{mm}^2$

Решение:

а) Пресметка на физичките и механичките к-ки на спроводниците

Од табелата 2.3 од учебникот [1] отчитуваме:

Номинален пресек mm^2	Вистински пресек mm^2	Al-плашт		Č-јадро		Надвор. пречник на јажето d (mm)	Маса на јажето M , kg/km	Сила на кинење на јажето F_{kin} daN	Омска отпорност r_{20} , Ω	Трајно дозвол. струја I_d , A
		број и пречник на жиците (mm)	број и пречник на жиците (mm)							
95/15	94,4/15,3	26	2,15	7	1,67	13,6	382	3575	0,306	290

- Вистински пресек: $A = A_{Al} + A_{Fe} = 94,4 + 15,3 = 109,8 \text{ mm}^2$;
- Маса на јажето по километар должна: $M = 382 \text{ daN/km}$;
- Пречник на јажето: $d = 13,6 \text{ mm}$.

Понатаму пресметуваме:

- Тежина на јажето по метар должина:
 $G = 10^{-3} \cdot (0,1 \cdot M \cdot g) = 10^{-3} \cdot (0,981 \cdot 382) = 0,375 \text{ daN/m}$;
- Сопствена специфична тежина на јажето:

$$p = \frac{G}{A} = \frac{0,375}{109,8} = 3,413 \cdot 10^{-3} \frac{\text{daN}}{\text{m} \times \text{mm}^2}$$

Од табелата 2.5 од учебникот [1], за односот пресеци $\varepsilon = 6$ и број на жици во јажето 26/7, отчитуваме:

- Модул на еластичност: $E = 7700 \text{ daN/mm}^2$;
- Температурен коефициент на линеарно издолжување: $\alpha = 18,9 \cdot 10^{-6} \text{ 1/}^\circ\text{C}$.

б) Фиктивен додаток a_d и тотален распон a_T за дадената состојба

Параметарот на синцирницата за разгледуваната состојба ќе биде:

$$c = \frac{\sigma}{p} = \frac{2,661}{0,003413} = 779,7 \text{ m}; \quad 2c = 1559,4 \text{ m}.$$

Од релацијата (6.31) ја пресметуваме помошната променлива ξ :

$$\xi = \frac{\Delta h / 2c}{\text{sh}(a/2c)} = \frac{25/1559,4}{\text{sh}(250/1559,4)} = 0,099573$$

Сега, со помош на релацијата (6.32) го добиваме бараниот додаток:

$$a_d = 2c \cdot \ln(\xi + \sqrt{\xi^2 + 1}) = 155 \text{ m}.$$

По определувањето на големината на фиктивниот додаток a_d , лесно се пресметува големината на тоталниот распон a_T :

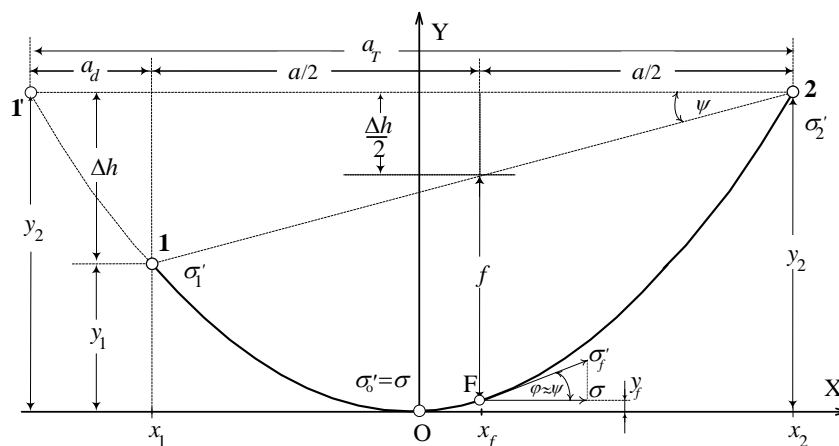
$$a_T = a + a_d = 250 + 155 = 405 \text{ m}.$$

Приближната вредност на фиктивниот додаток a_d може да се добие на многу поедноставен начин со помош на релацијата (6.34):

$$a_d \approx 2c \cdot \frac{\Delta h}{a} = 1559,4 \cdot \frac{25}{250} = 155,9 \text{ m}$$

$$a_T = a + a_d \approx 250 + 155,9 = 405,9 \text{ m}.$$

в) Положбата на темето од синцирницата T и височината h_T



Слика П.4.15.2. Приказ на косиот распон новиот координатен систем

Ако координатниот почеток го поставиме во темето на синцирницата (точка T) тогаш за координатите (x_1, y_1) и (x_2, y_2) на точките на обесување „1“ и „2“ ќе важи:

$$x_2 = a_T / 2 = 202,5 \text{ m}; \quad x_1 = x_2 - a = 202,5 - 250 = -47,5 \text{ m}$$

Ординатите y_1 и y_2 ќе ги добијем со помош на релацијата (6.23)

$$\operatorname{ch} \frac{x_1}{c} = \operatorname{ch} \frac{-47,5}{779,7} = 1,001856; \quad y_1 = c \cdot \left(\operatorname{ch} \frac{x_1}{c} - 1 \right) = 1,45 \text{ m};$$

$$\operatorname{ch} \frac{x_2}{c} = \operatorname{ch} \frac{202,5}{779,7} = 1,033921; \quad y_2 = c \cdot \left(\operatorname{ch} \frac{x_2}{c} - 1 \right) = 26,45 \text{ m}.$$

Како проверка за точноста на решението може да ни послужи следната релација, која што произлегува од сликата П.4.16.2:

$$y_2 - y_1 = 26,45 - 1,45 = 25 \text{ m} \equiv \Delta h.$$

Сега, знаејќи ја височината на точката на обесување „1“ над тлото (слика П.4.16.1):

$$h_1 = H_{S1} = 15 \text{ m}$$

можеме да ја пресметаме и височината h_T на темето Т од синцирницата над тлото:

$$h_T = H_{S1} - y_1 = 15 - 1,45 = 15,55 \text{ m}.$$

Приближен начин на пресметување:

Величините y_1 , y_2 и y_T можеме да ги пресметаме на многу поедноставен начин, со помош на приближната релација (6.27) за пресметка на ордината $y(x)$ на произволна точка од една синцирница. На тој начин ќе добиеме:

$$x_1 = -47,5 \text{ m}; \quad y_1 = \frac{x_1^2}{2c} = \frac{47,5^2}{1559,4} = 1,446 \approx 1,45 \text{ m};$$

$$x_2 = 202,5 \text{ m}; \quad y_2 = \frac{x_2^2}{2c} = \frac{202,5^2}{1559,4} = 26,299 \approx 26,3 \text{ m и}$$

$$h_T = H_{S1} - y_1 = 15 - 1,45 = 15,55 \text{ m}.$$

2) Пресметка на височината h_B на спроводниците над левиот раб од патот (точка В);

1) Егзактен начин.

Координатите x_B и y_B на точката В од патот сметано во однос на темето од синцирницата, во согласност со сликата П.4.16.1, ќе бидат:

$$x_B = x_2 - 35 = 202,5 - 35 = 167,5 \text{ m}; \quad y_B = y_2 - H_{S2} = 26,45 - 20 = 6,45 \text{ m}.$$

Координатите $x_{B'}$ и $y_{B'}$ на точката В' од синцирницата којашто се наоѓа токму над левиот раб од патот (точка В), повторно сметано во однос на темето од синцирницата, во согласност со сликата П.4.16.1 и релацијата (6.23), ќе бидат:

$$x_{B'} = x_B = x_2 - 35 = 167,5 \text{ m}; \quad y_{B'} = c \cdot \left(\operatorname{ch} \frac{x_{B'}}{c} - 1 \right) = 18,06 \text{ m}.$$

Според тоа, височината на точката В' од синцирницата на работ од патот ќе биде (слика П.4.16.1):

$$h_B = y_{B'} - y_B = 18,06 - 6,45 = 11,51 \text{ m}.$$

2) Приближен начин.

Според приближниот начин, координатата $y_{B'}$ на точката В' ќе биде, во согласност со релацијата (6.27):

$$x_{B'} = x_B = x_2 - 35 = 167,5 \text{ m}; \quad y_{B'} = \frac{x_{B'}^2}{2c} = \frac{167,5^2}{1559,4} = 17,99 \approx 18 \text{ m}.$$

Според тоа, височината на точката В' од синџирницата на работ од патот, пресметана приближно, ќе биде (слика П.4.16.1):

$$h_B = y_{B'} - y_B = 18 - 6,45 = 11,55 \text{ m},$$

што се разликува за 0,6 m (или за 5% во однос на точната вредност).

д) Пресметка на должината на спроводниците во распонот l и пресметка на релативната отпуштеност λ

Должината на спроводникот во синџирницата, според (6.50), ќе биде:

$$l = \int_{x_1}^{x_2} dl = c \cdot \text{sh} \frac{x_2}{c} - c \cdot \text{sh} \frac{x_1}{c}$$

$$l = 1559,4 \cdot \left(\text{sh} \frac{202,5}{1559,4} - \text{sh} \frac{-47,5}{1559,4} \right);$$

$$l = 1559,4 \cdot (0,26265 + 0,06096) = 252,314 \text{ m}.$$

Релативната отпуштеност на синџирницата λ ќе биде:

$$\lambda = \frac{l-a}{a} = \frac{252,314 - 250}{250} = 9,255 \cdot 10^{-3} \text{ (0,93\%)}$$

Значи, спроводникот во косиот распон има должина којашто е за 0,93% поголема од должината на распонот.

е) Пресметување на провесот f во средината од распонот;

1) Егзактен начин.

Во согласност со сликата П.4.16.2, провесот f во средината од распонот може да се добие со помош на следната релација:

$$y_f + f + (\Delta h/2) = y_2 \Rightarrow f = y_2 - y_f - (\Delta h/2).$$

Координатите x_f и y_f на точката од синџирницата точно на средината од распонот, сметано во однос на темето од синџирницата, во согласност со сликата П.4.15.1, ќе бидат:

$$x_f = x_2 - a/2 = 202,5 - 125 = 77,5 \text{ m}; \quad y_f = c \cdot \left(\text{ch} \frac{x_f}{c} - 1 \right) = 3,86 \text{ m}.$$

Според тоа, за бараниот провес f ќе имаме:

$$f = 26,45 - 3,86 - 12,5 = 10,09 \text{ m}.$$

2) Приближен начин.

Приближната вредност на бараниот провес во средината од распонот, според релацијата (6.44) ќе биде:

$$f = \frac{a^2}{8c} \cdot \frac{1}{\cos \psi} = \frac{p \cdot a^2}{8\sigma} \cdot \frac{1}{\cos \psi}$$

Понатаму имаме:

$$\cos \psi = a / \sqrt{a^2 + \Delta h^2} = 250 / \sqrt{250^2 + 25^2} = 0,995;$$

$$f = \frac{1}{0,995} \cdot \frac{250^2}{779,7} = 10,07 \text{ m.}$$

Забележуваме дека добиената приближна вредност е скоро идентична со точната вредност на провесот (разлика под 0,2%).

е) Колкави ќе бидат напрегањата σ'_1 и σ'_2 во точките на обесување „1“ и „2“ на синџирницата во оваа состојба;

Вкупното (резултантното) напрегање σ' во дадена точка од јажето зависи од нејзината координата y . Според релацијата (6.64) тоа изнесува:

$$\sigma' = \sigma + p \cdot y.$$

Од тука следува:

$$\sigma'_1 = \sigma + p \cdot y_1 = 2,661 + 3,413 \cdot 10^{-3} \cdot 1,45 = 2,666 \text{ daN/mm}^2;$$

$$\sigma'_2 = \sigma + p \cdot y_2 = 2,661 + 3,413 \cdot 10^{-3} \cdot 23,55 = 2,751 \text{ daN/mm}^2.$$

До практично истиот резултат ќе дојдеме и со примена на релациите (6.75), но на многу поедноставен начин:

$$\sigma'_1 = \frac{\sigma}{\cos \psi} + p \cdot \left(f - \frac{\Delta h}{2} \right) \quad \text{и} \quad \sigma'_2 = \frac{\sigma}{\cos \psi} + p \cdot \left(f + \frac{\Delta h}{2} \right)$$

$$\sigma'_1 = \frac{\sigma}{\cos \psi} + p \cdot \left(f - \frac{\Delta h}{2} \right) = \frac{2,661}{0,995} + 3,429 \cdot 10^{-3} \cdot (10,09 - 12,5) = 2,666 \frac{\text{daN}}{\text{mm}^2};$$

$$\sigma'_2 = \frac{\sigma}{\cos \psi} + p \cdot \left(f + \frac{\Delta h}{2} \right) = \frac{2,661}{0,995} + 3,429 \cdot 10^{-3} \cdot (10,09 + 12,5) = 2,751 \frac{\text{daN}}{\text{mm}^2}.$$

ж) Пресметка на вк. хоризонтална сила на ветрот F_H ($V=40 \text{ m/s}$)

Силата со којашто дејствува ветрот врз секој метар должина од спроводникот F_V ќе биде:

$$F_V = c \cdot P_V \cdot S \cdot \sin \varphi,$$

каде што се:

c – коефициент на аеродинамичко дејство на ветрот (за спроводници $c=1$)

P_V – притисок на ветрот. Според (6.3) тој изнесува:

$$P_V = v^2/16 = 100 \text{ daN/m}^2;$$

S – површината нападната од ветрот (т.е. нејзината проекција). Во случајот ќе имаме:

$$S = 1 \times d = 1 \times 13,6 \cdot 10^{-3} = 13,6 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2;$$

φ – нападниот агол на ветрот. Се усвојува најнеповолниот случај $\varphi = 90^\circ$, $\sin \varphi = 1$.

Силата од ветрот по метар должина ќе биде: $F_V = P_V \cdot S = 1,36 \text{ daN/m}$.

Вкупната хоризонтална сила со којашто дејствува ветрот врз спроводникот во целиот распон F_H ќе биде:

$$F_H = F_V \cdot a = (c \cdot P_V \cdot S \cdot \sin \varphi) \cdot a,$$

Според тоа за вкупната хоризонтална сила на ветрот по фаза ќе добиеме:

$$F_H = 1,36 \cdot 250 = 340 \text{ daN.}$$

з) Пресметка на хоризонталната компонента на напрегањето $\bar{\sigma}_{-5}$ што ќе се појави во состојбата при $-5^{\circ}\text{C} + \text{НЗДТ}$:

Овој дел од задачата ќе го решиме со примена на равенката на состојбата. Притоа позната (состојба бр. 1) ќе биде состојбата при $\theta = 40^{\circ}\text{C}$, кога напрегањето е познато и изнесува $\sigma_{40} = 2,661 \text{ daN/mm}^2$ а специфичната тежина на спроводникот е еднаква на сопствената специфична тежина $p = 3,413 \cdot 10^{-3} \text{ daN/m,mm}^2$, или

$$p_1 = p = 3,413 \cdot 10^{-3} \text{ daN/m,mm}^2; \sigma_1 = \sigma_{40} = 2,661 \text{ daN/mm}^2 \text{ и } \theta_1 = 40^{\circ}\text{C},$$

додека непознатата состојба (состојба бр. 2) ќе биде онаа при $-5^{\circ}\text{C} + \text{НЗДТ}$, т.е.

$$p_2 = \bar{p} = p + \Delta p; \sigma_2 = \bar{\sigma}_{-5} = ? \text{ и } \theta_2 = -5^{\circ}\text{C}.$$

Зимскиот додатен товар Δp ќе го добиеме од условот поставен во задачата, на следниот начин:

– фактор на нормален зимски додатен товар (НЗДТ): $k_n = 1,6$;

– основен зимски дод товар g :

$$g = 0,18 \cdot \sqrt{d} = 0,18 \cdot \sqrt{13,6} = 0,65645 \text{ daN/m};$$

$$\Delta p = k_n \cdot (g / A) = 1,6 \cdot 0,65645 / 109,8 = 0,009566 \text{ daN/m,mm}^2 \text{ и}$$

$$\bar{p} = p + \Delta p = (3,413 + 9,566) \cdot 10^{-3} = 12,979 \cdot 10^{-3} \text{ daN/m,mm}^2.$$

Сега со помош на равенката на состојбата (6.85) ќе ја добиеме следната релација помеѓу параметрите на двете состојби бр. 1 и бр. 2:

$$\frac{p_2^2 \cdot a^2}{24 \cdot \sigma_2^2} - \frac{p_1^2 \cdot a^2}{24 \cdot \sigma_1^2} = \frac{\sigma_2 - \sigma_1}{E} + \alpha \cdot (\theta_2 - \theta_1).$$

Во последната релација единствена непозната е бараното напрегање $\sigma_2 \equiv \bar{\sigma}_{-5}$ во состојбата бр. 2 при $-5^{\circ}\text{C} + \text{НЗДТ}$. После определени математички трансформации и средувања на претходната релација се добива следната (6.87):

$$\bar{\sigma}_{-5} + m = \frac{n^2}{\bar{\sigma}_{-5}^2},$$

каде што константите m и n се пресметуваат врз основа на (6.88):

$$m = \frac{p_1^2 \cdot a^2}{24 \cdot \sigma_1^2} \cdot E + \alpha \cdot E \cdot (\theta_2 - \theta_1) - \sigma_1 \quad \text{и} \quad n = p_2 \cdot a \cdot \sqrt{\frac{E}{24}}.$$

Со замена на конкретните бројни вредности се добива:

$$m = 23,777 \text{ и } n = 58,118.$$

Решението на кубната равенка (6.87) гласи:

$$\bar{\sigma}_{-5} + 23,777 = \frac{58,118^2}{\bar{\sigma}_{-5}^2} \Rightarrow \bar{\sigma}_{-5} = 10 \frac{\text{daN}}{\text{mm}^2}.$$

с) Определување на состојбата во распонот при $-5^{\circ}\text{C} + \text{ИЗДТ}$

За да ја пресметаме состојбата во распонот, т.е. хоризонталната компонента на напрегањето $\bar{\sigma}_{-5}$, вкупните напрегања во точките на обесување $\bar{\sigma}_1$ и $\bar{\sigma}_2$ како и височината на спроводниците над патот h_B , најнапред, на начин сосема сличен на претход-

ниот, со примена на равенката на состојбата, ќе ја пресметаме бараното напрегањето $\bar{\sigma}_{-5}$. Сега непозната состојба бр. 2 ќе биде состојбата $-5^{\circ}\text{C}+\text{ИЗДТ}$, т.е.

$$p_2 = \bar{p} = p + k_i \cdot \Delta p; \sigma_2 = \bar{\sigma}_{-5} = ? \text{ и } \theta_2 = -5^{\circ}\text{C}.$$

додека познатата состојба бр. 1 и понатаму, како и во претходниот дел од задачата, ќе биде состојбата при $+40^{\circ}\text{C}$, т.е.

$$p_1 = p = 3,413 \cdot 10^{-3} \text{ daN/m,mm}^2; \sigma_1 = \sigma_{40} = 2,661 \text{ daN/mm}^2 \text{ и } \theta_1 = 40^{\circ}\text{C}.$$

Во новите услови се добива:

$$p_2 = \bar{p} = p + k_i \cdot \Delta p = (3,413 + 3 \cdot 9,566) \cdot 10^{-3} = 32,11 \cdot 10^{-3} \text{ daN/m,mm}^2$$

$$m = 23,777 \text{ и } n = 143,787.$$

Решението на кубната равенка (6.87) гласи:

$$\bar{\sigma}_{-5} + 23,777 = \frac{143,787^2}{\bar{\sigma}_{-5}^2} \Rightarrow \bar{\sigma}_{-5} = 21,394 \frac{\text{daN}}{\text{mm}^2}.$$

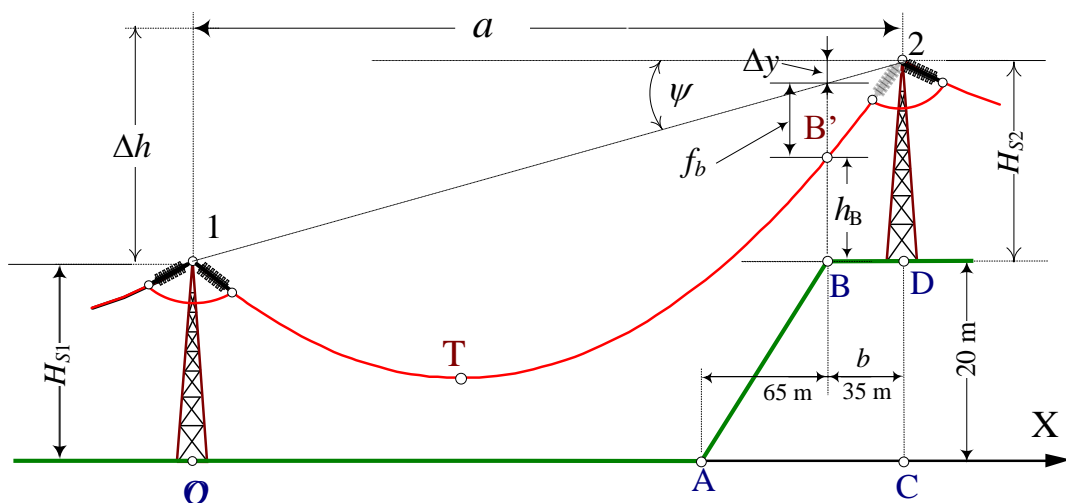
Провесот \bar{f}_{-5} во оваа состојба ќе биде:

$$\bar{f}_{-5} = \frac{1}{\cos \psi} \cdot \frac{\bar{p} \cdot a^2}{8 \cdot \bar{\sigma}_{-5}} = \frac{1}{0,995} \cdot \frac{32,11 \cdot 10^{-3} \cdot 250^2}{8 \cdot 21,394} = 11,78 \text{ m}.$$

Напрегањата во точките на обесување ќе бидат:

$$\bar{\sigma}'_1 = \frac{\bar{\sigma}_{-5}}{\cos \psi} + \bar{p} \cdot \left(\bar{f}_{-5} - \frac{\Delta h}{2} \right) = 21,479 \frac{\text{daN}}{\text{mm}^2};$$

$$\bar{\sigma}'_2 = \frac{\bar{\sigma}_{-5}}{\cos \psi} + \bar{p} \cdot \left(\bar{f}_{-5} + \frac{\Delta h}{2} \right) = 22,281 \frac{\text{daN}}{\text{mm}^2}.$$



Слика П.4.15.3. Приказ на косиот распон во состојбата при $-5^{\circ}\text{C}+\text{ИЗДТ}$

Височината на спроводниците над левиот раб на патот h_B ќе ја процениме со помош на приближната формула (6.42б) за провес во кос распон во произволна точка којашто се наоѓа на растојание b лево од точката на обесување „2“:

$$f_b \approx 4f \cdot \frac{b \cdot (a-b)}{a^2}.$$

Во конкретниот случај ќе имаме (сл. П.4.15.1 односно слика П.4.15.3):

$$b = 35 \text{ m}; \quad a - b = 215 \text{ m}; \quad f = \bar{f}_{-5} = 11,78 \text{ m}.$$

$$f_b = 4 \cdot 11,78 \cdot \frac{35 \cdot 215}{250^2} = 5,68 \text{ m}$$

Од сликата П1.3 следува:

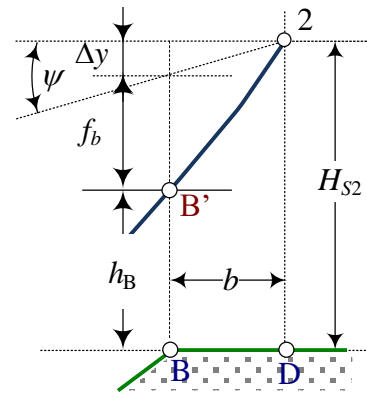
$$\frac{\Delta y}{b} = \frac{\Delta h}{a} = \text{tg}\psi \Rightarrow \Delta y = \Delta h \cdot \frac{b}{a};$$

$$\Delta y = 25 \cdot \frac{35}{250} = 3,5 \text{ m};$$

$$\Delta y + f_b + h_B = H_{S2}$$

$$\Rightarrow h_B = H_{S2} - f_b - \Delta y;$$

$$h_B = 20 - 5,68 - 3,5 = 10,82 \text{ m}.$$



Слика П.4.15.4

■ ■ ■

ДЕЛ III

ПРИМЕРИ И ЗАДАЧИ ОД ОБЛАСТА НА КАБЕЛСКИТЕ ВОДОВИ

1. ЕЛЕКТРИЧНИ ПАРАМЕТЕРИ. ТЕРМИЧКО ОПТОВАРУВАЊЕ

Пример 1. Кабел од типот IPO 13 3×95 6/10 kV е положен во земја. Познати се следните податоци: должина $l = 5$ km; подолжна импеданција $\underline{z} = (r+jx) = (0,19+j0,08)$ Ω/km; подолжна капацитивна спроводност $b = 30$ μS/km. Кабелот напојува дистрибутивен конзум кој претставува трифазен симетричен потрошувач со следните карактеристики: $U_n = 10$ kV; $P_P = 4$ MW; $\cos \varphi_P = 0,95$. Кабелот е положен во номинални услови, на длабочина $h = 0,7$ m во земја со температура $\theta = 20^\circ\text{C}$ и специфична топлинска отпорност $\rho = 100$ K·cm/W = 1K·m/W. Потребно е:

- да се утврди дали кабелот ќе биде термички преоптоварен;
- колкав ќе биде падот на напон ΔU (V) и $\Delta u\%$ како загубите на активна моќност во преносот ΔP (kW) и $\Delta p\%$.

Решение:

а) Од табела 5.8 на стр 34 ја отчитуваме табличната вредност на трајната дозволена струја на кабелот за номинални услови на полагање: $I_{dT} = 255$ A. (земја, Cu 95 mm²). Според тоа трајно дозволената струја на кабелот за специфицираните (номинални) услови на полагање ќе биде: $I_d = f \cdot I_{dT} = 1 \cdot 255 = 255$ A. ($f=1$).

Понатаму, од табелата 5.1 отчитуваме дека трајно дозволената температура на изолацијата на кабелот изнесува: $\theta_{dT} = \theta_{\max} = 65^\circ\text{C}$. Значи дозволената надтемпература на кабелот во номинални услови ќе биде: $\Delta\theta_{dT} = \theta_{dT} - 20 = 45^\circ\text{C}$.

Под претпоставката дека напонот на потрошувачот $U_P = U_n = 10$ kV (што во нормални услови на работа е, најчесто, сосема коректно) за струјата на потрошувачот I_P ќе добиеме:

$$S_P = \sqrt{3} \cdot U_P \cdot I_P = \sqrt{3} \cdot U_n \cdot I_P \Rightarrow I_P = \frac{S_P}{\sqrt{3} \cdot U_n} = \frac{P_P}{\sqrt{3} \cdot U_n \cdot \cos \varphi_P};$$

$$I_P = \frac{4000}{\sqrt{3} \cdot 10 \cdot 0,95} = 243,1 \text{ A. } I_P < I_d \text{ (} 243,1 \text{ A} < 255 \text{ A)}.$$

Значи, од термички аспект, кабелот ќе ги задоволи барањата.

- б) Параметрите на заменската π – шема на кабелот ќе бидат:

$$R = r \cdot l = 0,19 \cdot 5 = 0,95 \Omega; X = x \cdot l = 0,08 \cdot 5 = 0,4 \Omega; B = b \cdot l = 30 \cdot 5 = 150 \mu\text{S}; B/2 = 75 \mu\text{S}.$$

Вкупната реактивна (капацитивна) моќност Q_C што ќе ја генерира кабелот ќе биде:

$$Q_C = B \cdot U_n^2 = b \cdot l \cdot U_n^2 = 30 \cdot 10^{-6} \cdot 5 \cdot 10000^2 = 15.000 \text{ var} = 15 \text{ kvar}.$$

На оваа моќност одговара капацитивна струја $I_C = Q_C / (\sqrt{3} \cdot U_n) = 0,87$ A. Моќноста Q_C и струјата I_C се, значи, во споредба со моќноста, односно струјата, на потрошувачот занемарливо мали, па затоа во пресметките тие натаму нема да се земаат предвид.

Бидејќи ни е позната активната моќност $P_P = 4$ MW на потрошувачот и неговиот фактор на моќност $\cos \varphi_P = 0,95$, добиваме:

$$S_P = P_P / \cos \varphi_P = 4000 / 0,95 = 4210,53 \text{ MVA. } \underline{S}_P = (P_P + jQ_P)$$

Реактивната моќност на потрошувачот Q_P ќе биде:

$$\cos \varphi_P = 0,95; \sin \varphi_P = 0,31225; \text{tg} \varphi_P = 0,32868; Q_P = S_P \cdot \sin \varphi_P = 1315 \text{ kvar}.$$

Падот на напон во кабелот ќе биде:

$$\Delta U = \frac{P_P \cdot R + Q_P \cdot X}{U} \approx \frac{P_P \cdot R + Q_P \cdot X}{U_n} = \frac{4000 \cdot 0,95 + 1315 \cdot 0,4}{10} = 433 \text{ V} = 0,433 \text{ kV}.$$

$$\Delta u\% = \frac{\Delta U}{U_n} \cdot 100 = \frac{0,433}{10} \cdot 100 = 4,33\%.$$

загубите на моќност во кабелот ΔP ќе бидат:

$$\Delta P = 3 \cdot R \cdot I_P^2 = R \cdot \frac{P_P^2 + Q_P^2}{U_n^2} = R \cdot \frac{S_P^2}{U_n^2} = 0,95 \cdot \frac{4210,53^2}{10^2} = 168\,421 \text{ W} = 168,421 \text{ kW}.$$

или, изразено во %, загубите $\Delta p\%$ во кабелот ќе бидат:

$$\Delta p\% = \frac{\Delta P}{P_P} \cdot 100 = \frac{168,421}{4 \cdot 10^3} \cdot 100 = 4,2\% \quad (\eta = 95,8\%).$$

■ ■ ■

Пример 2. Да се утврди дали истиот кабел ќе задоволи од термички аспект ако во кабелскиот ров, заедно со него, се постави уште еден таков кабел, на растојание $\delta = 15 \text{ cm}$ од него.

Решение:

Сега условите на полагање на кабелот се ненормални, што значи дека ќе треба да се изврши корекција на струјното оптоварување според формулата:

$$I_d = f \cdot I_T; \quad f = f_1 \cdot f_2 \cdot f_3.$$

Факторите f_1 и f_2 ќе бидат 1 ($\rho = \rho_n = 100 \text{ K} \cdot \text{cm/W}$ и $\theta = 20^\circ\text{C}$). Но поради присуството на другиот кабел, факторот f_3 ќе треба да го отчитаме од табелата 5.14 (стр. 37):

$$f_3 = 0,86; \quad f = 1 \cdot 1 \cdot 0,86 = 0,86.$$

$$I_d = f \cdot I_T = 0,86 \cdot 255 = 219 \text{ A}.$$

Бидејќи струјата со која е оптоварен кабелот (т.е. струјата на потрошувачот) е:

$$I = I_P = 243,1 \text{ A} > I_d = 219 \text{ A},$$

произлегува дека кабелот ќе биде преотоварен за околу 11% во однос на дозволената трајна струја I_d . Тоа ќе се одрази врз неговиот животен век. Еве зошто.

Надтемпературата на кабелот во нормални (номинални) услови треба да биде:

$$\Delta \theta_{nr} = (\theta_{nr} - \theta_a) = 65 - 20 = 45^\circ\text{C}.$$

Сега, кога е кабелот преотоварен за 11%, тогаш неговата надтемпература ќе биде:

$$\Delta \theta = \Delta \theta_{nr} \cdot (I / I_{nr})^2 = 45 \cdot 1,11^2 = 55,4^\circ\text{C}.$$

Значи температурата на преотоварениот кабел ќе биде:

$$\theta = \theta_a + \Delta \theta = 20 + 55,4 = 75,4^\circ\text{C}.$$

Таа е поголема од дозволената за $75,4 - 65 = 10,4^\circ\text{C}$. Значи кабелот забрзано ќе старее.

Подоцна ќе видиме дека во овој случај брзината на стареење може да биде за 3,34 пати поголема од нормалната, т.е. за секој поминат работен час со работната температура од $75,4^\circ\text{C}$ кабелот ќе остарува за 3,34 часа. На тој начин, имајќи го предид променливиот дневен дјаграм на оптоварување на кабелот, неговиот животен век ќе се намали за 2÷3 пати.

■ ■ ■

Пример 3. Колкава е трајно дозволената струја I_d на кабелот разгледуван во претходната задача 2 во зимски услови, кога температурата на земјата изнесува $\theta = 5^\circ\text{C}$.

Решение:

Сега е $f_1 = 1$; $f_2 = 1$ (табела 5.13 на стр. 37) и $f_3 = 0,86$.

Значи повторно е $f = 0,86$, т.е.:

$$I_d = f \cdot I_{dT} = 0,86 \cdot 255 = 219 \text{ A.}$$

■ ■ ■

Пример 4. Дали истиот кабел од задачата бр. 1, поставен во номинални услови на полагање ($h = 0,7 \text{ m}$ $\theta = 20^\circ\text{C}$ $\rho = 100 \text{ K}\cdot\text{cm}/\text{W} = 1 \text{ K}\cdot\text{m}/\text{W}$), ќе задоволи од термички аспект ако се работи за напојување на индустриски потрошувач кој преку целиот ден ќе работи со константен товар $P_P = 3 \text{ MW}$, $\cos \varphi_P = 0,8$ $U_P = U_n = 10 \text{ kV}$.

Решение:

Кога кабелот напојува индустриски конзум, тогаш дозволеното струјно оптоварување ќе биде за 25% помало од нормираната вредност I_{dT} , отчитана од табелата 5.8 (стр. 34). Сега, значи, ќе имаме:

$$I_d = 0,75 \cdot I_{dT} = 0,75 \cdot 255 = 191 \text{ A.}$$

Струјата I_P на потрошувачот во овој случај ќе биде:

$$I_P = \frac{S_P}{\sqrt{3} \cdot U_n} = \frac{P_P}{\sqrt{3} \cdot U_n \cdot \cos \varphi_P} = \frac{3000}{\sqrt{3} \cdot 10 \cdot 0,8} = 216 \text{ A.}$$

Бидејќи $I_P > I_d$ ($216 \text{ A} > 191 \text{ A}$), значи кабелот ќе биде термички преотоварен.

■ ■ ■

Задача 5. Интересно е да се утврди која е максималната активна моќност на потрошувачот (при ист фактор на моќност $\cos \varphi_P = 0,8$) за која кабелот ќе биде оптоварен точно со трајно дозволената струја за овој случај.

[Решение: $P_P = 2,647 \text{ kW}$].

■ ■ ■

Пример 6. Од трансформаторска станица 110/10 kV кон трансформаторска станица 10/0.4 kV положен е кабел од типот IPO13 S 3x120mm² 10 kV на следниов начин:

- 1) кабелот е положен слободно во земја, во постела од ситен песок и е покриен со бетонска плоча. Кабелот напојува индустриска трансформаторска станица 10/0.4 kV, индустриското претпријатие работи во три смени;
- 2) земјиштето во кое се полага кабелот има специфичен топлински отпор од $250 \text{ C}\cdot\text{cm}/\text{W}$ ($250 \text{ K}\cdot\text{cm}/\text{W}$) и температура од 25°C .

Да се определи дозволеното струјно оптоварување на кабелот.

Решение:

Кабелот од типот IPO13 S 3x120 mm² 6/10 kV во нормални услови на погон може да се оптоварува со струја $I_{dT} = 290$ A. (табела 3.8). Бидејќи кабелот е покриен со бетонска плоча тој ќе има влошени услови на одведување на топлината, па струјното оптоварување на кабелот во нормални услови добиено од табела треба да се намали за 10% односно да се корегира со корекционен фактор 0.9;

Поради тоа што кабелот е во погон 24 часа/дневно со константен товар (напојува индустриското претпријатие што работи во три смени) добиеното дозволено струјно оптоварување треба да се намали за 25% односно да се корегира со корекционен фактор 0.75;

Вредноста на специфичниот топлински отпор на земјиштето ρ и амбиентната температура θ_a на земјиштето се разликуваат од таа во нормални услови па поради тоа ќе биде потребно да се изврши дополнителна корекција на дозволеното струјно оптоварување. За таа цел ќе треба да се пресметаат уште и корекционите фактори f_1 и f_2 .

$$f_1 = A \cdot B = 0,69 \cdot 1,04 = 0,712 \text{ (табели 5.11 и 5.12);}$$

$$f_2 = 0,94 \text{ (табела 5.13).}$$

На тој начин за дозволеното струјно оптоварување на овој кабел ќе добиеме:

$$I_d = 0,9 \cdot 0,75 \cdot f_1 \cdot f_2 \cdot I_{dT} = 0,9 \cdot 0,75 \cdot 0,712 \cdot 0,94 \cdot 290 = 131 \text{ A.}$$

Значи, дури и при оваа намалена струја на оптоварување од 131 A, во наведените влошени услови на трасата кабелот се загрева исто како и при струја $I = 290$ A и при нормални услови.



Пример 7. Од трансформаторска станица 110/10 kV поаѓаат три кабли од типот IPO13 AS 3x240 mm² 6/10 kV. Познато е следното:

- 1) каблите се оптоварени со константен товар преку целиот ден (индустриски конзум);
- 2) каблите на еден дел од трасата се положени паралелно, слободно во земја, на меѓусебно растојание од 15 cm. Температурата на земјиштето изнесува 20°C, а специфичниот топлински отпор на земјиштето изнесува 100°C·cm/W;
- 3) на друг дел од трасата каблите се положени на тлото (воздух) со уште два други кабла, така што ги има вкупно 5. Тие меѓусебно се допираат. Температурата на воздухот изнесува 35°C.

Да се определи струјното оптоварување на секој од нив.

Решение:

Во номинални услови на полагање кабелот од типот IPO13 AS 3x240 mm² 10 kV може да се оптовари со струја $I_{dT} = 325$ A (табела 5.8). Но поради паралелното полагање на каблите (ги има вкупно 3 кабли) ќе треба да се изврши редукција на оптоварувањето со помош на корекциониот фактор $f_3=0,77$ (табела 5.14).

Бидејќи каблите се во погон 24 часа со константен товар, отчитаното струјно оптоварување I_{dT} треба да се корегира дополнително со корекционен фактор 0,75. На тој начин трајното дозволено струјно оптоварување на секој кабел во дадениот случај ќе биде:

$$I_d = 0,75 \cdot f_3 \cdot I_{dT} = 0,75 \cdot 0,77 \cdot 325 = 187,7 \text{ A.}$$

Да го определиме сега дозволеното струјно оптоварување на каблите за вториот дел од трасата, каде што се тие положени на тлото (воздух).

За номинални услови на полагање, кабелот тип IPO13 AS 3x240 mm² 6/10 kV положен на тлото може да се оптовари со струја $I_{dT} = 320$ A (табела 5.9). Но поради зголемената температура на воздухот ($\theta = 35^\circ\text{C} > 30^\circ\text{C}$) мора да се земе во предвид корекциониот фактор $f_4 = 0,94$ (табела 5.15). Понатаму, поради тоа што се работи за 5 кабли, поставени на тло, и притоа тие меѓусебно се допираат, треба да се изврши дополнителна редукција на оптоварувањето, преку корекциониот фактор $f_5 = 0,73$ (табела 5.16 а). На тој начин дозволеното струјно оптоварување на кабелот ќе биде:

$$I_d = 0,75 \cdot f_4 \cdot f_5 \cdot I_{dT} = 0,75 \cdot 0,94 \cdot 0,73 \cdot 320 = 165 \text{ A.}$$

При овие влошени услови на ладење секој кабел ќе се загрева исто како и при номинална струја во нормални услови на полагање.

Во дадениов случај полоши работни услови на каблите ќе имаме во вториот дел од трасата, кога се тие положени на под. Затоа трајното дозволено струјно оптоварување (ТДСО) на каблите ќе биде дефинирано од условите што владеат на овој дел, т.е. секој кабел ќе има ТДСО: $I_d = 165$ A.



Пример 8. Се посматра кабелот од примерот 5.1 (IPO 13 3x150 6/10 kV; $I_{dT} = 325$ A; $\theta_{dT} = 65^\circ\text{C}$), поставен во номинални услови. Кабелот е номинално оптоварен така што температурата на неговите спроводници е еднаква на максимално дозволената 65°C . Да се утврди:

а) дали кабелот ќе биде термички преоптоварен во режимот на куса врска ако струјата на куса врска што тече низ него изнесува $I_{KV} = 10$ kA, а притоа времето на исклучување на кусата врска изнесува $t_{isk} = 0,5$ s.

б) колкаво е граничното време на исклучување на кусата врска $t_{isk, gr} = ?$ за овој кабел, т.е. она времетраење на кусата врска за кое температурата на кабелот ќе ја достигне максимално дозволената $\theta_{d, max} = 165^\circ\text{C}$ (табела 5.1).

б) колкаво ќе биде граничното време на исклучување на кусата врска $t'_{isk, gr}$ за овој кабел, т.е. ако пред настанувањето на кусата врска кабелот бил неоптоварен и неговата температура изнесувала $\theta_1 = \theta_a = 20^\circ\text{C}$. (При решавањето на овој дел од задачата да се користат дијаграмите од сл. 5.8, прикажани на страна 47).

Решение:

а) За номинално оптоварен кабел, за кој температурата на спроводниците пред настанувањето на кусата врска е еднаква на максимално дозволената θ_{dT} (во овој случај $\theta_{dT} = 65^\circ\text{C}$), дозволената едносекундна густина на струјата на куса врска ја отчитуваме од табелата 5.19 на страна 45: $j_{1s} = 122$ A/mm². На тој начин, всушност, ја добиваме и вредноста дозволената едносекундна струја на кусата врска I_{1s} :

$$I_{1s} = j_{1s} \cdot S = 122 \cdot 150 = 18300 \text{ A} = 18,3 \text{ kA.}$$

Во општ случај, кога кусата врска трае t_{isk} секунди, дозволената густина на струјата на куса врска j_{KV} ќе биде за $\sqrt{t_{isk}}$ пати помала во однос на нејзината едносекундна вредност j_{1s} , затоа што во тој случај топлинскиот импулс $A = \int i^2 dt$ ќе остане ист на оној што одговара на дозволената едносекундна струја на кусата врска I_{1s} .

Во конкретниот случај кога времето на исклучување на кусата врска изнесува $t_{isk} = 0,5$ s, дозволената густина на струјата на куса врска $j_{0,5s}$ ќе биде:

$$j_{0,5s} = j_{1s} / \sqrt{0,5} = 122 / \sqrt{0,5} = 172 \text{ A/mm}^2,$$

колку што, впрочем, може и да се отчита од истата табела 5.19. Според тоа, вредноста $I_{KV.doz}$ на струјата на куса врска која за време на кусата врска ќе ја подигне температурата на спроводниците од кабелот на максимално дозволената вредност од $\theta_{d,max} = 165^\circ\text{C}$ (табела (5.1) ќе изнесува:

$$I_{KV.doz} = I_{0,5s} = j_{0,5s} \cdot S = 172 \cdot 150 = 25800 \text{ A} = 25,8 \text{ kA}.$$

Бидејќи струјата на куса врска што ќе тече низ кабелот во конкретниот случај изнесува $I_{KV} = 10 \text{ kA} < 25,8 \text{ kA}$, (значи $I_{KV} < I_{KV.doz}$) кабелот нема термички да се преоптовари за време на кусата врска. Заклучуваме дека, во случајов, времетраењето на кусата врска може да биде и подолго од 0,5 s.

б) Граничното време на исклучување на кусата врска $t_{isk.gr}$ ќе го добиеме повторно од условот топлинскиот импулс $A = I_{KV}^2 \cdot t_{isk.gr}$ што ќе се оствари во тој случај да биде еднаков на оној што се остварува за време од 1 s, под дејство на едносекундта струја I_{1s} , т.е.:

$$I_{KV}^2 \cdot t_{isk.gr} = I_{1s}^2 \cdot 1. \Rightarrow t_{isk.gr} = (I_{1s} / I_{KV})^2 = (18,3/10)^2 = 3,35 \text{ s}.$$

в) Доколку кабелот не бил струјно оптоварен пред настанувањето на кусата врска така што неговата температура била еднаква на амбиентната $\theta_1 = \theta_a = 20^\circ\text{C}$, дозволената едносекундна густина на струјата ќе биде поголема. Нејзината вредност можеме да ја отчитаме од дијаграмот прикажан на стр 47 (слика 5.8). Од овој дијаграм (за спроводници од бакар), го отчитуваме следното:

$$j_{1s} = 148 \text{ A/mm}^2 \text{ за случајот кога е } \theta_{d,max} = 160^\circ\text{C};$$

$$j_{1s} = 156 \text{ A/mm}^2 \text{ за случајот кога е } \theta_{d,max} = 170^\circ\text{C};$$

Значи, на вредноста $\theta_{d,max} = 165^\circ\text{C}$ би и одговарала едносекундна густина на струјата:

$$j'_{1s} = 153 \text{ A/mm}^2.$$

Во тој случај едносекундната струја I_{1s} ќе биде:

$$I'_{1s} = 153 \cdot 150 = 22.950 \text{ A} = 22,95 \text{ kA}.$$

на оваа вредност на дозволената едносекундна струја на кусата врска ќе и одговара поголемо гранично време на исклучување на кусата врска:

$$t'_{isk.gr} = (I'_{1s} / I_{KV})^2 = (22,95/10)^2 = 5,27 \text{ s}.$$

■ ■ ■

Пример 9. Се посматра кабелот од претходниот пример (IPO 13 3x150 6/10 kV; $I_{dT} = 325$ A; $\theta_{dT} = 65^\circ\text{C}$; $\tau = 20$ min), положен во земја, во номинални услови. Кабелот напојува голем асинхрон мотор кој придвижува голем потрошувач што работи во интермитиран погон. Притоа што работниот циклус на моторот се состои од период на работа, во траење $t_k = 5$ min после што следи пауза од најмалку 1 час. Може да се смета дека за време на паузата кабелот успеал целосно да се излади и да ја прими амбиентната температура $\theta_a = 20^\circ\text{C}$. Да се пресмета колкав е дозволеениот фактор на преоптоварување на кабелот за дадените услови на работа $c_k = ?$

Решение:

Дозволеният фактор на преоптоварување на кабелот c_k претставува однос помеѓу струјата на оптоварување I , со која работејќи кратковремено, тој ќе ја достигне трајно дозволената температура θ_{dT} , и неговата трајно дозволена струја I_d . Тој зависи само од односот t_k/τ на времето на работа (оптоварување) на кабелот t_k и неговата временска константа на загревање/ладење τ . Се пресметува со помош на релацијата (5.25):

$$c_k = \frac{I}{I_d} = \left(1 - e^{-t_k/\tau}\right)^{-1/2}.$$

Во конкретниот случај имаме: $t_k = 5 \text{ min}$; $\tau = 20 \text{ min}$; $t_k/\tau = 5/20 = 0,25$; $I_d = I_{dT} = 325 \text{ A}$; $c_k = 2,126$.

Значи, дозволената кратковремена струја на кабелот во интермитиран погон изнесува:

$$I = 2,126 \cdot 325 = 542 \text{ A}.$$



Пример 10. Се посматра истиот кабел од претходниот пример (ИРО 13 3x150 6/10 kV; $I_{dT} = 325 \text{ A}$; $\theta_{dT} = 65^\circ\text{C}$; $\tau = 20 \text{ min}$), поставен во номинални услови. Кабелот напојува голем потрошувач ($P_P = 7,5 \text{ MW}$, $\cos\varphi_P = 0,8$; $I_P = 542 \text{ A}$) којшто работи во интермитиран погон така што после времетраење на работниот циклус $t_k = 5 \text{ min}$, за кое време влече константна струја $I_P = 542 \text{ A}$, слично како и во претходната задача, прави пауза која што трае најмалку 1 час. За време на паузата кабелот практично целосно успева да се излади и да ја прими амбиентната температура $\theta_a = 20^\circ\text{C}$. Да се утврди временскиот тек на загревање и ладење на кабелот за првите 60 минути од работниот циклус, сметајќи го за $t = 0$ моментот кога се вклучува потрошувачот и кога доаѓа до струјно оптоварување на кабелот. Дали кабелот ќе ја надмине дозволената температура $\theta_{dT} = 65^\circ\text{C}$?

Решение:

Зависноста на температурата на кабелот од времето, во периодот на загревање на кабелот ($0 \leq t \leq 5 \text{ min}$) ќе ја пресметаме со помош на релацијата (5.13). Притоа почетната температура на кабелот изнесува $\theta_0 = \theta_a = 20^\circ\text{C}$, додека стационарната температура θ_∞ што би се постигнала после доволно долго време под дејство на струјата на оптоварување на потрошувачот $I_P = 542 \text{ A}$, ќе биде:

$$\Delta\theta_\infty = (\theta_\infty - \theta_a) = \Delta\theta_{dT} \cdot (I_P / I_{dT})^2 = 45 \cdot (542/325)^2 = 203,3^\circ\text{C};$$

$$\theta_\infty = \theta_a + \Delta\theta_\infty = 20 + 203,3 = 223,3^\circ\text{C}.$$

Според тоа, изразот за пресметување на зависноста $\theta(t)$ во интервалот ($0 \leq t \leq t_k = 5 \text{ min}$) ќе гласи:

$$\theta(t) = \theta_a + (\theta_\infty - \theta_a) \cdot (1 - e^{-t/\tau}) + (\theta_0 - \theta_a) \cdot e^{-t/\tau}; \text{ или}$$

$$\theta(t) = 20 + 203,3 \cdot (1 - e^{-t/20}).$$

Во периодот по исклучувањето на потрошувачот ($t_k < t \leq 60 \text{ min}$) ќе имаме ладење на кабелот бидејќи тогаш струјата на оптоварување е $I_P = 0$. Поради тоа, стационарната температура θ_∞ што одговара на таа струја ќе биде всушност амбиентната температура, т.е. $\theta_\infty = \theta_a$. Во тој случај повторно ќе го применуваме изразот (5.13) само што сега ќе отпадне средниот член, па на тој начин зависноста $\theta(t)$ ќе биде опишана со следната релација:

$$\theta(t) = \theta_a + (\theta_a - \theta_a) \cdot (1 - e^{-(t-t_k)/\tau}) + (\theta_0 - \theta_a) \cdot e^{-(t-t_k)/\tau} = \theta_a + (\theta_0 - \theta_a) \cdot e^{-\frac{t-t_k}{\tau}}$$

Во последниот израз се води сметка за "поместувањето" на времето, т.е. во изразот (5.13) времето t се заменува со "поместеното време" $t' = t - t_k$, бидејќи овој режим на работа на кабелот, кој претставува процес на ладење, започнува во моментот $t' = 0$ (или во $t = t_k$), т.е. во однос на почетокот на сметањето на времето ($t = 0$) тој започнува со временско доцнење t_k .

Треба да се нагласи дека, во последниот израз, со θ_0 е означена температурата на кабелот на почетокот од новиот процес, во $t' = 0$, односно температурата на кабелот што се имала во $t = t_k = 5 \text{ min}$. Од табелата 10.1 се гледа дека таа изнесува $\theta_0 = 65^\circ\text{C}$.

На тој начин се добива и временскиот тек $\theta(t)$ за периодот $t > t_k$. Резултатите од овие пресметки се прикажани во табелата 10.1, односно на дијаграмот од слика 10.1

Табела 10.1. Табеларен приказ на зависноста $\theta(t)$

t (min)	$\theta(t)$ °C	t (min)	$\theta(t)$ °C	t (min)	$\theta(t)$ °C	t (min)	$\theta(t)$ °C	t (min)	$\theta(t)$ °C	t (min)	$\theta(t)$ °C
0	20.0	10	55.0	20	41.3	30	32.9	40	27.8	50	24.5
1	29.9	11	53.3	21	40.2	31	32.3	41	27.4	51	24.3
2	39.4	12	51.7	22	39.2	32	31.7	42	27.1	52	24.1
3	48.3	13	50.2	23	38.3	33	31.1	43	26.7	53	23.9
4	56.9	14	48.7	24	37.4	34	30.6	44	26.4	54	23.7
5	65.0	15	47.3	25	36.6	35	30.0	45	26.1	55	23.5
6	62.8	16	46.0	26	35.7	36	29.6	46	25.8	56	23.3
7	60.7	17	44.7	27	35.0	37	29.1	47	25.5	57	23.2
8	58.7	18	43.5	28	34.2	38	28.6	48	25.2	58	23.0
9	56.8	19	42.3	29	33.6	39	28.2	49	25.0	59	22.9



Слика 10.1. Зависност $\theta(t)$ на температурата на кабелот од времето

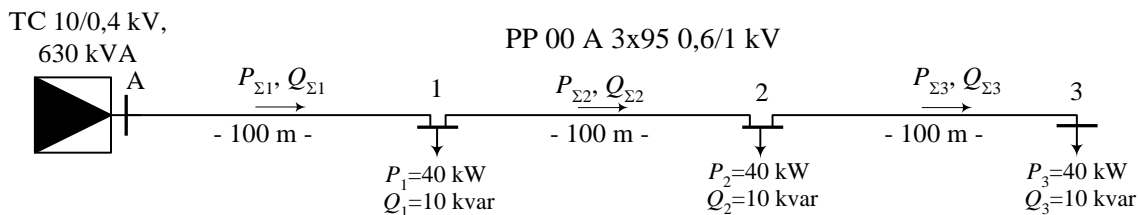


Задача 11. Колкава ќе биде температурата θ_5 на кабелот во $t = t_k = 5 \text{ min}$, т.е. на крајот од работниот циклус, ако во периодите помеѓу работните циклуси кабелот напојува и други потрошувачи, пренесувајќи струја $I_0 = 120 \text{ A}$, така што на почетокот од секој работен циклус температурата на кабелот изнесува $\theta_0 = 30^\circ\text{C}$.

Решение: $\theta_5 = \theta(t=5 \text{ min}) = 75^\circ\text{C}$.

■ ■ ■

Пример 12. Три станбени објекти треба да се напојуваат преку еден четирижилен нисконапонски (НН) кабелски извод од типот PP00 А 4×X 0,6/1 kV (сл. 12.1). Кабелот ќе биде положен во кабелски ров, директно во земјата, на длабочина $h = 0,7 \text{ m}$. Специфичната топлинска отпорност на земјата изнесува $\rho = 100 \text{ K}\cdot\text{cm}/\text{W}$. Во зимски услови, кога настапува врвното оптоварување на конзумот, температурата на земјата (амбиентот) изнесува $\theta_a = 10^\circ\text{C}$.



Слика 12.1. НН кабелска мрежа (извод) што напојува три потрошувачи

Во режимот на максимално оптоварување (режим кога кабелот струјно е најмногу оптоварен) едновременото врвно оптоварување на секој потрошувач изнесува 40 kW , $\cos\varphi = 0,97$ ($\text{tg}\varphi = 0,25$), така што сумарното едновремено врвно оптоварување на кабелот изнесува 120 kW ; $\cos\varphi = 0,97$. Потребно е:

а) да се изврши избор на пресекот на кабелот така што неговото струјно оптоварување ќе биде помало од дозволеното (избор според термичкиот критериум);

б) за така избраниот пресек на кабелот да се изврши проверка дали е задоволен напонскиот критериум $\Delta U < \Delta U_{\text{доz}}$, ако дозволената загуба (односно падот) на напонот во мрежата изнесува $\Delta U_{\text{доz}} = 5\%$;

в) за избраниот пресек да се пресмета најголемата струја на трифазна куса врска $I_{K3} = ?$ за која кабелот сè уште нема да биде термички преоптоварен во режимот на куса врска. Дали избраниот кабел ќе го задоволи овој критериум ако се знае дека струјата на трифазна куса врска што ќе се воспостави во режимот на куса врска изнесува $I_{K3} = 15 \text{ kA}$. Познато е дека кабелот се штити од куси врски со уред кој со сигурност ја исклучува кусата врска за време $t_{\text{иск}} \leq 0,2 \text{ s}$.

Решение:

а) Избор на пресек на кабелот според термичкиот критериум

Сумарното оптоварување $\underline{S}_{\Sigma 1} = (P_{\Sigma 1} + jQ_{\Sigma 1})$ со кое ќе биде оптоварен кабелот во првата делница (делница А-1) ќе изнесува (приближно со занемарување на загубите на моќност во мрежата):

$$P_{\Sigma 1} = P_1 + P_2 + P_3 = 40 + 40 + 40 = 120 \text{ kW};$$

$$Q_{\Sigma 1} = Q_1 + Q_2 + Q_3 = 10 + 10 + 10 = 30 \text{ kvar.}$$

$$S_{\Sigma 1} = \sqrt{P_{\Sigma 1}^2 + Q_{\Sigma 1}^2} = \sqrt{120^2 + 30^2} = 123,7 \text{ kVA};$$

$$I_{\Sigma 1} = S_{\Sigma 1} / (\sqrt{3} \cdot U_n) = 123,7 / (1,732 \cdot 0,4) = 178,6 \text{ A.}$$

Бидејќи се работи за осамен кабел положен на номинална длабочина $h = 0,7 \text{ m}$, во земја со $\rho = \rho_n = 100 \text{ K} \cdot \text{cm}/\Omega$, со температура $\theta_a = 10^\circ\text{C}$ која се разликува од номиналната ($\theta_a \neq \theta_{aT} = 20^\circ\text{C}$), струјното оптоварување на кабелот ќе го добиеме со соодветна корекција. Од табелата 5.13 (прва редица) отчитуваме: $k = k_2 = 1,1$.

Сега, од табелата 5.2 на стр. 28 (PVC-кабли, положени во земја), за 4-жилни НН кабли со спроводници од алуминиум, отчитуваме:

$$A = 50 \text{ mm}^2; \quad I_{dT} = 145 \text{ A}; \quad I_d = 1,1 \cdot I_{dT} = 159,5 \text{ A},$$

$$A = 70 \text{ mm}^2; \quad I_{dT} = 175 \text{ A}; \quad I_d = 1,1 \cdot I_{dT} = 192,5 \text{ A},$$

$$A = 95 \text{ mm}^2; \quad I_{dT} = 215 \text{ A}; \quad I_d = 1,1 \cdot I_{dT} = 239,5 \text{ A}.$$

Најмалиот стандарден пресек кој ќе задоволи термички ($I_P \leq I_d$) е пресекот $A = 70 \text{ mm}^2$. За него важи: $I_d = 192,5 \text{ A} > I_P = 178,6 \text{ A}$. Затоа го усвојуваме овој пресек. Подолжните параметри на овој кабел r и x ќе бидат (за НН кабли подолжната реактанција е приближно $x = 0,08 \Omega/\text{km}$):

$$r = \frac{1000}{\kappa_{Al} \cdot A} = \frac{1000}{32 \cdot 70} = \frac{31,25}{70} = 0,45 \frac{\Omega}{\text{km}};$$

$$x = 0,08 \frac{\Omega}{\text{km}}; \quad \underline{z} = (r + jx) = (0,45 + j0,08) \frac{\Omega}{\text{km}}.$$

б) Проверка на падот на напон во мрежата (проверка на напонскиот критериум)

Понатаму, треба да се провери дали за избраниот пресек на кабелот ќе биде задоволен напонскиот критериум, т.е. да се провери дали падот на напон во мрежата ΔU до „електрички“ најоддалечениот потрошувач (а тоа е крајниот потрошувач бр. 3) не е поголем од дозволеениот пад на напон $\Delta U_{\text{доz}}$.

Со примена на I Кирховов закон за струи (моќности) се добиваат приближните вредности $P_{\Sigma i}$ и $Q_{\Sigma i}$ ($i = 1, 2, 3$) на активната и реактивната моќност во i -тата гранка (делница) од мрежата во режимот на максимално оптоварување:

$$1 \text{ делница: } R_1 = r \cdot l_1 = 0,045 \Omega; \quad X_1 = x \cdot l_1 = 0,008 \Omega;$$

$$P_{\Sigma 1} = P_1 + P_2 + P_3 = 120 \text{ kW}; \quad Q_{\Sigma 1} = Q_1 + Q_2 + Q_3 = 30 \text{ kvar};$$

$$2 \text{ делница: } R_2 = r \cdot l_2 = 0,045 \Omega; \quad X_2 = x \cdot l_2 = 0,008 \Omega;$$

$$P_{\Sigma 2} = P_2 + P_3 = 80 \text{ kW}; \quad Q_{\Sigma 2} = Q_2 + Q_3 = 20 \text{ kvar};$$

$$3 \text{ делница: } R_3 = r \cdot l_3 = 0,045 \Omega; \quad X_3 = x \cdot l_3 = 0,008 \Omega;$$

$$P_{\Sigma 3} = P_3 = 40 \text{ kW}; \quad Q_{\Sigma 3} = Q_3 = 10 \text{ kvar};$$

Во задачата бр. 1 видовме дека разликата ΔU на модулите на напоните на почетокот и крајот од еден вод можат приближно (но доволно точно) да се пресмета со помош на равенката:

$$\Delta U \approx \frac{P \cdot R + Q \cdot X}{U_n} \square$$

На тој начин, за секоја од делниците на мрежата од слика 12.1 можеме да пишуваме:

$$\Delta U_1 = U_A - U_1 = \frac{P_{\Sigma 1} R_1 + Q_{\Sigma 1} X_1}{U_n} = \frac{120 \cdot 0,045 + 30 \cdot 0,008}{0,4} = 13,7 \text{ V}; \quad U_1 = U_A - \Delta U_1;$$

$$\Delta U_2 = U_1 - U_2 = \frac{P_{\Sigma 2} R_2 + Q_{\Sigma 2} X_2}{U_n} = 9,13 \text{ V}; \quad U_2 = U_1 - \Delta U_2 = U_A - \Delta U_1 - \Delta U_2;$$

$$\Delta U_3 = U_2 - U_3 = \frac{P_{\Sigma 3} R_3 + Q_{\Sigma 3} X_3}{U_n} = 4,57 \text{ V}; \quad U_3 = U_2 - \Delta U_3 = U_A - \Delta U_1 - \Delta U_2 - \Delta U_3.$$

Падот на напонот во мрежата ΔU (кој што се нарекува уште и „загуба на напон“) ќе биде:

$$\Delta U = U_A - U_3 = \Delta U_1 + \Delta U_2 + \Delta U_3 = 13,7 + 9,13 + 4,57 = 27,4 \text{ V},$$

или во проценти:

$$\Delta u \% = \frac{\Delta U}{U_n} \cdot 100 = \frac{27,4}{400} \cdot 100 = 6,85\%.$$

Бидејќи условот $\Delta U \leq \Delta U_{\text{доz}}$ не е исполнет, усвоениот пресек не задоволува па ќе треба да се усвои поголем пресек. Првиот стандарден поголем пресек е пресекот $S = 95 \text{ mm}^2$. За него важи:

$$I_{dT} = 215 \text{ A}; \quad I_d = 239,5 \text{ A}; \quad r = \frac{1000}{\kappa_{Al} \cdot A} = \frac{1000}{32 \cdot 95} = 0,33 \frac{\Omega}{\text{km}};$$

$$x \approx 0,08 \frac{\Omega}{\text{km}}; \quad \underline{z} = (r + jx) = (0,33 + j0,08) \frac{\Omega}{\text{km}}.$$

Не е тешко да се покаже дека за овој пресек се добива:

$$\Delta U = \Delta U_1 + \Delta U_2 + \Delta U_3 = 10,5 + 7,0 + 3,5 = 20 \text{ V}; \quad (\Delta u \% = 5\%).$$

од каде што произлегува заклучокот дека за овој пресек е задоволен напонскиот критериум.

в) Проверка на загревањето на кабелот во режимот на куса врска

Од табелата 5.19 (стр. 45) за PVC-кабли се отчитува доволната едносекундна густина на струјата за режимот на куса врска:

$$j_{1s} = 74,5 \text{ A} \Rightarrow I_{1s} = j_{1s} \cdot A = 74,5 \cdot 95 = 7078 \text{ A} = 7,078 \text{ kA}.$$

Бидејќи струјата на куса врска се исклучува за време $t_{isk} = 0,2 \text{ s}$, дозволената $0,2 \text{ s}$ струја на куса врска $I_{0,2s}$ ќе ја добиеме тргнувајќи од условот за еднаквост на струјните импулси:

$$I_{1s}^2 \cdot 1 = I_{0,2s}^2 \cdot 0,2 \Rightarrow I_{0,2s} = I_{1s} / \sqrt{0,2} = 2,236 \cdot I_{1s} = 2,236 \cdot 7,078 = 15,83 \text{ kA}.$$

Бидејќи во случајов струјата на куса врска е $I_{KV} = I_{K3} = 15 \text{ kA} < 15,83 \text{ kA}$, произлегува дека избраниот пресек за кабелот ќе задоволи од термички аспект и во режимот на куса врска.

■ ■ ■

2. ПРОЦЕНКА НА ТОПЛИНСКАТА ИСТРОШЕНОСТ НА ИЗОЛАЦИЈАТА НА ЕНЕРГЕТСКИТЕ КАБЛИ

За изолираните спроводници и кабли дозволените температури на спроводниците не претставуваат единствен критериум за определувањето на нивната пропусна способност (моќ). За таа цел ќе треба да се земе предвид уште и брзината на стареењето на самата изолација во погонот, која, пак, зависи од термичките напрегања на кои таа ќе биде изложена во текот на својата работа. Со други зборови кажано, треба да се земе предвид и топлинската истрошеност на изолацијата на кабелот.

Рокот на служба (траење) односно животниот век на изолацијата е неопределена величина. Затоа е позгодно да се користиме со поимот *релативна истрошеност* на изолацијата λ , споредувајќи ја нејзината фактичка истрошеност со нормалната истрошеност која што соодветствува на истрошеноста на истата таа изолација што би се остварила кога кабелот е поставен во номинални услови и е оптоварен со својата номинална трајно дозволена струја. Релативната истрошеност на изолацијата на еден кабел ја дефинира всушност брзината на неговото стареење.

Бидејќи при променливиот дијаграм на траење на оптоварување во часовите на малите оптоварувања температурата на спроводниците ќе биде помала од нормалната, тогаш релативната истрошеност во овие часови исто така ќе биде помала од нормалната. Затоа за да се постигне целосно или потполно искористување на изолацијата можно е во часовите на големите оптоварувања кабелот донекаде и да се преоптовари. Вкупната истрошеност при тоа може да остане иста со онаа што би се остварила во номинални услови на работа.

Релативната истрошеност λ на изолацијата е, значи, однос помеѓу вистинскиот животен век што таа ќе го помине со наметнатото темпо на работа во погонот и нејзиниот нормалниот животен век. Таа во најголема мера зависи од работната температура θ , т.е. од температура на кабелот со која што тој работи. Поточно кажано, релативната истрошеност λ зависи од разликата помеѓу работната температура θ и максималната дозволена температура θ_{dT} на самата изолација. Може да се пресмета со помош на следниот израз:

$$\lambda = \exp[a \cdot (\theta - \theta_{dT})] = e^{a \cdot (\theta - \theta_{dT})}. \quad (1)$$

Во последната релација со θ е означена работната температура на кабелот, со θ_{dT} е означена максималната дозволена температура на самата изолација (табела 5.1) и a претставува коефициент којшто зависи од типот и класата на изолација.

За изолацијата од импрегнирана хартија може да се применува т.н. „шестостепено правило“, кое вели: при зголемување на температурата за 6°C над дозволената температура на изолацијата, топлинската истрошеност на изолацијата (нејзиното стареење) се забрзува за два пати. Од таму произлегува дека вредноста на овој коефициент изнесува $a = 0.115$. За груби пресметки ова правило може да се примени за гумени и други видови изолација.

Позгодно е ако „шестостепеното“ правило да се изразува на следниот начин:

$$\lambda = 2^{\frac{\theta - \theta_{dT}}{6}}. \quad (2)$$

На пример за кабел за кој е $\theta_{dT} = 80^\circ\text{C}$, кога тој работи со температура $\theta = 83^\circ\text{C}$, релативната истрошеност на неговата изолација изнесува:

$$\lambda = 2^{\frac{83-80}{6}} = 2^{0,5} = 1,41.$$

Значи, во периодот кога кабелот ќе работи со оваа температура брзината на неговото стареење ќе биде поголема од нормалната за 41%. Или кажано со други зборови, за секој поминат работен саат со температура $\theta = 83^\circ\text{C}$ кабелот остарува за 1,41 часови.

$$\lambda_0 = 2^{\frac{(83-80)}{6}} = 2^{1/2} = 1.41$$

Обратно, кога кабелот е подоптоварен, така што неговата работна температура θ е помала од трајно дозволената θ_{dT} , тогаш брзината на стареење на неговата изолација ќе биде под нормалната и таквиот кабел би требало да има подолг животен век од ист таков кабел кој ќе биде струјно пооптоварен. Така, на пример, за време на периодот од Δt часови кога кабелот работи со температура $\theta = 77^\circ\text{C}$, релативната истрошеност λ во тој период ќе биде:

$$\lambda = 2^{\frac{77-80}{6}} = 2^{-0,5} = 0,71.$$

што значи дека за тие Δt часови кабелот ќе остари само $0,71 \cdot \Delta t$ часови.

Кога кабелот работи со променлив дијаграм на оптоварување кој што може да се подели на определен број n временски подинтервали: $\Delta t_1, \Delta t_2, \Delta t_j, \dots, \Delta t_n$, тогаш релативната истрошеност на изолацијата што ќе се оствари за време на посматраниот период $T = \sum \Delta t_j$, ќе биде:

$$\lambda_{ek} = \frac{\lambda_1 \cdot \Delta t_1 + \lambda_2 \cdot \Delta t_2 + \dots + \lambda_n \cdot \Delta t_n}{\Delta t_1 + \Delta t_2 + \Delta t_3 + \dots + \Delta t_n} = \frac{\sum_j \lambda_j \cdot \Delta t_j}{\sum_j \Delta t_j}. \quad (3)$$

Во последната равенка со λ_j ($j = 1, n$), се означени вредностите на релативните истрошености на изолацијата во одделните временски интервали Δt_j .

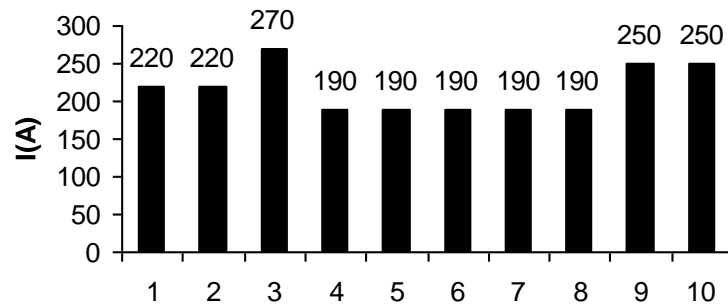
Релативната истрошеност λ_j во j -тиот интервал се добива со помош на релацијата (1) во која фигурира работната температура θ_j на тој интервал. Оваа температура се пресметува врз основа на: познатата амбиентна температура θ_a , познатата дозволена температура на изолацијата $\theta_{dT} = \theta_a + \Delta\theta_{dT}$ (табела 5.1), познатата струја I_j во тој интервал и номиналната трајна дозволена струја на кабелот I_{dT} (релација 5.9), со помош на следната релација:

$$\theta_j = \theta_a + \Delta\theta_j = \theta_a + \Delta\theta_{dT} \cdot (I_j / I_{dT})^2. \quad (4)$$

Во практиката, при димензионирањето на кабелските мрежи, плоштините на напречните пресеци на спроводниците од каблите обично се избираат само според продолжителното (получасовно) оптоварување, не земајќи ги предвид изразите за топлинска истрошеност на изолацијата. Од тука произлегува дека со таквиот избор на плоштината на напречниот пресек на спроводниците, сумарната топлинска истрошеност на изолацијата на каблите ќе биде $\lambda_{ek} < 1$, т.е. стареењето на изолацијата се забавува и каблите најчесто остануваат недоискористени.



Пример 13. Да се процени вкупната топлинска истрошеност на изолацијата на кабелот IPO 13 3×95 6/10 kV, во првите 10 часови од денот. Трајната дозволена струја на кабелот изнесува $I_{dT} = 255$ A (табела 5.8), додека дозволена температура $\theta_{dT} = 65^\circ\text{C}$. Кабелот е положен во земја и притоа нејзината температура изнесува $\theta_a = 15^\circ\text{C}$. Дијаграмот на траење на оптоварувањето за првите 10 часа е даден на следната слика.



Решение:

Дозволена надтемпература $\Delta\theta_{dT}$ на кабелот во номинални услови на работа изнесува:

$$\Delta\theta_{dT} = \theta_{dT} - \theta_a = 65 - 20 = 45^\circ\text{C}.$$

Работните температури θ_j ($j=1, 10$) во одделните временски интервали ќе ги пресметаме со помош на релацијата (4). На тој начин добиваме:

$$\theta_1 = \theta_a + \Delta\theta_1 = \theta_a + \Delta\theta_{dT} \cdot (I_1 / I_{dT})^2 = 15 + 45 \cdot (220 / 255)^2 = 48,5^\circ\text{C}; \quad \theta_2 = \theta_1 = 48,5^\circ\text{C}.$$

Понатаму, за третиот час ($j=3$) се добива:

$$\theta_3 = \theta_a + \Delta\theta_3 = \theta_a + \Delta\theta_{dT} \cdot (I_3 / I_{dT})^2 = 15 + 45 \cdot (270 / 255)^2 = 65,5^\circ\text{C}.$$

Слично, за останатите делови од денот добиваме:

$$\theta_4 = \theta_5 = \dots = \theta_8 = \theta_a + \Delta\theta_4 = \theta_a + \Delta\theta_{dT} \cdot (I_4 / I_{dT})^2 = 15 + 45 \cdot (190 / 255)^2 = 40,0^\circ\text{C}.$$

$$\theta_9 = \theta_{10} = \theta_a + \Delta\theta_9 = \theta_a + \Delta\theta_{dT} \cdot (I_9 / I_{dT})^2 = 15 + 45 \cdot (250 / 255)^2 = 58,3^\circ\text{C}.$$

Топлинската истрошеност λ_j во j -тиот час ($j = 1, 10$) сега ќе ја пресметаме со помош на изразот (2). На тој начин се добива:

$$\lambda_1 = \lambda_2 = 2^{\frac{48,5-65}{6}} = 0,149; \quad \lambda_3 = 2^{\frac{65,5-65}{6}} = 1,059;$$

$$\lambda_4 = \dots = \lambda_8 = 2^{\frac{40-65}{6}} = 0,056; \quad \lambda_9 = \lambda_{10} = 2^{\frac{58,3-65}{6}} = 0,461.$$

И конечно, со помош на изразот (3) ќе ја добиеме сумарната (еквивалентната) релативна истрошеност на кабелот $\lambda_{ek,10}$ за првите 10 часови од денот:

$$\lambda_{ek,10} = \frac{2 \cdot \lambda_1 + \lambda_3 + 5 \cdot \lambda_8 + 2 \cdot \lambda_9}{10} = \frac{2 \cdot 0,149 + 1,059 + 5 \cdot 0,056 + 2 \cdot 0,461}{10} = 0,256.$$

Од овде може да се заклучи дека при ваков дијаграм на траење на оптоварувањето топлинската истрошеност на изолацијата ќе биде значително пониска од нормалната и покрај тоа што во третиот час од денот кабелот бил струјно преоптоварен со струја 270 A, која е за 8,63% поголема од неговата трајна дозволена струја.

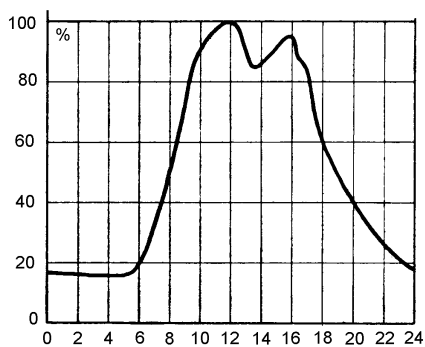
■ ■ ■

Задача 14. Колкава ќе биде релативната истрошеност на кабелот за првите 10 часа од денот $\lambda'_{ek} = ?$ во летни услови кога температурата на амбиентот изнесува $\theta_a = 25^\circ\text{C}$?

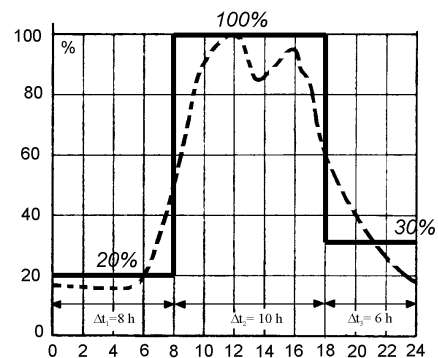
(Решение: $\lambda'_{ek.10} = 0,813$. Значи брзината на стареење на кабелот во летните месеци ќе биде за 3,175 пати поголема од брзината на стареење зиме).

■ ■ ■

Пример 15. Да се направи проценка на релативната истрошеност на кабелот од задачата 12 во текот на еден ден. Дневниот дијаграм на оптоварувањето на овој кабел по својот облик се совпаѓа со обликот на типичниот дијаграм на оптоварување за градските подрачја, прикажан на сликата 15.1. Тој може да се апроксимира со кривата од сликата 15.2, прикажана со искршена полна линија.



Слика 15.1.



Слика 15.2.

Решение:

За предметниот кабел (PP00 A 4x95 0,6/1 kV) ќе имаме (види задача 12):

$$I_{dT} = 215 \text{ A}; I_d = 1,1 \cdot I_{dT} = 239,5 \text{ A}; \theta_{dT} = 70^\circ\text{C}; \theta_{aT} = 20^\circ\text{C}; \theta_a = 10^\circ\text{C}; I_P = I_{\Sigma 1} = 178,6 \text{ A}.$$

Според изложеното, дневниот дијаграм на оптоварување можеме да го поделеме на три временски интервали: 1) од 0^{01} до 8^{00} h; 2) од 8^{01} до 18^{00} h и 3) од 18^{01} до 24^{00} h. Значи имаме:

$$1) \Delta t_1 = 8 \text{ h}; I_1 = 0,2 \cdot I_P = 35,7 \text{ A}; \theta_1 = \theta_a + \Delta \theta_1 = \theta_a + (\theta_{dT} - \theta_{aT}) \cdot (I_1 / I_{dT})^2 = 10 + 1,4 = 11,4^\circ\text{C};$$

$$2) \Delta t_2 = 10 \text{ h}; I_2 = 1,0 \cdot I_P = 178,6 \text{ A}; \theta_2 = \theta_a + \Delta \theta_2 = \theta_a + (\theta_{dT} - \theta_{aT}) \cdot (I_2 / I_{dT})^2 = 10 + 34,5 = 44,5^\circ\text{C};$$

$$3) \Delta t_3 = 6 \text{ h}; I_3 = 0,3 \cdot I_P = 53,6 \text{ A}; \theta_3 = \theta_a + \Delta \theta_3 = \theta_a + (\theta_{dT} - \theta_{aT}) \cdot (I_3 / I_{dT})^2 = 10 + 3,1 = 13,1^\circ\text{C}.$$

Понатаму, за брзината на стареење на кабелот во одделните временски интервали ќе добиеме:

$$\lambda_1 = 2^{\frac{\theta_1 - \theta_{aT}}{6}} = 2^{\frac{11,4 - 70}{6}} = 2^{-9,1} = 0,004; \lambda_2 = 2^{\frac{\theta_2 - \theta_{aT}}{6}} = 2^{\frac{44,5 - 70}{6}} = 2^{-4,25} = 0,0526;$$

$$\lambda_3 = 2^{\frac{\theta_3 - \theta_{aT}}{6}} = 2^{\frac{13,1 - 70}{6}} = 2^{-9,17} = 0,0014.$$

$$\lambda_{ek} = \frac{\lambda_1 \cdot \Delta t_1 + \lambda_2 \cdot \Delta t_2 + \lambda_3 \cdot \Delta t_3}{\Delta t_1 + \Delta t_2 + \Delta t_3} = \frac{0,004 \cdot 8 + 0,0526 \cdot 10 + 0,0014 \cdot 6}{8 + 10 + 6} = 0,0236.$$

Бидејќи е $\lambda_{ek} \ll 1$, следува дека кабелот нема воопшто да биде термички искористен.

■ ■ ■

Пример 16. Со кое струјно оптоварување I_{\max} смееме во режимот на максималното оптоварување да го оптовариме кабелот од задачата 15 ако сакаме да постигнеме неговата целосна топлинска искористеност, т.е. неговата еквивалентна топлинска истрошеност во текот на еден ден да биде $\lambda_{ek} = 1$.

Решение:

Од претходниот пример може да се види дека старењето на каблите главно се одвива во периодот на големите оптоварувања. Во конкретниот случај тоа е периодот од 8 до 18 часот кој трае 10 часови и на тој период отпаѓа околу 93% од дневната истрошеност на кабелот, додека во преостанатите 14 часа од денот старењето на кабелот изнесува само 7% од вкупното дневно старење. Тоа ни овозможува задачата да ја решиме упростоено на тој начин што ќе сметаме дека практично целото дневно старење на кабелот се остварува во периодот на големите оптоварувања, т.е.:

$$\lambda_{ek} = \frac{\lambda_1 \cdot \Delta t_1 + \lambda_2 \cdot \Delta t_2 + \lambda_3 \cdot \Delta t_3}{\Delta t_1 + \Delta t_2 + \Delta t_3} \approx \frac{\lambda_2 \cdot \Delta t_2}{\Delta t_1 + \Delta t_2 + \Delta t_3} = \frac{\lambda_2 \cdot 10}{24}.$$

Понатаму, тргнувајќи од условот $\lambda_{ek} = 1$, се добива:

$$\lambda_2 = 2,4 \cdot \lambda_{ek} = 2,4.$$

Од друга страна имаме:

$$\lambda_2 = 2^{\frac{\theta_2 - \theta_{dT}}{6}} \equiv 2,4; \quad \Rightarrow \quad \frac{\theta_2 - \theta_{dT}}{6} \cdot \ln 2 = \ln 2,4,$$

од каде што најнапред се пресметува температурата θ_2 што ќе се има во текот на вториот интервал, т.е. во режимот на максималното оптоварување:

$$\theta_2 = \theta_{dT} + 6 \cdot \frac{\ln 2,4}{\ln 2} = 70 + 6 \cdot \frac{\ln 2,4}{\ln 2} = 77,6^\circ\text{C}.$$

а потоа се пресметува и бараната струја I_{\max} што ќе ја развие оваа температура на кабелот:

$$\theta_2 = \theta_a + (\theta_{dT} - \theta_{aT}) \cdot \left(\frac{I_{\max}}{I_{dT}} \right)^2 \Rightarrow \left(\frac{I_{\max}}{I_{dT}} \right)^2 = \frac{\theta_2 - \theta_a}{\theta_{dT} - \theta_{aT}} = \frac{77,6 - 10}{70 - 20} = 1,352;$$

$$I_{\max} = I_{dT} \cdot \sqrt{1,352} = 215 \cdot 1,163 = 250 \text{ A}.$$

■ ■ ■

Задача 17. После колку години $n = ?$ работа на мрежата од сликата 12.1, оптоварувањето на кабелот ќе ја достигне вредноста $I_{\max} = 250 \text{ A}$, кога тој ќе биде целосно термички искористен, ако се претпостави дека почнувајќи од моќноста $P_\Sigma = 120 \text{ kW}$, $\cos \varphi = 0,97$, оптоварувањето на кабелскиот извод расте од година во година по експоненцијален закон со константна стапка на пораст од $p\% = 3\%$ годишно (колку што е типично за наши услови).

Решение: После $n = 11,38$ години, или приближно после $n \approx 11$ год.

■ ■ ■

Пример 18. Кабелот од задачата бр. 1 (ИРО 13 3x95 6/10 kV; $I_{dT} = 255$ A; $\theta_{dT} = 65^\circ\text{C}$) е положен во земја, во номинални услови ($\theta_a = 20^\circ\text{C}$; $I_d = I_{dT} = 255$ A). Тој напојува индустриски потрошувач којшто работи во интермитентен цикличен режим, така што во периодот на работење, кој што трае $t_r = 15$ min, презема моќност $P_P = 4,16$ MW; $\cos\varphi_P = 0,8$, после кое следува пауза во времетраење $t_p = 30$ min.

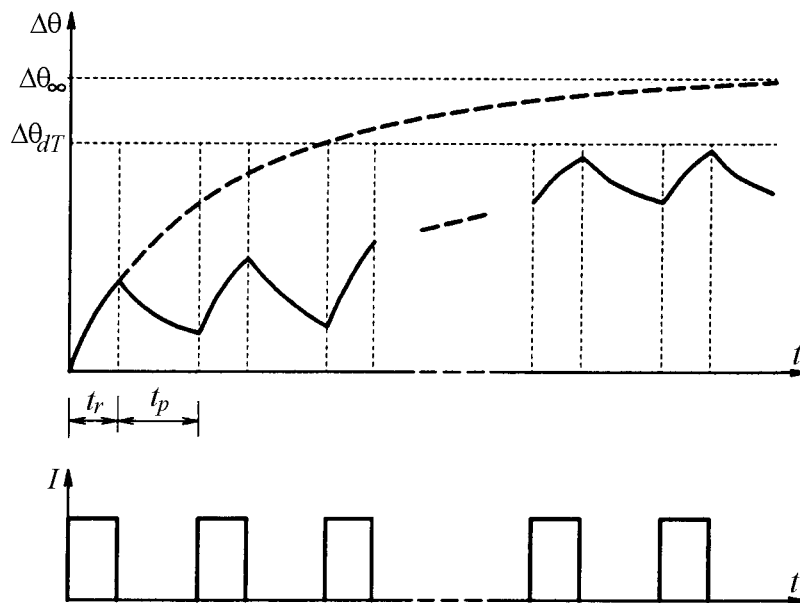
Да се пресмета интервалот (θ_{\min} , θ_{\max}) во кој ќе варира температурата на кабелот во текот на неговата работа.

Решение:

Струјното оптоварување на кабелот во периодот на работа t_r ќе биде:

$$I_P = \frac{P_P}{\sqrt{3} \cdot U_n \cdot \cos\varphi_P} = \frac{4,16 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 10 \cdot 0,8} = 0,3 \text{ kA} = 300 \text{ A.}$$

Бидејќи е $I = I_P > I_{dT}$, на прв поглед се чини дека кабелот ќе биде преотповарен. Но пресметките ќе покажат дека иако кабелот е во извесен период од работниот циклус "струјно преотповарен" тој сепак нема воопшто да ја ја достигне својата максимална дозволена температура $\theta_{dT} = 65^\circ\text{C}$, што значи дека тој нема термички да биде термички преотповарен.



Слика 18.1. Временски тек на температурата на кабелот кај интермитентен цикличен режим

Ако со θ_∞ ја означиме стационарната температура, а со $\Delta\theta_\infty$ ја означиме трајната надтемпература на кабелот што ќе се постигне во стационарен режим при струјно оптоварување на кабелот $I = I_P = 300$ A, тогаш ќе имаме:

$$\Delta\theta_\infty = (\theta_{dT} - \theta_a) \cdot \left(\frac{I_P}{I_{dT}}\right)^2 = (65 - 20) \cdot \left(\frac{300}{255}\right)^2 = 62,3^\circ\text{C};$$

$$\theta_\infty = \theta_a + \Delta\theta_\infty = 20 + 62,3 = 82,3^\circ\text{C}.$$

Но бидејќи кабелот ќе работи во интермитентен режим, тој нема да ја достигне таа температура, туку негоја друга, помала од неа, која ќе ја означиме со θ_{\max} (слика 18.1).

Слично на тоа, на крајот од периодот со пауза, температурата на кабелот ќе биде најмала и ќе достигне некоја вредност што ќе ја означиме со θ_{\min} . Ако со $\Delta\theta_{\max} = \theta_{\max} - \theta_a$ и $\Delta\theta_{\min} = \theta_{\min} - \theta_a$ ги означиме соодветните надтемператури на кабелот, тогаш за нив ќе важи:

$$\Delta\theta_{\max} = \Delta\theta_{\infty} \cdot (1 - e^{-t_r/\tau}) + \Delta\theta_{\min} \cdot e^{-t_r/\tau} \text{ и}$$

$$\Delta\theta_{\min} = \Delta\theta_{\max} \cdot e^{-t_p/\tau}.$$

Со елиминација на непознатата $\Delta\theta_{\min}$, се добива:

$$\Delta\theta_{\max} = \Delta\theta_{\infty} \cdot \frac{1 - e^{-t_r/\tau}}{1 - e^{-(t_r+t_p)/\tau}}.$$

Со замена на конкретните вредности се добива:

$$t_r = 15 \text{ min}; t_p = 30 \text{ min}; \tau = 20 \text{ min}; \theta_a = 20^\circ\text{C};$$

$$\Delta\theta_{\max} = 62,3 \cdot \frac{1 - e^{-15/20}}{1 - e^{-45/20}} = 62,3 \cdot 0,59 = 36,8^\circ\text{C}; \theta_{\max} = \theta_a + \Delta\theta_{\max} = 56,8^\circ\text{C}.$$

$$\Delta\theta_{\min} = 36,8 \cdot e^{-30/20} = 8,2^\circ\text{C}; \theta_{\min} = \theta_a + \Delta\theta_{\min} = 28,2^\circ\text{C}.$$

Значи температурата на кабелот ќе варира во границите: $28,2^\circ\text{C} \leq \theta \leq 56,8^\circ\text{C}$.

Може да се заклучи дека иако оптоварувањето на кабелот I_p е поголемо од неговото ТДСО I_{dT} ($300 \text{ A} > 255 \text{ A}$), поради интермитентниот карактер на погонот нема да дојде до прегревање на кабелот ниту, пак, до негово забрзано стареење.



Пример 19. Колкава треба да биде струјата на оптоварување на кабелот $I = I_p = ?$ за време на работниот дел од циклусот за да биде максималната температура на кабелот еднаква на дозволената: $\theta_{\max} = \theta_{dT} = 65^\circ\text{C}$?

Решение:

Од примерот разгледуван во претходната задача се заклучува дека во интермитентните режими на работа е можно кабелот да остане недооптоварен дури и тогаш кога неговото оптоварување е поголемо од ТДСО I_d , бидејќи заради интерминентниот карактер на струјата не се постигнува трајната дозволена температура на кабелот θ_{dT} . За да се постигне добро термичко искористување на каблите пожелно е максималната температура на кабелот θ_{\max} да биде еднаква на неговата трајно дозволена темепартура θ_{dT} , т.е. да биде исполнет условот:

$$\Delta\theta_{\max} = \Delta\theta_{dT}.$$

Лесно може да се докаже дека горниот услов ќе биде исполнет ако односот $c_i = (I/I_{dT})$, кој што се нарекува *коэффициент на преоптоварување во интермитентен режим*, е еднаков на:

$$c_i = \frac{I}{I_{dT}} = \frac{\Delta\theta_{\infty}}{\Delta\theta_{dT}} = \sqrt{\frac{1 - e^{-(t_r+t_p)/\tau}}{1 - e^{-t_r/\tau}}} = \sqrt{\frac{1 - e^{-t_c/\tau}}{1 - e^{-t_r/\tau}}}.$$

Во последната релација со t_c е означена должината на циклусот на интермитентниот режим на работа, т.е.:

$$t_c = t_r + t_p,$$

додека со ε е означен односот на времињата t_r и t_c , т.е.:

$$\varepsilon = \frac{t_r}{t_c} = \frac{t_r}{t_r + t_p},$$

кој се нарекува релативно траење на оптоварувањето.

Во случаите кога се работи за мали времиња на работа t_r , релативното траење на оптоварувањето $\varepsilon \rightarrow 0$, па во тој случај коефициентот на преоптоварување c_i може приближно да се пресмета со помош на изразот:

$$c_i \approx \sqrt{\frac{t_c}{t_r}} \approx \sqrt{\frac{1}{\varepsilon}}.$$

Во конкретниот случај ќе имаме:

$$I_{dT} = 255 \text{ A}; \quad \tau = 20 \text{ min}; \quad t_r = 15 \text{ min}; \quad t_p = 30 \text{ min}; \quad t_c = 45 \text{ min}; \quad \varepsilon = 15/45 = 0,333;$$

$$c_i = \sqrt{\frac{1 - e^{-t_c/\tau}}{1 - e^{-\varepsilon \cdot t_c/\tau}}} = \sqrt{\frac{1 - e^{-45/20}}{1 - e^{-15/20}}} = 1,302; \quad \Rightarrow \quad I_{\max} = c_i \cdot I_{dT} = 1,302 \cdot 255 = 332 \text{ A}.$$

Значи дури при струја на оптоварување од 332 А, која што е за 30% поголема од трајно дозволената струја на кабелот, ќе се постигне неговото целосно термичко искористување.

■ ■ ■

3. ИСПИТНИ ЗАДАЧИ ОД ОБЛАСТА НА КАБЕЛСКИ ВОДОВИ

Задача И1: (*II Колоквиум 1992*). Трижилен појасен кабел тип IPO 13 A 3x150 6/10 kV треба да напојува трифазен потрошувач со моќност $P=2,5 \text{ MW}$ и $\cos\varphi=0,8$ при напон $U=10 \text{ kV}$. Кабелот е положен на сид, заедно со уште два трижилни кабли, при што каблите се допираат меѓусебно, а го допираат и самиот сид, како што е тоа прикажано на сликата.

Да се утврди колкаво е дозволеното трајно струјно оптоварување на кабелот и дали потрошувачот ќе предизвика негово термичко преоптоварување. Температурата на амбиентот (воздухот) во кој се наоѓаат каблите изнесува $\theta=25^\circ\text{C}$.

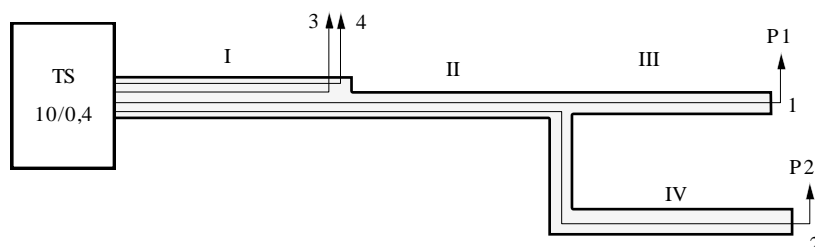
Задача И2: (*II Колоквиум 1993*). Трижилен појасен кабел тип IPO 13 A 3x150 6/10 kV треба да напојува трифазен потрошувач со моќност $P = 2,5 \text{ MW}$ и $\cos\varphi = 0,8$ при напон $U = U_n = 10 \text{ kV}$. Кабелот е положен на сид, заедно со уште други два трижилни кабла, при што каблите се допираат меѓусебно, а го допираат и самиот сид, како што е тоа прикажано на сликата.

Да се утврди колкаво е дозволеното трајно струјно оптоварување на кабелот и дали потрошувачот ќе предизвика негово термичко преоптоварување. Температурата на амбиентот (воздухот) во кој се наоѓаат каблите изнесува $\theta = 25^\circ\text{C}$.



Задача И3. (*II Колоквиум, 1999-решена*). Од една трафостаница 10/0,4 kV/kV излегуваат 4 НН кабли од типот PP00 A 4x95 0,6/1 kV. (сл. 1). Каблите се нумерирани со броевите 1, 2, 3 и 4, како на сликата. Во делницата I сите 4 кабли се положени во заеднички ров така што се допираат. Во делницата II каблите бр. 1 и 2 продолжуваат во заеднички ров, но сега тие се поставени на меѓусебно растојание $d_m = 7 \text{ cm}$. Во делницата III кабелот бр. 1 се води осамено во еден кабелски канал, положен на дното на доволна оддалеченост од неговите сидови. Кабелот бр. 2, пак, продолжува кон потрошувачот P2 и се води на вертикален сид, заедно со уште 5 други кабли, така што каблите го допираат сидот, но се допираат и меѓусебе. Останатите податоци за трасите на каблите се дадени во долната табела. Да се пресмета дозволеното струјно оптоварување на каблите бр. 1 и 2.

Делница I	Делница II	Делница III	Делница IV
во земја	во земја	во кабелски канал	на сид, со други кабли
кабли бр. 1, 2, 3 и 4	кабли бр. 1 и 2	кабел бр. 1	кабел бр. 2 + 5 други
спец. отпор $100 \text{ K}\cdot\text{cm}/\text{W}$	спец. отпор $300 \text{ K}\cdot\text{cm}/\text{W}$	темп. на возд. $\theta = 20^\circ\text{C}$	темп. на возд. $\theta = 30^\circ\text{C}$
температура $\theta = 10^\circ\text{C}$	температура $\theta = 10^\circ\text{C}$	/	/



Слика 1

Решение: РР00 А 4×95 0,6/1 kV: $I_d = 215$ А

I делница: $f = f_1 \cdot f_2 \cdot f_3$; $f_1 = A \cdot B = 1 \cdot 1 = 1$; $f_2 = 1,1$ ($\theta = 10^\circ\text{C}$); $f_3 = 0,63$ (4 кабли, допир); $f_1 = 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 0,63 = 0,693$; $I_{d.I} = 0,693 \cdot 215 = 149$ А.

II делница: $f = f_1 \cdot f_2 \cdot f_3$; $f_1 = A \cdot B = 0,64 \cdot 1 = 0,64$; $f_2 = 1,1$ ($\theta = 10^\circ\text{C}$); $f_3 = 0,85$ (2 кабли, $d_m = 7$ cm); $f_{II} = 0,64 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 0,85 = 0,5984$; $I_{d.II} = 0,5984 \cdot 215 = 129$ А.

III делница: $f = f_4 \cdot f_5$; $f_4 = 1,12$ ($\theta = 20^\circ\text{C}$); $f_5 = 0,95$; $f_{III} = 1,12 \cdot 0,95 = 1,064$; $I_{d.III} = 1,064 \cdot 215 = 229$ А.

IV делница: $f = f_4 \cdot f_5$; $f_4 = 1$ ($\theta = 30^\circ\text{C}$); $f_5 = 0,68$ (6 кабли на сид); $f_{IV} = 1 \cdot 0,68 = 0,68$; $I_{d.IV} = 0,68 \cdot 215 = 164$ А.

Според тоа и двата кабла, бр. 1 и бр. 2, ќе имаат исто дозволено струјно оптоварување, еднакво на најмалото $I_{d.II}$: $I_{d.I} = I_{d.II} = 129$ А.

Задача I4. (II Колоквиум, 1999-решена). Четирижилен нисконапонски кабел тип РР00 А 4×95 0,6/1 kV, чија временска константа на загревање изнесува $\tau = 15$ min. е закопан во земја на длабочина 70 cm. Температурата на плото (амбиентот) изнесува $\theta_a = 10^\circ\text{C}$ а кабелот е долго време оптоварен со струја $I = 120$ А така што може да се смета дека неговата температура е стационарана. Потребно е да се пресмета:

а) колкава е таа температура $\theta = ?$

б) Кабелот долго време не бил воопшто оптоварен и неговата почетна температура е еднаква на AMBIENTната, $\theta_0 = \theta_a = 10^\circ\text{C}$. За колку време температурата на кабелот ќе ја достигне својата максимално дозволена вредност ако кабелот наеднаш го оптовариме со струја $I = 400$ А.

Решение:

РР00 А 4×95 0,6/1 kV: $I_{dT} = 215$ А $\theta_{dT} = 70^\circ\text{C}$ $\tau = 15$ min. $\theta_a = 10^\circ\text{C}$ $\theta_0 = 10^\circ\text{C}$.

а) $\Delta\theta_{dT} = \theta_{dT} - 20 = 70 - 20 = 50^\circ\text{C}$;

$I = 120$ А; $\Delta\theta_\infty = \Delta\theta_{dT} \cdot (I / I_{dT})^2 = 50 \cdot (120 / 215)^2 = 15,6^\circ\text{C}$;

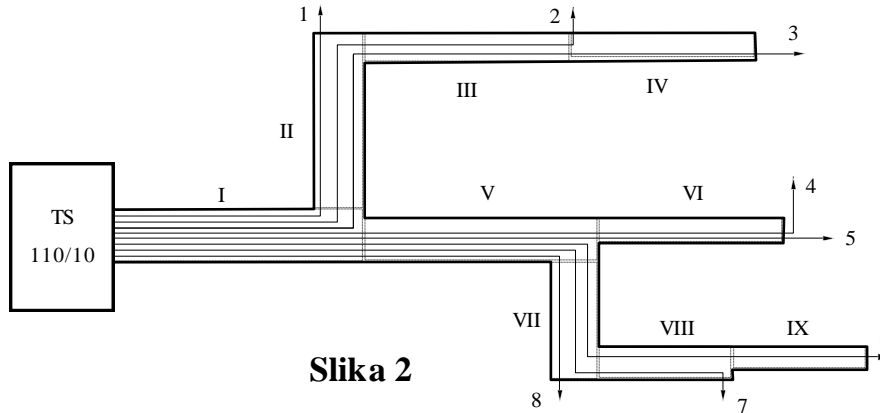
$\theta_\infty = \theta_a + \Delta\theta_\infty = 10 + 15,6 = 25,6^\circ\text{C}$.

б) $I = 400$ А $\Rightarrow \Delta\theta_\infty = 50 \cdot (400 / 215)^2 = 173,1^\circ\text{C}$; $\theta_\infty = \theta_a + \Delta\theta_\infty = 183,1^\circ\text{C}$

$\theta(t) = \theta_a + (\theta_\infty - \theta_a) \cdot (1 - e^{-t/\tau}) \equiv 70^\circ\text{C} \Rightarrow e^{-t/\tau} = 1 - \frac{\theta - \theta_a}{\theta_\infty - \theta_a} = 0,653 \Rightarrow t = 6,38$ min.

Задача I5. (II Колоквиум 2000). Осум трижилни појасни кабли за номинален напон 10 kV излегуваат од една трансформаторска станица TS 110/10 kV/kV положени во земјата, во заеднички ров, а потоа се разведуваат на начинот којшто е прикажан на сликата 2. Каблите бр 1, 2, 3 и 4 се од типот РР 41 А 3×150 6/10 kV, додека каблите бр 5, 6, 7 и 8 се од типот IPO 13 3×95 6/10 kV. Каблите бр. 7 и 8 се пасивни, т.е. се исклучени од употреба, и може да се смета дека тие не влијаат врз условите на загревање/ладење на останатите кабли. Податоците за условите на полагање во одделните делници се дадени во следната табела. Да се определи дозволеното трајно струјно оптоварување за секој кабел.

Секција	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX
1. должина, m	50	100	50	60	200	45	25	50	20
2. полагање во	земја	земја	земја	воздух	земја	земја	воздух	воздух	воздух
3. положени кабли бр.	1 ÷ 8	1,2,3	2,3	3	4,5,6,7,8	4,5	6,7,8	6,7	6
4. начин на полагање	$D = 7 \text{ cm}$	$D = 15 \text{ cm}$	$D = 15 \text{ cm}$	сид, $d_s = 0$	$D = 7 \text{ cm}$	$D = 15 \text{ cm}$	регал ¹	регал ²	тло ³
5. амбиентна температура, °C	25	25	20	35	20	30	25	25	30
6. спец. топл. отпор на тлото	100	200	300	/	300	300	/	/	/



Забелешка:

- 1) каблите се положени на регал. Циркулацијата е спречена. $d_s = 2 \text{ cm}$ $d_m = d$.
- 2) каблите се положени на регал. Циркулацијата е овозможена. $d_s = 5 \text{ cm}$ $d_m = 2d$.
- 3) кабелот е положен на тло, т.е. на дното од кабелски канал, на доволно растојание од сидовите ($d_s \geq 2 \text{ cm}$).

2. Задача I6. (II Кол. 2001). Четирижилен нисконапонски кабел тип PP00 A 4x150 0,6/1 kV, чија временска константа на загревање изнесува $\tau = 30 \text{ min}$. е закопан во земја на длабочина 70 cm. Температурата на тлото (амбиентот) изнесува $\theta_a = 15^\circ\text{C}$ а кабелот е долго време оптоварен со струја $I = 200 \text{ A}$ така што може да се смета дека неговата температура е стационарирана. Потребно е да се пресмета:

- a) колкава е таа температура $\theta = ?$
- b) Кабелот долго време не бил воопшто оптоварен и неговата почетна температура е еднаква на амбиентната, $\theta_0 = \theta_a = 15^\circ\text{C}$. За колку време температурата на кабелот ќе ја достигне својата максимално дозволена вредност ако кабелот наеднаш го оптовариме со струја $I = 400 \text{ A}$.

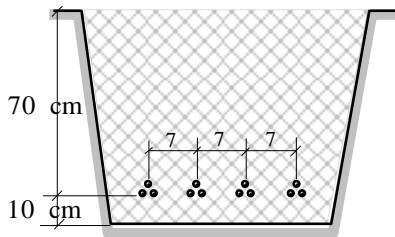
Задача I7. (II Кол. 2002). Трифазен потрошувач со карактеристики: $U_n = 20 \text{ kV}$, $P = 7 \text{ MW}$; $\cos \varphi = 0,9$ треба да се напојува кабелски. Предвидено е за таа цел да биде поставен трифазен кабелски вод составен од три едножилни кабли од типот ХНР 48 А 1x150/25 12/20 kV, чиј пречник изнесува $d_k = 7 \text{ cm}$. Кабелскиот вод ќе минува низ три различни делници со различни услови на полагање:

1. Делница. Кабелскиот вод е положен во земја, на длабочина $h = 0,7 \text{ m}$, заедно со уште три други кабелски водови, според сликата 2а. Специфичниот термички отпор на тлото изнесува $\rho = 150 \text{ }^\circ\text{C} \cdot \text{cm}/\text{W}$, а неговата температура изнесува $\theta = 20^\circ\text{C}$.

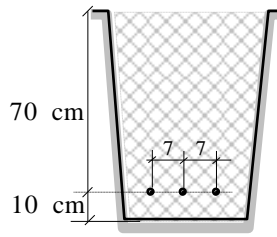
2. Делница. Кабелскиот вод е положен сам во земја, според сликата 2б. Специфичниот термички отпор на тлото изнесува $\rho = 300 \text{ }^\circ\text{C} \cdot \text{cm}/\text{W}$, а неговата температура изнесува $\theta = 30^\circ\text{C}$.

3. Делница. Кабелскиот вод е положен сам на сид, без меѓусебни растојанија, според сликата 2в. Температурата на амбиентот изнесува $\theta = 40^\circ\text{C}$.

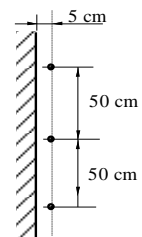
Да се утврди дали предвидениот кабел ќе одговори на барањата во поглед на дозволеното струјно оптоварување.



Слика 2а



Слика 2б



Слика 2в

Задача 18. (II Колоквиум 2003). Три едножилни кабели од типот ХНР 48 А 1x150/25 12/20 kV формираат трифазен кабелски вод. Жилите се положени во триаголен распоред на длабочина $h = 70\text{ cm}$ во земја со специфичен топлински отпор $\rho = 100\text{ }^\circ\text{C cm/W}$ и амбиентна температура $\theta_a = 20^\circ\text{C}$.

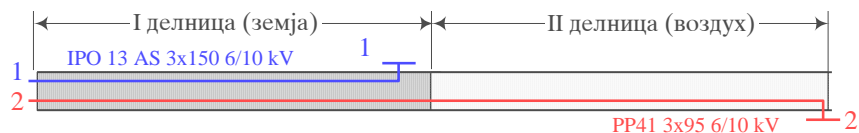
Кабелот треба да напојува дистрибутивен конзум чија врвна моќност изнесува $P_M = 8\text{ MW}$ при $U = U_n = 20\text{ kV}$ и $\cos\varphi = 0,9$. Да се утврди:

- дали ќе биде кабелот термички преоптоварен;
- дали би бил кабелот термички преоптоварен доколку на дел од кабелската траса земјиштето има специфичен топлински отпор $\rho = 300\text{ }^\circ\text{C cm/W}$;
- дали би бил кабелот термички преоптоварен за случајот опишан под б) но во зимски услови, кога амбиентната температура е $\theta_a = 10^\circ\text{C}$;
- Кабелот е поставен осамен во кабелски ров, во номинални услови ($\rho = 100\text{ }^\circ\text{C cm/W}$ $\theta_a = 20^\circ\text{C}$). Потрошувачот работи во интермитиран погон така што времето на работа изнесува $t_k = 10\text{ min.}$, додека времето на пауза е доволно долго, така што на крајот од циклусот температурата на кабелот ја достигнува амбиентната температура $\theta_a = 20^\circ\text{C}$. Колкаво смее да биде струјното оптоварување на потрошувачот во такви услови на работа. Временската константа на загревање на кабелот изнесува $\tau = 15\text{ min.}$

Задача 19. (II Колоквиум 2004). На сликата 2 е прикажана трасата на една кабелска мрежа составена од два 10 kV појасни трижилни кабла со следните карактеристики:

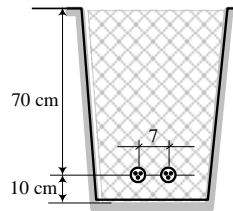
- кабел бр. 1: тип IPO 13 AS 3x150 6/10 kV, напојува индустриски конзум со константно оптоварување;
- кабел бр. 2: тип PP 41 3x95 6/10 kV, напојува дистрибутивен конзум.

Слика 2



Кабелската траса се состои од две делници со различни услови на полагање:

1. Делница. Обата кабла се положени во земја, на длабочина $h = 0,7 \text{ m}$ и на меѓусебно растојание $d = 7 \text{ cm}$, според сликата 3а. Специфичниот топлински отпор на тлото изнесува $\rho = 70^\circ\text{C} \cdot \text{cm}/\text{W}$, а неговата температура изнесува $\theta_1 = 20^\circ\text{C}$.



Слика 3а



Слика 3б

2. Делница. Кабелскиот вод бр. 2 е положен сам на сид, според сл. 3б. Температурата на амбиентот изнесува $\theta_2 = 20^\circ\text{C}$.

Да се пресметаат дозволените струјни оптоварувања I_{d1} и I_{d2} на обата кабла.

Задача 110. (II Колоквиум 2005-решена). Кабел од типот РР 41 А 3х240 б/10 кV е положен на длабочина $h = 70 \text{ cm}$ во земја со специфичен топлински отпор $\rho = 100^\circ\text{C cm}/\text{W}$ и амбиентна температура $\theta_a = 20^\circ\text{C}$.

Кабелот треба да напојува дистрибутивен конзум чија врвна моќност изнесува $P_M = 4,5 \text{ MW}$ при $U = U_n = 10 \text{ kV}$ и $\cos \varphi = 0,95$. Да се утврди:

- дали ќе биде кабелот термички преоптоварен;
- дали би бил кабелот термички преоптоварен доколку на дел од кабелската траса земјиштето има специфичен топлински отпор $\rho = 300^\circ\text{C cm}/\text{W}$;
- дали би бил кабелот термички преоптоварен за случајот опишан под б) но во зимски услови, кога амбиентната температура е $\theta_a = 10^\circ\text{C}$;
- Кабелот е поставен осамен во кабелски ров, во номинални услови ($\rho = 100^\circ\text{C cm}/\text{W}$, $\theta_a = 20^\circ\text{C}$). Потрошувачот работи во интермитиран погон така што времето на работа изнесува $t_k = 10 \text{ min.}$, додека времето на пауза е доволно долго, така што на крајот од циклусот температурата на кабелот ја достигнува амбиентната температура $\theta_a = 20^\circ\text{C}$. Колкаво смее да биде струјното оптоварување на потрошувачот во такви услови на работа. Временската константа на загревање на кабелот изнесува $\tau = 15 \text{ min.}$

Решение:

Струјата I_p на потрошувачот изнесува:

$$I_p = \frac{S}{\sqrt{3} \cdot U_n} = \frac{P}{\sqrt{3} \cdot U_n \cdot \cos \varphi} = \frac{4,5}{\sqrt{3} \cdot 10 \cdot 0,95} = 273,5 \text{ A.}$$

Од табелата 5.2 (стр.28) отчитуваме дека дозволеното струјно оптоварување за овој тип кабел, положен во номинални услови, изнесува $I_d = 315 \text{ A}$.

2а. Кабелот е поставен во номинални услови. Значи неговото дозв. струјно оптоварување изнесува $I_d = 315 \text{ A}$ и тоа е поголемо од струјата на потрошувачот I_p ($I_d > I_p$) и нема преоптоварување.

2б. Во овој случај дозволеното струјно оптоварување на кабелот ќе биде $I'_d = f \cdot I_d = f_1 \cdot f_2 \cdot f_3 \cdot I_d$; $f_2 = 1$; $f_3 = 1$; $f_1 = A \cdot B = 0,63 \cdot 1,03 = 0,649 \Rightarrow I'_d = 0,649 \cdot 315 = 204 \text{ A} < I_p$. Значи кабелот ќе биде преоптоварен.

2в. Во зимски услови, кога е $\theta_a = 10^\circ\text{C}$, коефициентот $f_2 = 1,1$ (табела 5.13). Значи сега сумарниот корекционен фактор ќе биде $f = f_1 \cdot f_2 \cdot f_3 = 0,649 \cdot 1,1 \cdot 1 = 0,714$

$$\Rightarrow I'_d = f \cdot I_d = 225 \text{ A} < I_p \text{ (има преоптоварување).}$$

2г. Кабелот е положен во номинални услови што значи дека неговото дозволено струјно оптоварување изнесува $I_d = I_{\max} = 315$ А. Факторот на преоптоварување c_k во опишаниот интермитентен режим на работа изнесува:

$$c_k = 1/\sqrt{1 - e^{-t_k/\tau}} = 1/\sqrt{1 - e^{-10/15}} = 1,434.$$

Значи струјата на потрошувачот може да биде за 1,434 пати поголема од I_d на кабелот, т.е. $I_p = c_k \cdot I_d = 1,434 \cdot 315 = 451,6$ А.



УНИВЕРЗИТЕТ „СВ. КИРИЛ И МЕТОДИЈ“ - СКОПЈЕ
Факултет за електротехника
и информациски технологии
Институт за преносни електроенегретски системи

Р. Ачковски, Ј. Ангелов

У П А Т С Т В О

**за решавање на програмската задача по предметот
„НАДЗЕМНИ И КАБЕЛСКИ ВОДОВИ“**

Скопје, 2015

РЕГИСТЕР НА УПОТРЕБУВАНИТЕ ОЗНАКИ, ЗНАЧЕЊА И НИВНИ ДИМЕНЗИИ

G, G_z [daN/m]	тежина по единица должина на спроводникот (заштитното јаже);
$\Delta G, \Delta G_z$ [daN/m]	тежина по единица должина на нормалниот зимски дод.товар нафатен врз спроводникот (заштитното јаже);
$\overline{\Delta G}, \overline{\Delta G}_z$ [daN / m]	тежина по единица должина на исклучителниот зимски додобен товар нафатен врз спроводникот (заштитното јаже);
A, A_z [mm ²]	вистински пресек на спроводникот (заштитното јаже);
d, d_z [mm]	пречник на спроводникот (заштитното јаже);
p, p_z [daN/m,mm ²]	сопствена специфична тежина на спроводникот (заштитното јаже);
g [daN/m]	основен зимски додобен товар ($g = 0,18 \cdot \sqrt{d}$);
k_n	фактор на нормален зимски додобен товар (НЗДТ);
k_i	фактор на исклучителен зимски додобен товар (ИЗДТ);
$\Delta p, \Delta p_z$ [daN/m,mm ²]	специфична тежина на нормалниот зимски додобен товар, нафатен на спроводникот, заштитното јаже;
$\overline{\Delta p}, \overline{\Delta p}_z$ [daN/m,mm ²]	специфична тежина на исклучителниот зимски додобен товар, нафатен врз спроводникот (заштитното јаже);
$\overline{p}, \overline{p}_z$ [daN/m,mm ²]	сопствена специфична тежина на спроводникот (заштитното јаже) со нормален зимски додобен товар;
$\overline{\overline{p}}, \overline{\overline{p}}_z$ [daN/m,mm ²]	сопствена специфична тежина на спроводникот (заштитното јаже) со исклучителен зимски додобен товар;
P_v [daN/m ²]	притисок на ветрот;
p_v [daN/m,mm ²]	специфична тежина на додатниот товар од ветар;
p'_v [daN/m,mm ²]	резултантна специфична тежина на спроводникот, јагето, врз кој дејствува додобен товар од ветар;
θ [°C]	температура;
σ, σ_z [daN/mm ²]	хоризонтална компонента на напрегањето на спроводникот (заштитното јаже);
σ', σ'_z [daN/mm ²]	вкупно напрегање на спроводникот (заштитното јаже) во точката на зацврстување;
σ_M, σ_{Mz} [daN/mm ²]	максимално работно напрегање на спроводникот, заштитното јаже;
$\sigma_\theta, \sigma_{\theta z}$ [daN/mm ²]	напрегање на спроводникот, заштитното јаже, при произволна температура θ ;
$\overline{\sigma}, \overline{\sigma}_z$ [daN/mm ²]	хоризонтална компонента на напрегањето на спроводникот, заштитното јаже, со нормален зимски додобен товар;
$\overline{\overline{\sigma}}, \overline{\overline{\sigma}}_z$ [daN/mm ²]	хоризонтална компонента на напрегањето на спроводникот, заштитното јаже, со исклучителен зимски додобен товар;
σ_{kin} [daN/mm ²]	напрегање на кинење;
σ_{vd} [daN/mm ²]	нормално дозволено работно напрегање;
σ_{id} [daN/mm ²]	исклучително дозволено работно напрегање;
c, c_z [m]	параметар на синцирницата на спроводникот (заштитното јаже);
F [daN]	сила;
G_{iz} [daN]	тежина на изолаторот (изолаторскиот синцир);
\overline{G}_{iz} [daN]	вкупна тежина на замрзнатиот изолатор (изолаторски синцир);
L_{iz} [cm]	должина на изолаторски синцир;
α [1/°C]	температурен коефициент на линеарно издолжување;
E [daN/mm ²]	модул на еластичност;
ε	однос на пресеците A_A/A_{Fe} кај комбинираниите А1 / Џ јажиња;
a [m]	распон;

a_d [m]	фиктивен додаток кај косиот распон;
a_T [m]	тотален распон;
Δh [m]	денивелација т.е. висинска разлика на точките на зацврстување на синцирницата;
f, f_z [cm]	провес (угиб) на спроводникот (заштитното јаже);
f_θ, f_α [cm]	провес на спроводникот (заштитното јаже) при некоја температура θ ;
a_i [m]	идеален распон;
a_k [m]	критичен распон;
θ_k	критична температура;
a_{gr} [m]	гравитационен распон;
a_{sr} [m]	среден распон;
a_{el} [m]	електричен распон;
a_{gm} [m]	граничен распон;
α'_k, α_k	критични агли на отклон на изолаторскиот синцир;
α	агол на отклон на спроводникот од вертикалата под дејство на ветрот;
α_z	агол на отклон на заштитното јаже од вертикалата под дејство на ветрот;
Ψ [°]	агол на наклон помеѓу хоризонталата и правата што ги поврзува двете точки на зацврстување во косиот распон;
φ [°]	агол на скршнување на трасата од далекуводот;
V_X, Z_X [daN]	компонента на силата на спроводникот (заштитното јаже) во правец на оската X;
V_Y, Z_Y [daN]	компонента на силата на спроводникот (заштитното јаже) во правец на оската Y;
V_Z, Z_Z [daN]	компонента на силата на спроводникот (заштитното јаже) во правец на оската Z;
S_X [daN/m ²]	притисок на ветрот врз столбот во правец X–оската;
S_Y [daN/m ²]	притисок на ветрот врз столбот во правец Y–оската;
abs(x)	апсолутна вредност од величината x, така што е abs(x) = abs(-x);
v	употребен како индекс означува спроводник (vodi~);
z	употребен како индекс означува заштитното јаже;
V	употребен како индекс означува ветар.

УПОТРЕБУВАНИ КРАТЕНКИ

НВ	надземен вод
з.ј.	заштитно јаже
ЗДТ	зимски додатен товар;
ОЗДТ	основен зимски додатен товар
НЗДТ	нормален зимски додатен товар;
ИЗДТ	изключителен зимски додатен товар;
Н-столб	носечки (носив) столб;
АЗ-столб	аголно-затезен столб;

I ПРЕСМЕТКИ ПРИ ПРОЕКТИРАЊЕ НА ДАЛЕКУВОДИТЕ

За проектирањето на еден далекувод, потребно е да бидат познати следните податоци:

- номиналниот напон на далекуводот;
- типот на употребеното јаже за спроводниците;
- типот на употребеното заштитно јаже;
- типот на употребените изолатори;
- типот на столбовите што ќе бидат употребувани.

Покрај тоа, треба да бидат дефинирани и основните параметри на далекуводот, како што се:

- максималното работно напрегање на спроводниците σ_M ;
- максималното работно напрегање на заштитното јаже σ_{Mz} ;
- климатските услови долж трасата од далекуводот; (минимална и максимална температура, притисок на ветерот P_V , фактор на НЗДТ k_n , фактор на ИЗДТ k_i и др.);
- податоци за трасата, т.е. нацрт на надолжниот профил и табела со зададени вредности на стациоаните и котите на одделните нејзини точки, како и податоци за пресечните објекти (тип, ширина, височина, стациоан и кота на пресечниот објект), ако ги има долж трасата.

Доколку се познати сите овие податоци, ќе може да се пристапи кон проектирањето на далекуводот.

1. ПРЕСМЕТКА НА СПЕЦИФИЧНИТЕ ТОВАРИ

Во механичките пресметки на далекуводите се среќаваме со поимот *сопствена специфична тежина* на спроводникот односно јагето p . Собствената специфична тежина претставува тежина на спроводникот/јагето со единица должина ($L = 1$ m), редуцирана на пресек од 1 mm^2 :

$$p = \frac{G}{A} \left[\frac{\text{daN}}{\text{mm}^2} \right]. \quad (1.1)$$

Зимските додатни товари поради снег, мраз и иње најчесто наставуваат при надворешната температура од околу -5°C , а тежината по единица должина ΔG [daN/m] на нафатениот ЗДТ е случајна величина и како таква, таа однапред не може да се предвиди. Како нормален зимски додатен товар (НЗДТ) се зема најголемата вредност на додатниот товар што се јавува на посматраното место, просечно еднаш на секои пет години, но не помалку од вредноста g , наречена *основен зимски додатен товар*, дефинирана со релацијата:

$$g = 0,18 \cdot \sqrt{d} \text{ [daN / m]}. \quad (1.2)$$

Во механичките пресметки на далекуводите, по правило, треба да се смета со следната вредност на НЗДТ:

$$\Delta G = k_n \cdot g \text{ [daN/m]} \quad (1.3)$$

каде што факторот на НЗДТ k_n може да има една од следните вредности: 1,0; 1,6; 2,5 и 4.

Согласно на тоа, специфичната тежина на НЗДТ ќе биде:

$$\Delta p = \frac{\Delta G}{A} = \frac{k_n \cdot g}{A} \text{ [daN/m,mm}^2\text{]} \quad (1.4)$$

Како исклучителен зимски додатен товар (ИЗДТ) се зема најголемата вредност на додатниот товар кој на посматраното место се јавува просечно на секои 20 години, но не се зема помалку од двојната вредност на НЗДТ за тоа место:

$$\overline{\overline{\Delta G}} = k_i \cdot \Delta G \quad ; \quad k_i \geq 2 \quad , \quad (1.5)$$

и

$$\overline{\overline{\Delta p}} = \overline{\overline{\Delta G}} / A \quad . \quad (1.6)$$

Специфичната тежина на додатниот товар создаден од ветерот кој дејствува врз спроводникот/јагето со притисок P_V се пресметува како:

$$p_V = P_V \cdot d / A \text{ [daN/m,mm}^2\text{]} \quad (1.7)$$

додека резултантната специфична тежина на спроводникот/јагето врз кој дејствува ветар p' , ќе биде:

$$p'_V = \sqrt{p^2 + p_V^2} \text{ [daN/m, mm}^2\text{]}. \quad (1.8)$$

Максималното работно напрегање на спроводникот односно заштитното јаже σ_M претставува одбрана сметковна вредност која што хоризонталната компонента на напрегањето σ ќе ја постигне или при $\theta = -5^\circ\text{C} + \text{НЗДТ}$ или пак при $\theta = -20^\circ\text{C}$ без додатен товар.

Нормално дозволено напрегање на спроводникот односно заштитното јаже σ_{nd} е напрегање што не смее да биде надминато во нормални прилики, т.е. ниту во состојбата при $\theta = -5^\circ\text{C} + \text{НЗДТ}$, кога напрегањето може да биде најголемо под дејство на додатниот товар, ниту во состојбата без додатен товар при $\theta = \theta_{\min} = -20^\circ\text{C}$, кога напрегањето исто така може да биде најголемо поради ниската температура. Дозволеното напрегање σ_{nd} се однесува на хоризонталната компонента на напрегањето σ . Исклучителното дозволено напрегање σ_{id} на спроводникот односно заштитното јаже е напрегање кое не смее да биде надминато во исклучителни услови, т.е. во состојбата при $\theta = -5^\circ\text{C} + \text{ИЗДТ}$, а се однесува на напрегањето на спроводниците/јажетото во точката на зацврстување.

Според тоа, од аспект на механичките напрегања во спроводниците и заштитното јаже, потребно е да бидат задоволени следните два услови: $\sigma_M \leq \sigma_{nd}$ и $\bar{\sigma}' \leq \sigma_{id}$.

2. МЕХАНИЧКИ КАРАКТЕРИСТИКИ НА СПРОВОДНИЦИТЕ И ЈАЖИЊАТА

Механичките карактеристики на спроводниците и заштитните јажиња, со кои треба да се изведе далекуводот, се отчитуваат од соодветни табели односно се пресметуваат на начин опишан во поглавјето 2 од [2]. Сите потребни податоци за физичките и механичките карактеристики на спроводниците и јажињата изведени според нашите стандарди се дадени во Прилогот 1.

3. КАРАКТЕРИСТИКИ НА ИЗОЛАТОРСКИТЕ СИНЦИРИ

Сите податоци за избраните изолаторски синцири, кои се неопходни во натамошните пресметки, должен е да ги даде производителот на тие изолаторски синцири. Податоците се даваат во табели придружени за одреден тип на изолаторски синцири. Начинот на избор на изолаторските синцири и пресметката на нивните карактеристики се дадени во Прилогот 2.

4. КАРАКТЕРИСТИКИ НА СТОЛБОВИТЕ

При изборот на типовите на столбовите се води сметка за номиналниот напон, зададените климатски параметри со кои треба да се проектира предметниот далекувод како и за типот на спроводниците и заштитното јаже со кои тој треба да биде изведен. Се избира онаа фамилија од постојните столбови која има номинални параметри што се идентични или пак се најблиску до параметрите специфицирани со проектната задача.

Карактеристиките на столбовите што му стојат на располагање на проектантот се каталожки податоци што ги дава самиот производител. Покрај номиналните податоци, во нив се наоѓаат и податоци за димензиите на главата на столбовите, (силуетата на столбовите), табелата со расположливите височини и тежини, табелата дозволените сили со кои тие смеат механички да бидат оптоварени, податоците за темелите и др. Во Прилогот 3 се наоѓаат потребните податоци за некои домашни 35 kV и 110 kV столбови што можат да бидат употребени за градба на надземниот вод.

5. ДОЗВОЛЕНИ РАСПОНИ НА СТОЛБОВИТЕ

5.1. СИЛИ ШТО ДЕЈСТВУВААТ ВРЗ СТОЛБОВИТЕ

Спроводниците со својата тежина, ветрот и зимските додатни довари дејствуваат со определени сили врз секој столб од далекуводот. Насоките во кои дејствува резултантата од споменатите сили се следните:

- Вертикално надолу, во правец на Z–оската дејствува тежината на спроводникот, тежината на додатниот товар и тежината на изолаторските синцири;
- Хоризонтално, во правец нормален на трасата, т.е. во правец на X–оската, дејствува силата на притисокот на ветрот врз спроводниците и врз изолаторите.

- Хоризонтално, во правец на трасата на водот (Y–оската) дејствуваат силите на хоризонтално затегање на спроводниците. Кај носечките столбови тие сили се поништуваат во целост, а кај другите столбови во целост или делумно. Во пореметена состојба (на пример, кога е прекинат еден или повеќе фазни спроводници односно заштитното јаже), настапуваат дополнителни хоризонтални напрегања во правецот на трасата.

На самиот столб дејствува уште и неговата сопствена тежина како и притисокот на ветрот. Вкупното механичко оптоварување на столбовите е случајно и променливо бидејќи тоа зависи, меѓу другото, од климатските фактори, вклучувајќи ја тука и температурата на амбиентот и температурата на спроводниците, од кои пак зависи хоризонталното напрегање во спроводниците и заштитното јаже, и др.

Основни врсти на столбови се *носечките* (Н) и *аголно-затезните* (АЗ) столбови. Носечки се оние столбови кај кои во нормален погон се јавуваат само вертикални сили надолу, т.е. тие ги носат спроводниците и заштитното јаже. За разлика од нив, кај аголно-затезните столбови спроводниците и заштитното јаже се фиксно прицврстени и тие ја пренесуваат силата на затегање врз самиот столб, така што силите што се јавуваат кај овие столбови, покрај вертикалната, имаат уште и хоризонтална компонента. Затоа, положбата на изолаторските синџири кај “АЗ”-столбовите е скоро хоризонтална, додека кај “Н”-столбовите, таа е вертикална, освен тогаш кога “Н”-столбот се наоѓа во точка во која имаме извесно скршнување на трасата.

Според положбата во трасата, столбовите можат да се наоѓаат во праволинискиот дел од трасата и тогаш ги нарекуваме линиски, или пак тие се наоѓаат во точка каде што имаме скршнување на трасата, кога се нарекуваат аголни столбови.

Кога носечкиот столб се наоѓа во праволинискиот дел од трасата, тој се нарекува линиски–носечки столб. Во нормален погон овој столб е оптоварен со вертикалните сили од тежината на спроводниците, заштитното јаже, изолаторите и зимските додатни товари. Столбот е исто така оптоварен под дејство на ветрот со хоризонтални сили во правец на X–оската, т.е. нормално на правецот на трасата на водот. Доколку носечкиот столб се наоѓа во точка на скршнување на трасата (аголен–носечки столб), тогаш покрај горе споменатите сили, врз него ќе дејствува и резултантата од силите на затегање на спроводниците и заштитното јаже во насока на симетралата на аголот на скршнување φ .

Кај затезните столбови што се наоѓаат во праволинискиот дел од трасата, резултантните сили кои се јавуваат во нормален погон не се разликуваат од силите што дејствуваат врз носечките столбови. Исклучок имаме кај таканаречените аголно–затезни столбови со диференцијални сили, кај кои силите на затегање на спроводниците/јажињата не се еднакви од обете страни на столбот, т.е. постои уште и резултантна хоризонтална сила која дејствува во насока на трасата на водот, т.е. во насока на Y–оската.

Врз затезните столбови што се наоѓаат во точка на скршнување на трасата дејствуваат сили слични на оние кои што се јавуваат кај аголно–носечките столбови. Доколку силите на затегање на спроводниците/ јажињата од обете страни на столбот не се меѓусебе еднакви, повторно ќе се јават диференцијални сили чија насока и големина ќе зависат од разликата на силите на затегање од обете страни на столбот.

Бидејќи аголните столбови се поставуваат така што конзолите секогаш им се наоѓаат во насока на симетралата на аголот на скршнување, т.е. во насока на X–оската, резултантата од сите сили што дејствуваат врз столбот ќе треба да се разложи на компонентите во насока на X–оската и Y–оската, т.е. во правец на оската на конзолата и во правец нормален на него. Потоа се изведуваат со така разложената резултантата.

5.2. ГРАВИТАЦИОНЕН РАСПОН a_{gr}

Спроводникот/јажето (и додатниот товар) со својата тежина, сметано од точката на зацврстување до темето на синџирницата, дејствува врз столбот со вертикална сила надолу, во насока на Z–оската. Останатиот дел од спроводникот/јажето дејствува со својата тежина врз соседниот столб. Вкупната вертикална сила со која е оптоварен столбот ќе се добие кога ќе се земат предвид синџирниците од обете страни на столбот. Според тоа, големината на оваа сила ќе ја добиеме множејќи ја тежината на спроводникот/јажето по метар должина (со или без зимскиот додатен товар) со т.н. *гравитационен распон* a_{gr} . Гравитациониот распон, значи, претставува растојание од најниската точка (темето) на синџирницата од едната страна на столбот, до најниската точка на синџирницата (темето) од другата страна на столбот.

Ако со $V_Z(A)$ ја означиме силата со која спроводникот заедно со зимскиот додатен товар дејствува врз столбот вертикално надолу, во насока на Z–оската (случај на оптоварување "A"), а со $V_Z(B)$ ја

означиме истата сила во случајот на оптоварување "B", кога не постои зимски додатен товар, тогаш ќе имаме:

$$V_Z(A) = \bar{G} = (G + \Delta G) \cdot a_{gr} \quad (5.1)$$

$$V_Z(B) = G \cdot a_{gr} \quad (5.2)$$

При определувањето на гравитациониот распон на еден столб, не треба да претставува проблем ни случајот кога некое од темињата на синцирниците е фиктивно. Во тој случај е можно за a_{gr} да се добие и негативна вредност. Ако столбот е краен, се зема гравитациониот распон само од едната страна на столбот.

Вертикалните сили се обично насочени надолу. Но во случај кога гравитациониот распон кај некој столб е негативен, тогаш кај него се јавува сила која дејствува вертикално нагоре и тежи да го откорне столбот и да ги сврти нагоре изолаторските синцири. Со цел да се избегне оваа појава, потребно е да се врши проверка на големината на гравитациониот распон за секој столб од далекуводот. На таквите места кај кои се добива негативен гравитационен распон најчесто се поставува затезен столб.

Дозволеният гравитационен распон за одреден тип на столб, за кој се познати дозволените вертикални сили на спроводниците $V_Z(A)_{doz}$ и $V_Z(B)_{doz}$ за случаите на оптоварување "A" и "B", се пресметува од изразите [1]:

$$a_{gr.1} = \frac{V_Z(A)_{doz} - \bar{G}_{iz}}{p \cdot A}, \quad (5.3a)$$

или,

$$a_{gr.2} = \frac{V_Z(B)_{doz} - G_{iz}}{p \cdot A}, \quad (5.3b)$$

Ако за одреден тип на столб е предвидена употреба на заштитно јаже, потребно е да се утврди дозволеният гравитационен распон за тоа заштитно јаже според следните изрази [1]:

$$a_{gr.3} = \frac{Z_Z(A)_{doz}}{p_z \cdot A_z}, \quad (5.4a)$$

или

$$a_{gr.4} = \frac{Z_Z(B)_{doz}}{p_z \cdot A_z}. \quad (5.4b)$$

Дозволеният гравитационен распон на столбот $a_{gr.doz}$ во разгледуваните услови ќе биде еднаков на најмалата од сите четири погоре пресметани вредности, т.е.

$$a_{gr.doz} = \min\{a_{gr.1}, a_{gr.2}, a_{gr.3}, a_{gr.4}\} = \min\left\{\frac{V_Z(A)_{doz} - \bar{G}_{iz}}{p \cdot A}, \frac{V_Z(B)_{doz} - G_{iz}}{p \cdot A}, \frac{Z_Z(A)_{doz}}{p_z \cdot A_z}, \frac{Z_Z(B)_{doz}}{p_z \cdot A_z}\right\}. \quad (5.5)$$

Притоа, како што беше кажано, во изразите (5.3) – (5.4) со $V_Z(A)_{doz}$, $V_Z(B)_{doz}$, $Z_Z(A)_{doz}$ и $Z_Z(B)_{doz}$ се означени дозволените сили на столбот со кои спроводниците односно заштитното јаже смеат да дејствуваат врз него во таканаречените случаи на оптоварување "A" и "B". Нив ги добиваме од табелата на дозволените сили на столбот, која претставува каталожки податок на самиот столб.

5.3. СРЕДЕН (ВЕТРОВ) РАСПОН

Силите со кои ветрот дејствува врз спроводниците и врз заштитното јаже нормално на трасата, се пренесуваат на столбот од половините на соседните распони. За дејството на овие сили врз столбот се води сметка преку т.н. *среден (ветров) распон*. Хоризонталната сила V_X со која ветрот со притисок P_V дејствува врз секој спроводник со пречник d ќе биде:

$$V_X = P_V \cdot d \cdot \frac{a_{\text{лево}} + a_{\text{десно}}}{2} = P_V \cdot d \cdot a_{sr} \quad (5.6a)$$

Слично на ова, силата Z_X со која ветрот со притисок P_V дејствува врз з.јаже со пречник d_z ќе биде:

$$V_Z = P_V \cdot d_z \cdot \frac{a_{\text{лево}} + a_{\text{десно}}}{2} = P_V \cdot d_z \cdot a_{sr} \quad (5.6b)$$

Средниот распон на еден столб, значи, претставува полузбир од двата соседни распона.

Дозволеният среден распон $a_{sr,doz}$ на одреден тип на столб за кој што е позната вредноста на дозволената хоризонтална сила $V_X(B)_{doz}$ за случајот "В", се одредува на следниот начин: [1]

$$a_{sr,1} = \frac{V_X(B)_{doz}}{P_V \cdot d}, \text{ за Н-столб,} \quad (5.7a)$$

или,

$$a_{sr,1} = \frac{V_X(B)_{doz} - 2 \cdot (2/3) \cdot \sigma_M \cdot A \cdot \sin(\varphi/2)}{P_V \cdot d}, \text{ за АЗ-столб кај кој трасата скршнува за агол } \varphi. \quad (5.7b)$$

Ако за одреден тип на столб е предвидена употреба на заштитно јаже, ќе биде потребно е да се определат уште и дозволеният среден распон за тоа заштитно јаже.

$$a_{sr,2} = \frac{Z_X(B)_{doz}}{P_V \cdot d_z} \text{ за Н-столб,} \quad (5.8a)$$

или

$$a_{sr,2} = \frac{Z_X(B) - 2 \cdot (2/3) \cdot \sigma_{Mz} \cdot A_z \cdot \sin(\varphi/2)}{P_V \cdot d_z}, \text{ за АЗ-столб.} \quad (5.8b)$$

Според тоа дозволеният среден распон $a_{sr,doz}$ за столб без заштитно јаже ќе биде:

$$a_{sr,doz} = a_{sr,1}, \quad (5.9)$$

додека за столб со заштитно јаже тоа ќе биде помалата од претходно пресметаните две вредности, т.е.:

$$a_{sr,doz} = \min\{a_{sr,1}, a_{sr,2}\}, \quad (5.10)$$

5.4. ЕЛЕКТРИЧЕН РАСПОН

Во сите погонски услови, земајќи го предвид дејството на ветрот и зимскиот додатен товар, оддалеченоста помеѓу деловите под напон, како и оддалеченоста од деловите под напон до заземјените делови и до деловите на столбот, мора да биде барем еднакво со сигурносното растојание. Сигурносните растојанија d_S , изразени во [cm], за поедините стандардизирани напони дефинирани со нашите прописи [1], се прикажани во табелата 5.1.

Табела 5.1. Сигурносни растојанија кај надземните водови [cm]

Номинален напон (kV)	10	20	35	110	220	400
1. Атмосферски пренапони ($P_V = 0$)	15	25	35	90	175	280
2. Склопни и долготрајни пренапони ($P_V = 0,15 \cdot P_{max}$)	10	20	30	80	155	270
3. Наизменични напони 50 Hz ($P_V = P_{max}$)	/	7	10	30	55	90

Покрај контролата на растојанијата на самата глава од столбот, според нашиот Правилник [1] е потребно да се изврши уште и контрола на растојанијата помеѓу секој пар спроводник–спроводник D_{v-v} , односно спроводник–заштитно јаже D_{v-z} , во средината од секој распон. Покрај тоа, потребна е и контрола на големината на растојанието на релација заштитно јаже–спроводник D_{z-v} . Кај високонапонските водови се смета дека горниот услов во поглед на оддалеченоста D_{v-v} помеѓу спроводниците односно помеѓу спроводниците и заштитното јаже во средината од распонот е исполнет ако таа оддалеченост, во прилики без ветар и на температура од +40°C, изнесува најмалку [1]:

$$D_{v-v} \geq D_{min} = k_v \cdot \sqrt{f_{40} + L_{iz}} + d_S \text{ [cm].} \quad (5.11a)$$

односно

$$D_{z-v} \geq D_{min,z} = k_z \cdot \sqrt{f_{40z} + 0} + d_S \text{ [cm].} \quad (5.11b)$$

Во релациите (5.11a) и (5.11b) со f_{40} и f_{40z} е означен повесот на посматраниот спроводник, односно заштитно јаже, на температура од 40°C; L_{iz} е должина на изолаторскиот синџир, додека d_S е сигурносното растојание отчитано од табелата 5.1 кое се однесува на случајот 1. Сите споменати величини се изразуваат во cm. Резултатот за минималното потребно растојание D се добива исто така во cm. За потпорните изолатори се зема дека е $L_{iz} = 0$. Исто така кога се определува минималното потребно растојание $D_{min,z}$ за заштитното јаже во однос на фазните спроводници повторно се зема $L_{iz} = 0$.

Коефициентите k_v и k_z што фигурираат во (5.11a) и (5.11б) претставуваат бездимензионални броеви. Зависно од заемната положба на посматраните две јажиња, се пресметува со една од следните општи релации:

а) за *хоризонтален распоред* на спроводниците како и за високонапонски водови со номинален напон

до 20 kV, без да се води сметка за распоредот:

$$k = 4 + \alpha/25, \text{ но најмалку } k = 6 \text{ и истовремено } D_{\min} > 60 \text{ cm}; \quad (5.12)$$

б) за *кос распоред* на спроводниците:

$$k = 2 + \alpha/10, \text{ но најмалку } k = 7 \text{ и истовремено } D_{\min} > 70 \text{ cm}; \quad (5.13)$$

в) за *вертикален распоред* на спроводниците:

$$k = 4 + \alpha/5, \text{ но најмалку } k = 14 \text{ и истовремено } D_{\min} > 140 \text{ cm}. \quad (5.14)$$

Аголот на отклон на спроводникот, α_v , односно на заштитното јаже, α_z , под дејство на ветрот кој дејствува со својот полн притисок P_v , се пресметуваат со еден од следните изрази:

$$\alpha_v = \arctg \frac{P_v \cdot d}{G}; \quad \alpha_z = \arctg \frac{P_v \cdot d_z}{G_z} \quad (5.15)$$

Сигурносното растојание d_s што фигурира во изразите (5.11a) и (5.11б) се изразува во [cm]. Тоа се зема од табелата 5.1 за случајот “1” (атмосферски пренапони) на неотклонети спроводници, во согласност со номиналниот напон на водот.

При пресметката на вистинските растојанија помеѓу два различни спроводника D_{v-v} , односно помеѓу спроводник и заштитното јаже D_{v-z} , треба за секој пар спроводник–спроводник, односно спроводник–заштитно јаже, да се пресмета вистинското растојание и да се одбере најмалата (критичната) вредност. Таа вредност треба да биде поголема од минималното потребно растојание D_{\min} , пресметано според (5.11a).

При пресметката на вистинските растојанија D_{z-v} на релација заштитното јаже–спроводник треба за секоја комбинација заштитно јаже–спроводник да се пресмета вистинското растојание и да се одбере најмалата (критичната) вредност. Таа вредност треба да биде поголема од минималното потребно растојание $D_{\min,z}$, пресметано според (5.11б).

Кога се врши контрола на применливоста на еден столб во од аспект на оддалеченоста помеѓу спроводниците, односно помеѓу спроводниците и заштитното јаже при +40°C во средината на распонот и во состојба без ветар, за задоволување на горните услови се води сметка преку т.н. *електричен распон*. Електричниот распон за секој столб се пресметува на начин изложен во точката 7.3 од [2]. Тој зависи најмногу од димензиите на главата на столбот, но и од карактеристиките на спроводниците/заштитното јаже, усвоените максимални работни напрегања, климатските параметри и др.

5.5. ГРАНИЧЕН РАСПОН a_{grn}

Граничен распон е оној хоризонтален распон кај кој резултатантното напрегање $\bar{\sigma}'$ во точката на обесување (зацврстување) при $-5^\circ\text{C} + \text{ИЗДТ}$ е еднакво на исклучително дозволеното напрегање σ_{id} . Бидејќи исклучителниот зимски додатен товар не може да биде помал од двојната вредност на нормалниот зимски додатен товар (член 6 од Правилникот [1]), тоа значи дека степенот на сигурност кај граничниот распон е најмалку 2. Според тоа, напрегањето во точката на зацврстување нема да ја надмине вредноста на исклучително дозволеното напрегање, ако вистинскиот распон (односно ако тоталниот распон, кај косите распони) е помал од граничниот.

Кога вистинскиот распон е кос, значи, при проверката тој ќе треба да се дополни до тоталниот распон (види точка 6.2.10 од [2]), бидејќи граничниот распон се пресметува под претпоставката дека точките на зацврстување се наоѓаат на иста височина. Во овој случај тоталниот распон, а не вистинскиот, мора да биде помал од граничниот, ако сакаме да биде задоволен горниот услов во поглед на напрегањето.

Граничниот распон за еден спроводник односно заштитното јаже може да се добие со методот чекор по чекор, изложен во точката 6.2.10 од [2]. Притоа, граничниот распон се пресметува и за спроводниците и за заштитното јаже (ако постои). Подоцна, кога ќе се врши контролата на напрегањата во спроводниците и во заштитното јаже во точките на зацврстување, ќе се оперира со помалата од така пресметаните две вредности.

6. РАЗМЕСТУВАЊЕ НА СТОЛБОВИТЕ ПО ДОЛЖИНАТА НА ТРАСАТА

6.1. ШАБЛОН ЗА СПРОВОДНИЦИТЕ

Кога разместувањето на столбовите по надолжниот профил од трасата се врши класично, по графички пат, за таа цел се применуваат претходно изготвени шаблони. Шаблонот на еден спроводник всушност претставува графички приказ на неговата синцирница за состојбата со максимален провес ($+40^{\circ}\text{C}$ или $-5^{\circ}\text{C}+\text{НЗДТ}$) нацртана во истиот размер со кој е нацртан и профилот на трасата. Обликот на шаблонот зависи само од параметарот на синцирницата s за посматраната состојба, т.е. посредно зависи од карактеристиките на спроводникот, усвоеното максимално работно напрегање, големината на идеалниот распон во посматраното затезно поле и др. За разни видови спроводници, шаблоните имаат различни облици. Начинот на којшто се формираат шаблоните е детално прикажан во вториот дел од ова упатство.

6.2. ПОСТАПКА ПРИ РАЗМЕСТУВАЊЕТО

Откога ќе се нацрта шаблонот за спроводниците, со него се врши разместување на столбовите долж трасата. При разместувањето на столбовите долж трасата, меѓу другото, се води сметка и за механичките и електричките ограничувања при столбовите, т.е. се води сметка за: дозволените гравитациони распони, дозволените средни распони, дозволењето граничен распон и дозволените електрични распони. После извршеното разместување, се врши повторна, конечна контрола на сите технички ограничувања дефинирани со Правилникот [1], т.е. се вршат следните контроли:

- контрола (графичка) на височините на спроводниците над тлото;
- контрола на височините на спроводниците над постојните пресечни објекти (графичка и аналитичка);
- контрола на силите што се јавуваат при столбовите во разните случаи на механичко оптоварување;
- контрола на напрегањето на спроводниците и заштитното јаже во точките на зацврстување;
- контрола на напрегањето при средногодишната температура $\theta_{\text{срг}} = 15^{\circ}\text{C}$ заради заштита од вибрации;
- контрола на аглите на отклон на носечките изолаторски синцири под дејство на ветрот;
- контрола на растојанијата во средината од распонот при $+40^{\circ}\text{C}$ и во услови без ветар.

7. КОНТРОЛА НА ВИСОЧИНАТА НА СПРОВОДНИЦИТЕ НАД ТЛОТО И НАД ПРЕСЕЧНИТЕ ОБЈЕКТИ

Сигурносната висина H_s претставува најмало дозволено вертикално растојание на спроводниците односно деловите под напон од земјата или пак од некој друг објект на земјата. Таа се однесува на состојбата при $+40^{\circ}\text{C}$ (во исклучителни случаи се препорачува состојбата при $+60^{\circ}\text{C}$), односно состојбата при $-5^{\circ}\text{C}+\text{НЗДТ}$, зависно од тоа кој од овие два случаја е понеповолен.

Сигурносните висини се, значи, меродавни за определувањето на основните височини на столбовите. Потребните сигурносни висини зависат од напонското ниво на водот и се стриктно дефинирани со Правилникот [1] за секој можеен случај што се јавува во практиката. За некои поважни случаи на премини и вкрстосувања на далекуводот со разни пресечни објекти, тие се прикажани во табелата 7.3 од [2].

Начинот на пресметувањето и контролата на вертикалните растојанија на спроводниците над тлото и објектите на него се опишани во точката 7.6 од [2]. За премнините на водот над некои поважни пресечни објекти (железничка пруга, автопат, пат од прв ред, енергетски или ТТ–вод и сл.) се изготвуваат елаборати во кои по пресметковен пат се утврдува дали вистинските растојанија на спроводниците над тие објекти се во согласност со прописите [1].

8. КОНТРОЛА НА НАПРЕГАЊАТА ВО ТОЧКИТЕ НА ЗАЦВРСТУВАЊЕ

8.1. НАПРЕГАЊЕ ПРИ ИСКЛУЧИТЕЛЕН ДОДАТЕН ТОВАР (ИДТ)

Според членот 19 од Правилникот [1], напрегањето во спроводниците/јажињата во точките на зацврстување во состојба со исклучителен додатен товар (ИДТ) не смее да го надминува исклучителното

дозволено напрегање σ_{id} . Исклучителниот додатен товар според членовите 6 и 7 од Правилникот [1] изнесува:

- а) двојна вредност од нормалниот зимски додатен товар НЗДТ (освен при премини на водот преку ПТТ вод или железничка пруга, каде според членовите 157 и 199, се зема најмалку трикратна вредност), или
- б) резултантната вредност $p'_V = \sqrt{p^2 + p_V^2}$, доколку во овој случај се добива поголема вредност во однос на случајот под “а”.

Хоризонталната компонента на напрегањето на спроводниците (јажињата) σ_x во состојбата со ИДТ се пресметува со помош на равенката на состојба, за понеповолниот од товарите \bar{p} и p'_V .

Напрегањето σ' во точката на зацврстување за состојбата со ИЗДТ се добива од изразот [2]:

$$\sigma' = \sigma_x \cdot \operatorname{ch} \frac{a_T}{2 \cdot c} = \sigma_x \cdot \operatorname{ch} \frac{P_{\text{ИДТ}} \cdot a_T}{2 \cdot \sigma_x} \quad (8.1)$$

кадешто $c = \sigma_x / p_{\text{ИЗДТ}}$, додека $p_{\text{ИЗДТ}}$ е поголемата од вредностите \bar{p} и p'_V .

8.2. НАПРЕГАЊЕ ПРИ СРЕДНОГОДИШНА ТЕМПЕРАТУРА

Напрегањето при средногодишна температура, како за спроводниците така и за заштитното јаже, се пресметува со цел да се утврди дали е потребно да се преземат дополнителни мерки (употреба на придущувачи, антивибратори, смалување на максималното работно напрегање и др.) со кои ќе се намалат вибрациите на спроводниците и јажињата под дејство на ветерот и опасноста од нив (замор на материјалот, оштетување или прекин на јажињата и друго).

Вообичаен критериум за поставување на антивибратори во Европа е EDS–вредноста (Every Day Stress) т.е. вредноста на напрегањето σ'_{15} на спроводниците/заштитното јаже во точките на зацврстување при средногодишната температура $\theta_{\text{срг}} = 15^\circ\text{C}$. Таа не треба да биде поголема од 18% од напрегањето на кинење σ_{kin} на соодветното јаже, т.е.

$$\sigma'_{15} \leq 0,18 \cdot \sigma_{kin} \quad (8.2)$$

Хоризонталната компонента на напрегањето при средногодишна температура σ_{15} се пресметува преку равенката на состојба, а вредноста на напрегањето во точката на зацврстување σ'_{15} преку изразот:

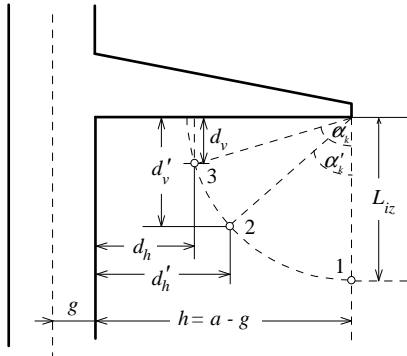
$$\sigma'_{15} = \sigma_{15} \cdot \operatorname{ch} \frac{a_T}{2c_{15}} \quad (8.3)$$

9. КОНТРОЛА НА ОТКЛОНОТ КАЈ НОСЕЧКИТЕ ИЗОЛАТОРСКИ СИНЦИРИ

Под дејство на притисокот на ветерот врз спроводниците и изолаторските синцири, кај носечките столбови од далекуводот доаѓа до отклон на изолаторските синцири од вертикалната положба. Отклонот на изолаторските синцири може да се дозволи сè додека позицијата на отклонетиот изолаторски синцир ги задоволува неопходните сигурносни растојанија пропишани со Правилникот [1] (табела 5.1), односно сè додека аголот на отклон α на изолаторскиот синцир е помал од соодветните конструктивни агли на отклон α'_k и α_k за посматраниот носечки столб.

Според чл. 28 од Правилникот, оддалеченоста од деловите под напон (спроводниците и заштитната арматура) до заземјените делови на столбот (конзоли, тело на столбот и слично) мора да биде поголема од соодветното сигурносно растојание d_S , (види табела 5.1). Оваа оддалеченост треба да се контролира за следните три случаи:

1. случај на неотклонет изолаторски синцир, кога сигурносното растојание $d_S = d_{S1}$ е пропишано од аспект на дејствување на атмосферските пренапони;
2. случај на отклонет изолаторски синцир под дејство на ветер со притисок $P'_V = 0,15 \cdot P_{\text{max}}$, кога сигурносното растојание $d_S = d_{S2}$ е пропишано од аспект на дејствување на склопни и долготрајни пренапони;
3. случај на отклонет изолаторски синцир под дејство на ветер со својот полн притисок $P_V = P_{\text{max}}$, кога сигурносното растојание $d_S = d_{S3}$ е пропишано од аспект на нормални погонски услови.



Слика 1.

На сликата 1 се претставени конзолата од столбот, изоляторскиот синцир и спроводникот во трите состојби од интерес, соодветно нумерирани со броевите "1", "2" и "3". Конструктивните агли на отклон α'_k , за случајот "2", и α_k , за случајот "3", се пресметуваат на начин изложен во точката 7.1 од [2] (види пример 7.2).

Во општ случај, аголот на отклон α на изоляторскиот синцир под дејство на ветерот треба да го задоволува условот:

$$\alpha < \alpha_k$$

Откога за посматраниот носечки столб ќе се пресметаат гравитациониот и средниот распон a_{gr} и a_{sr} , за пресметка на аголот на отклон α на изоляторскиот синцир се користи релацијата:

$$\alpha = \arctg \frac{F_V + 0,5 \cdot F_{iz}}{G_V + 0,5 \cdot G_{iz}}, \quad (9.2)$$

каде што е:

$F_V = k \cdot P_{\max} \cdot d \cdot a_{sr}$ сила со која ветерот дејствува врз спроводникот/заштитното јаже;

$F_{iz} = P_{\max} \cdot S_{iz}$ сила со која ветерот дејствува врз изоляторскиот синцир;

$G_V = p \cdot A \cdot a_{gr}$ тежина на спроводникот/заштитното јаже со или без ЗДТ;

S_{iz} проценета површина на изоляторскиот синцир, која за единечен носечки синцир зема дека е $0,1 \cdot L_{iz}$, додека за двоен $0,2 \cdot L_{iz}$;

k коефициент на дејствување на ветерот врз спроводниците кој изнесува $k=0,15$ при контрола за случајот "2", или изнесува $k=1$ при контрола за случајот "3".

Од условот (9.1) и релацијата (9.2) се добива колкав треба да биде најмалиот гравитационен распон $a_{gr.min}$ за познат среден распон за да не дојде до недозволено приближување на носивиот изоляторски синцир до столбот:

$$a_{gr.min} \geq \frac{F_V + 0,5 \cdot F_{iz} - 0,5 \cdot G_{iz} \cdot tg \alpha_k}{p \cdot A \cdot tg \alpha_k} = \frac{k \cdot P_V \cdot d \cdot a_{sr} + 0,5 \cdot F_{iz} - 0,5 \cdot G_{iz} \cdot tg \alpha_k}{p \cdot A \cdot tg \alpha_k}. \quad (9.3)$$

Ако условот (9.3) не може да се задоволи за некој од носечките столбови, тогаш кај него ќе треба да се постават тегови (за секоја фаза по еден) чија тежина се пресметува со помош на изразот:

$$T \geq \frac{F_V + 0,5 \cdot F_{iz} - 0,5 \cdot G_{iz} \cdot tg \alpha_k}{tg \alpha_k} - p \cdot A \cdot a_{gr.min}, \quad (9.4)$$

односно:

$$T \geq \frac{k \cdot a_{sr} \cdot P_V \cdot d + 0,5 \cdot P_V \cdot A_{iz}}{tg \alpha_k} - (p \cdot A \cdot a_{gr.min} + 0,5 \cdot G_{iz}). \quad (9.5)$$

Теговите се поставуваат во единици од по 25 kg. Пожелно би било употребата на тегови да се избегне со некакво ново разместување (прераспределба) на столбовите, се разбира доколку е тоа можно и воопшто рационално. Ограничувањето на аголот на отклон на носечките изоляторски синцири со помош на тегови се смета како мерка од нужда. Кон него се прибегнува обично само тогаш кога не постои некој друг начин да се избегне преголемиот агол на отклон на изоляторските синцири.ж

10. КОНТРОЛА НА РАСТОЈАНИЈАТА ПОМЕГУ СПРОВОДНИЦИТЕ И ЈАЖИЊАТА ВО СРЕДИНАТА ОД РАСПОНОТ И ВО УСЛОВИ БЕЗ ВЕТЕР

Според одредбите на Правилникот [1], контролата на растојанијата во средината од распонот се врши при максималната температура $\theta_{\max} = +40^\circ\text{C}$ и во услови без ветар.

Врз основа на нацртите на главите на употребените столбови за далекуводот и положбата на столбовите во далекуводот, се пресметуваат најмалите растојанија помеѓу спроводниците/јажињата во средината на распонот. Пресметката се врши за сите распони од далекуводот и притоа се можни разни комбинации на столбови. Во пресметките се зема предвид и разликата од провесите $\Delta f = f - f_z$ на

спроводникот и заштитното јаже, која реално постои. Кај комбинацијата на столбовите “Н–А3”, се води уште и сметка за редуцираните димензии од главата на затезните столбови (проекција) заради скршнување на трасата. Ова е особено важно да се почитува кај столбовите кои имаат хоризонтален распоред на спроводниците.

Оваа пресметка се врши во две етапи. Најнапред се пресметуваат минимално потребните растојанија помеѓу спроводниците/јажињата во средината од распонот, а потоа се пресметуваат и вистинските растојанија помеѓу спроводниците/јажињата во средината од распонот.

Минимално потребните растојанија на јажињата во средината од распонот, во зависност од типовите на соседните столбови, се определуваат на следниот начин [1]:

а) Случај “Н-Н” (во распон помеѓу два носечки столба)

$$D_{\min} = k_v \cdot \sqrt{f_{40} + L_{iz}} + d_s \text{ - за спроводник,} \quad (10.1)$$

$$D_{\min.z} = k_z \cdot \sqrt{f_{40z}} + d_s \text{ - за заштитно јаже,} \quad (10.2)$$

б) Случај “Н-А3” (во распон помеѓу носечки и аголно-затезен столб)

$$D_{v(N)} = k_v \cdot \sqrt{f_{40} + L_{iz}} + d_s \text{ - за спроводник при “Н”-столбот,} \quad (10.3)$$

$$D_{v(AZ)} = k_v \cdot \sqrt{f_{40} + 0} + d_s \text{ - за спроводник при “А3”- столбот,} \quad (10.4)$$

$$D_{\min} = (D_{v(N)} + D_{v(AZ)}) / 2, \text{ - за спроводник во распонот,} \quad (10.5)$$

$$D_z = k_z \cdot \sqrt{f_{40z}} + d_s \text{ - за заштитно јаже во распонот.} \quad (10.6)$$

в) Случај А3-А3 (во распонот помеѓу два аголно-затезени столба)

$$D_{\min} = k_v \cdot \sqrt{f_{40} + 0} + d_s \text{ - за спроводник и} \quad (10.7)$$

$$D_{\min.z} = k_z \cdot \sqrt{f_{40z}} + d_s \text{ - за заштитно јаже.} \quad (10.8)$$

Во претходните изрази d_s е сигурносното растојание, определено со помош на табелата 5.1, за случајот бр.1 (“атмосферски пренапони”), т.е. $d_s = d_{s1}$. За далекуводите со номинален напон 110 kV, на пример, тоа растојание изнесува $d_s = 90$ cm.

Вистинските растојанија помеѓу спроводниците и јажињата во средината од распонот се определуваат на следниов начин [1]:

а) Случај “Н-Н”. Во случајот кога двата носечки столба се од ист тип, вистинското растојание D_{v-v} помеѓу спроводниците во средината од распонот е еднакво на растојанието помеѓу точките на заврстување на спроводниците на конзолите од главата на столбот (под услов напрегањата на затегање на спроводниците од сите три фази да бидат исти, што е вообичаен случај). Од сите три можни комбинации се зема најмалото растојание, т.е. $D_{v-v} = \min\{D_{AB}, D_{AC}, D_{BC}\}$.

Вистинското растојание $D_{v-z} = D_{z-v}$ помеѓу заштитното јаже и горниот спроводник во средината на распонот во овој случај се пресметува со помош на следната релација:

$$D_{z-v} = \sqrt{x^2 + (y + L_{iz} + \Delta f_{40})^2} \quad (10.9)$$

каде што се:

x – должина на горната конзола од столбот;

y – растојание помеѓу врвот на столбот и горната конзола;

f_{40}, f_{40z} - провеси на спроводниците и заштитното јаже при +40°C;

$\Delta f_{40} = f_{40} - f_{40z}$ - разлика на провесите.

Ако носечките столбови не се ист тип, тогаш за вистинско растојание помеѓу спроводниците во средината на распонот се зема средната вредност од споменатите растојанија од главите на столбовите, а за вистинско растојание помеѓу заштитното јаже и горниот спроводник се користи образецот:

$$D_{z-v} = \sqrt{\left(\frac{x_1+x_2}{2}\right)^2 + \left(\frac{y_1+y_2}{2} + L_{iz} + \Delta f_{40}\right)^2}, \quad (10.10)$$

во кој големините со индекс “1” се однесуваат за првиот, додека големините со индекс “2”, за вториот столб.

б) *Случај “H-A3”*. Во случајот кога распонот се наоѓа помеѓу еден носечки и еден аголно-затезен столб, вистинското растојание D_{v-v} помеѓу спроводниците во средината на распонот е еднакво на средната вредност од растојанијата помеѓу конзолите на главите од столбовите, при што должините на конзолите од аголно-затезните столбови треба да се редуцираат заради аголот на скршнување (да се земе нивната проекција врз X–оската).

Вистинското растојание D_{z-v} помеѓу заштитното јаже и горниот спроводник во средината од распонот се одредува со релацијата:

$$D_{z-v} = \sqrt{\left(\frac{x_1+x_2 \cdot \cos(\varphi/2)}{2}\right)^2 + \left(\frac{y_1+y_2 + L_{iz} + \Delta f_{40}}{2}\right)^2}, \quad (10.11)$$

каде што величините со индекс “1” се однесуваат на носечкиот, додека величините со индекс “2” се однесуваат на аголно-затезниот столб.

в) *Случај “A3-A3”*. Во случајот на два аголно-затезни столбови, вистинските растојанија помеѓу спроводниците D_{v-v} и помеѓу заштитното јаже и горниот спроводник D_{z-v} во средината од распонот се еднакви на средната вредност од истите тие растојанија на главата на A3–столбовите. Притоа во пресметките ќе треба должините на конзолите да се редуцираат заради скршнувањето на трасата од далекуводот.

Кај сите овие контроли вистинските растојанија помеѓу спроводниците/јажињата во средината од распонот треба да бидат поголеми од минимално потребните растојанија, пресметани според (10.1) – (10.8).

11. СТАТИЧКА ПРОВЕРКА НА СТОЛБОВИТЕ

Столбовите треба механички да бидат оптоварени така што во ниту еден од случаите на оптоварување, кои се дефинирани со Правилникот [1], силите што ќе се јават кај нив нема да бидат поголеми од максимално-дозволените сили, дадени со табелата на дозволени сили за секој тип на столб. Кога зборуваме за механичко оптоварување на столбовите, ќе треба да разликуваме *нормални* случаи на оптоварување и *исклучителни* случаи на оптоварување. Нормалните случаи на оптоварување се јавуваат (настануваат) кога сите делови од водот се неоштетени. Исклучителните случаи на оптоварување настануваат тогаш кога еден спроводник или заштитно јаже е, од едната страна на столбот, прекинато.

а) Нормални случаи на оптоварување

Во нормалните случаи на оптоварување, според Правилниот [1], се вбројуваат следните 4 случаи, овде обележени со буквите “A”, “B”, “C” и “D”:

Случај “A”:

Во овој случај, врз столбот дејствуваат силите под дејство на:

- тежината на спроводниците, заштитните јажиња, изолаторите и приборот;
- тежината на зимскиот додатен товар, нафатен врз спроводниците, заштитните јажиња и изолаторите;
- резултантната сила на затегање на сите спроводници и заштитни јажиња од двете страни на столбот.

Случај “B”:

Во овој случај, врз столбот дејствуваат силите под дејство на:

- тежината на спроводниците, заштитните јажиња, изолаторите и приборот;
- притисокот на ветрот на столбот и на сите спроводници и заштитни јажиња нормално на водот, односно во насока на симетралата на аголот на трасата;

- 2/3 од резултантата на силите на затегање на сите спроводници и заштитни јажиња од двете страни на столбот, пресметана со максималното работно напрегање.

Случај “С”:

Во овој случај, врз столбот дејствуваат силите под дејство на:

- тежината на спроводниците, заштитните јажиња, изолаторите и приборот;
- притисокот на ветрот на столбот и на сите спроводници и заштитни јажиња во насока на водот, односно нормално на симетралата на аголот на трасата;
- 2/3 од резултантата на силите на затегање на сите спроводници и заштитни јажиња од двете страни на столбот, пресметана со максималното работно напрегање.

Случај “D”: (само за затезните столбови)

Во овој случај, кој се применува само кај затезните столбови, врз столбот дејствуваат силите под дејство на:

- тежината на спроводниците, заштитните јажиња, изолаторите и приборот;
- 2/3 од силата на затегање на спроводниците и заштитните јажиња од едната страна на столбот, пресметана со максималното работно напрегање;

б) Исклучителни случаи на оптоварување

Случај “E” (само за носечките столбови)

Во овој случај, којшто се применува само за носечните столбови, врз столбот дејствуваат силите под дејство на:

- тежината на спроводниците, заштитните јажиња, изолаторите и приборот;
- тежината на зимскиот додатен товар, нафатен врз спроводниците, зашт. јажиња и изолаторите;
- 1/2 од силата на затегање на еден спроводник или едно заштитно јаже од една страна на столбот (за спроводници во сноп 1/4 од силата на затегање на еден сноп, пресметана со максималното работно напрегање.

Случај “F”: (за затезните столбови и за аголно-носечките столбови, со агол на скршнување на трасата поголем од 5°)

Во овој случај, врз столбот дејствуваат силите под дејство на:

- тежината на спроводниците, заштитните јажиња, изолаторите и приборот;
- тежината на зимскиот додатен товар, нафатен врз спроводниците, зашт. јажиња и изолаторите;
- полната сила на затегање на сите спроводници и заштитни јажиња во двете насоки на трасата, освен силата на затегање на еден од спроводниците односно заштитно јаже, од една страна на столбот, а за водови со спроводници во сноп - силата на затегање на сите снопови на спроводници и заштитни јажиња во двете насоки на трасата, освен силата на затегање на еден сноп односно едно заштитно јаже од едната страна на столбот.

Во пресметките на силите на столбовите се претпоставува дека зимскиот додатен товар е рамномерно нафатен по должината на спроводниците и заштитните јажиња. Тежината на спроводниците и заштитното јаже без и со ЗДТ се пресметува со помош на гравитациониот распон a_{gr} .

Кога се пресметуваат силите со кои ветрот дејствува врз спроводниците и јажињата, се претпоставува дека тој дејствува рамномерно, со ист интензитет, во секоја точка од синцирницата. Кога се пресметува силата со која ветрот дејствува во насока на X-оската, (нормално на трасата од далекуводот т.е. во правец на конзолите од столбот), треба да се користи средниот распон a_{sr} кој, како што веќе беше кажано, претставува полузбир од двата соседни распони, лево и десно од посматраниот столб. Притоа, доколку кај столбот постои скршнување на трасата на водот за некој агол φ , заради упростување на пресметките, редукцијата на дејствувањето на ветрот поради тоа што тој не дејствува под прав агол врз спроводниците и заштитното јаже во пресметките не се зема предвид. Меѓутоа, кога се работи за случајот "С", кога ветрот дејствува во насока на Y-оската, т.е. нормално на симетралата на аголот φ , повторно се користи средниот распон a_{sr} но овој пат со уважување на редукцијата на силата заради скршнувањето. Притоа факторот на редукција изнесува $k_r = \sin \varphi/2$ и како што тоа го пропишува Правилникот, тој не смее да биде помал од вредноста 1/4, т.е. $k_r \geq 1/4$.

12. МОНТАЖНИ ТАБЛИЦИ

Тргувајќи од основната состојба за спроводниците и јажињата, која се одредува со помош на критичниот распон, (види точка 6.2.8 од [2]), со помош на равенката на состојба може да се определи напрегањето σ , а потоа и провесот f при било која друга температура θ . Пресметката на монтажните таблици се прави за идеалниот распон a_i , и притоа се пресметуваат напрегањата σ , силите на затегање $F = \sigma A$ и провесите f_i за повеќе температури од интервалот $(\theta_{\min} - \theta_{\max})$. На тој начин се добиваат зависностите $\sigma = \sigma(\theta)$ и $f = f(\theta)$ во вид на табели, коишто се нарекуваат монтажни таблици (види точка в2.5. од [3]). За да се комплетира монтажната таблица за едно затезно поле, потребно е уште да се пресметаат и провесите за секој вистински распон a_j од затезното поле. Притоа, во општ случај, провесот во j -тиот распон се пресметува со формулата [1]:

$$f_j = c \cdot \left(\operatorname{ch} \frac{a_{Tj}}{2c} - \operatorname{ch} \frac{a_j - a_{Tj}}{2c} \right) - \frac{|\Delta h|}{2}, \quad (12.1)$$

каде што е:

$$a_{Tj} = a_j + 2c \cdot \frac{|\Delta h|}{a_j}. \quad (12.2)$$

Кога се работи за регуларни распони, т.е. за распони кај кои односот f/a е помал од 0,06, како и кога се работи за распони со мали висински разлики Δh , при што важи $|(\Delta h/a)| < 0,05$, (какви што се повеќето [4]), тогаш провесите можат да се пресметуваат и на поедноставен начин, со помош на следната формула:

$$f_j = \frac{c}{\cos \psi} \cdot \left(\operatorname{ch} \frac{a_j}{2c} - 1 \right) \approx \frac{a_j^2}{8c \cdot \cos \psi}. \quad (12.3)$$

Монтажните таблици се користат при монтирањето на спроводниците (јажињата) на столбовите од далекуводите. Од нив се отчитува вредноста на провесот f или силата F со која што ќе треба да се затегне спроводникот односно јажето, така што при основната состојба напрегањето ќе биде точно еднакво на усвоената вредност σ_M .

13. ЛИТЕРАТУРА

- [1] Правилник за техничките нормативи за изградба на надземни електроенергетски водови со номинален напон од 1 kV до 400 kV. Службен лист на СФРЈ, бр. 65/1988, стр. 1618-1643.
- [2] Р. Ачковски, „НАДЗЕМНИ И КАБЕЛСКИ ВОДОВИ“, ЕТФ-Скопје, 1995.
- [3] Zajednica Jugoslovenske elektroprivrede. Standardi i tehnički normativi GSE 44/80: "NADZEMNI VODOVI", ZJE - Beograd, 1980.
- [4] Н. Генков, „Механична част на електрическите мрежи“, ДИ. „Техника“, Софија 1974.
- [5] М. Plaper, Principi optimalnosti u mrežama za prenos i distribuciju električne energije, ZJE-Beograd, 1981.
- [6] F. Majdančić, "Niskonaponske mreže u elektroprivredi, Niš 1983.
- [7] Под редакција на М. А. Ројт и С. С. Рокотјан, „Прирачник за проектирање на надземни електроенергетски водови“, „Енергија“ Москва, 1980. (книга на руски јазик).

П р о г р а м с к а з а д а ч а
по предметот “НАДЗЕМНИ И КАБЕЛСКИ ВОДОВИ”

ПРОЕКТ НА ДАЛЕКУВОД

(п р и м е р)

Да се изврши разместување и избор на типот и височините на столбовите на прикажаниот дел од трасата, кој претставува затезно поле од еден 110 kV далекувод и потоа да се направат потребните пресметки и контроли кои се составен дел од проектите на секој далекувод:

1. контрола на височината на спроводниците над тлото;
2. контрола на распоните;
3. контрола на напрегањата во точките на обесувањето;
4. контрола на отклонот на носечките изолаторски синцири;
5. контрола на растојанијата помеѓу јажињата во средината од распоните;
6. контрола на вертикалното растојание над пресечните објекти;
7. статичка проверка на столбовите;
8. монтажни табели на спроводниците и заштитното јаже;
9. столбна листа.

Влезни податоци:

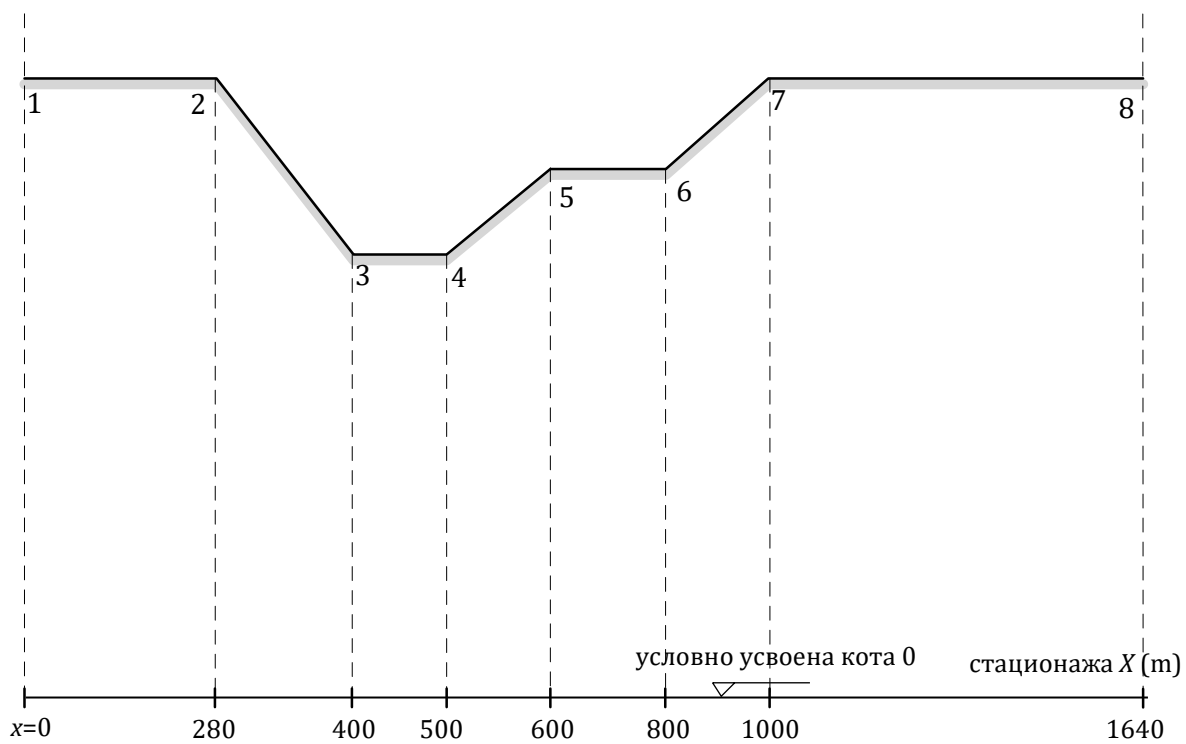
- номинален напон на далекуводот	110 kV
- спроводници:	јаже MKS N.C1.351-240/40-Al/Č
- заштитно јаже:	јаже MKS N.C1.702 Č III 50
- максимално работно напрегање на спроводниците	9 daN/mm ²
- максимално работно напрегање на заштитното јаже	26 daN/mm ²
- сигурносна височина	$H_S = 6$ m.

Климатски услови:

- притисок на ветрот	$P_V = 75$ daN/m
- фактор на нормален зимски додатен товар	$k_n = 1,0$
- фактор на исклучителен зимски додатен товар	$k_i = 2,0$
- минимална температура	-20°C
- максимална температура	+40°C
- средногодишна температура	+15°C
- почетен столб бр. 1 ;	тип A150, висок 16 m, стационажа 0 m
- краен столб бр. _;	тип A150, висок 16 m, стационажа 1640 m

Податоци за трасата на далекуводот:

Точка број	Стационажа [m]	Кота [m]	З а б е л е ш к а
1	0	120	/
2	120	120	/
3	400	100	/
4	500	100	/
5	600	110	/
6	800	110	/
7	1000	120	/
8	1640	120	/



Приказ на напречниот профил на разгледуваната траса

2. МЕХАНИЧКИ КАРАКТЕРИСТИКИ НА СПРОВОДНИЦИТЕ И ЈАЖИЊАТА

За предвидените спроводници и заштитно јаже се познати следните податоци:

2.1. КАРАКТЕРИСТИКИ НА СПРОВОДНИЦИТЕ

Ознака по MKS:	јаже MKS.N.C1.351-240/40-AI/Č
Вистински пресек:	$A = 243,0 + 39,5 = 282,5 \text{ mm}^2$
Пречник:	$d = 21,9 \text{ mm}$
Тежина по единица должина:	$G = 0,968 \text{ daN/m (0,987 kg/m)}$
Модул на еластичност:	$E = 7.700 \text{ daN/mm}^2$
Температурен коефициент на линеарно издолжување:	$\alpha = 18,91 \cdot 10^{-6} \text{ 1/}^\circ\text{C}$
Сила на кинење:	$F_{kin} = 8640 \text{ daN}$
Дозволено нормално работно напрегање:	$\sigma_{nd} = 13 \text{ daN/mm}^2$
Дозволено исклучително работно напрегање:	$\sigma_{id} = 24,5 \text{ daN/mm}^2$
Основен ЗДТ по единица должина:	$g = 0,18 \cdot \sqrt{d} = 0,842 \text{ daN/m}$
Нормален ЗДТ по единица должина:	$\Delta G = 1,0 \cdot g = 0,842 \text{ daN/m}$
Исклучителен ЗДТ по единица должина:	$\overline{\Delta G} = 2,0 \cdot \Delta G = 1,684 \text{ daN/m}$
Специфична тежина на НЗДТ:	$\Delta p = 1,0 \cdot \Delta G/A = 2,982 \cdot 10^{-3} \text{ daN/m, mm}^2$
Специфична тежина на ИЗДТ:	$\overline{\Delta p} = 2,0 \cdot \Delta p = 5,964 \cdot 10^{-3} \text{ daN / m, mm}^2$
Сопствена специфична тежина:	$p = G/A = 3,426 \cdot 10^{-3} \text{ daN/m, mm}^2$
Специфична тежина на спроводникот со НЗДТ:	$\overline{p} = p + \Delta p = 6,408 \cdot 10^{-3} \text{ daN / m, mm}^2$
Специфична тежина на спроводникот со ИЗДТ:	$\overline{\overline{p}} = p + \overline{\Delta p} = 9,390 \cdot 10^{-3} \text{ daN/m, mm}^2$

2.2. КАРАКТЕРИСТИКИ НА ЗАШТИТНОТО ЈАЖЕ

Ознака по MKS:	јаже MKS.N.C1.702-Č III 50
Вистински пресек:	$A_z = 49,48 \text{ mm}^2$
Пречник:	$d_z = 9 \text{ mm}$
Тежина по единица должина:	$G_z = 0,386 \text{ daN/m (0,393 kg/m)}$
Модул на еластичност:	$E_z = 18.000 \text{ daN/mm}^2$
Температурен коефициент на линеарно издолжување:	$\alpha_z = 11,0 \cdot 10^{-6} \text{ 1/}^\circ\text{C}$
Сила на кинење:	$F_{kin,z} = 6036 \text{ daN}$
Дозволено нормално работно напрегање:	$\sigma_{nd,z} = 49,5 \text{ daN/mm}^2$
Дозволено исклучително работно напрегање:	$\sigma_{id,z} = 93 \text{ daN/mm}^2$
Основен ЗДТ по единица должина:	$g_z = 0,18 \cdot \sqrt{d_z} = 0,54 \text{ daN/m}$
Нормален ЗДТ по единица должина:	$\Delta G_z = 1,0 \cdot g_z = 0,54 \text{ daN/m}$
Исклучителен ЗДТ по единица должина:	$\overline{\Delta G_z} = 2,0 \cdot \Delta G_z = 1,080 \cdot 10^{-3} \text{ daN / m, mm}^2$
Специфична тежина на НЗДТ:	$\Delta p_z = \Delta G_z/A_z = 10,91 \cdot 10^{-3} \text{ daN/m, mm}^2$
Специфична тежина на ИЗДТ:	$\overline{\Delta p_z} = 2,0 \cdot \Delta p_z = 21,820 \cdot 10^{-3} \text{ daN / m, mm}^2$
Сопствена специфична тежина:	$p_z = G_z/A_z = 7,8 \cdot 10^{-3} \text{ daN/m, mm}^2$
Специфична тежина на заштитното јаже со НЗДТ:	$\overline{p_z} = p_z + \Delta p_z = 18,710 \cdot 10^{-3} \text{ daN / m, mm}^2$
Специфична тежина на заштитното јаже со ИЗДТ:	$\overline{\overline{p_z}} = p_z + \overline{\Delta p_z} = 29,621 \cdot 10^{-3} \text{ daN / m, mm}^2$

3. КАРАКТЕРИСТИКИ НА ИЗОЛАТОРСКИТЕ СИНЦИРИ

За изведба на далекуводот ќе бидат употребени 110 kV изолаторски синцири од типот “ЕМО” - Охрид. Нивните карактеристики се дадени во следната табела.

Табела 3.1 Карактеристики на 110 kV изолаторски синцири, тип „ЕМО“-Охрид

Ознака на из. синцир	Број на елементи во синцирот	Маса [kg] на изолаторскиот синцир	Тежина [daN] на изолаторскиот синцир	Маса [kg] на из. синцир со мраз	Тежина [daN] на из. синцир со мраз	Должина на из. синцир [m]
EN	6	48,7	47,8	58,4	57,3	1,45
ENP	7	55,4	54,3	66,5	65,2	1,62
DNP	2x7	113,3	111,1	136,0	133,4	1,72
EZ	6	48,2	47,3	57,8	57,8	1,82
EZP	7	54,9	53,9	65,9	65,9	1,99
DZP	2x7	111,8	109,7	134,2	64,6	2,11

Кај носечките столбови ќе се користат изолаторските синцири од типот EN, додека кај аголно-затезните столбови ќе бидат употребени синцирите од типот EZ.

4. КАРАКТЕРИСТИКИ НА УПОТРЕБЕНИТЕ СТОЛБОВИ

За изведбата на далекуводот ќе бидат употребувани челично-решеткасти столбови за номинален напон 110 kV од типот „S“, „SL“, „A150“ и „A120“, производ на ЕМО-Охрид. Првите два се носечки („Н“), додека вторите два се аголно-затезни („АЗ“) столбови. Податоците за димензиите на главата на секој од употребените столбови (види прилог) се прикажани во табелата 3.2. Останатите податоци за овие столбови, неопходни во механичките пресметки, прикажани се во следните 4 табели.

Табела 4.1. Основни димензии на главата на столбовите 110 kV од типот "S", "SL", A150 и "A120", производ на "ЕМО-Охрид"

Тип на столбот	a	b	c	d	e	f	g
	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]
S	260	260	335	300	185	185	60
SL	260	260	335	300	295	185	60
A150	260	270	335	455	225	225	80
A120	270	270	345	470	225	225	80

5. ПРЕСМЕТКА НА ДОЗВОЛЕНИТЕ РАСПОНИ НА СТОЛБОВИТЕ

5.1. ДОЗВОЛЕНИ РАСПОНИ НА СТОЛБОТ ТИП "S"

Од табелата на сили за столбот тип "S" ги добиваме следните вредности:

$$V_Z(A)_{doz} = 1542 \text{ daN} ; Z_Z(A)_{doz} = 704 \text{ daN} ; V_X(B)_{doz} = 575 \text{ daN}$$

$$V_Z(B)_{doz} = 882 \text{ daN} ; Z_Z(B)_{doz} = 290 \text{ daN} ; Z_X(B)_{doz} = 237 \text{ daN}$$

5.1.1. ДОЗВОЛЕН ГРАВИТАЦИОНЕН РАСПОН

$$a_{gr.1} = \frac{V_Z(A)_{doz} - \bar{G}_{iz}}{\bar{p} \cdot A} = \frac{1542 - 57,3}{6,408 \cdot 10^{-3} \cdot 282,5} = 820 \text{ m} ;$$

$$a_{gr.2} = \frac{V_Z(B)_{doz} - \bar{G}_{iz}}{p \cdot A} = \frac{882 - 47,8}{3,426 \cdot 10^{-3} \cdot 282,5} = 862 \text{ m} ;$$

$$a_{gr.3} = \frac{Z_Z(A)_{doz}}{\bar{p}_z \cdot A_z} = \frac{704}{18,98 \cdot 10^{-3} \cdot 49,48} = 760 \text{ m} ;$$

$$a_{gr.4} = \frac{Z_Z(B)_{doz}}{p_z \cdot A_z} = \frac{290}{7,8 \cdot 10^{-3} \cdot 49,48} = 750 \text{ m}.$$

Од сите четири пресметани вредности, најмалата е последната, па според за овој столб тоа ќе имаме:

$$a_{gr.doz} = 750 \text{ m} .$$

5.1.2. ДОЗВОЛЕН СРЕДЕН РАСПОН

$$a_{sr.1} = \frac{V_X(B)_{doz}}{P_v \cdot d} = \frac{575}{75 \cdot 0,0219} = 350 \text{ m}; \quad a_{sr.2} = \frac{Z_X(B)_{doz}}{P_v \cdot d_z} = \frac{237}{75 \cdot 0,009} = 351 \text{ m}.$$

Врз основа на овие пресметки следува дека е

$$a_{sr.doz} = 350 \text{ m}$$

5.1.3. ЕЛЕКТРИЧЕН РАСПОН

За столбот тип "S" на релација спроводник-спроводник критично е растојанието D_{AC} меѓу највисоката и најниската конзола. Тоа изнесува:

$$D_{AC} = \sqrt{(c-a)^2 + (e+f)^2} = 3,78 \text{ m} = 378 \text{ cm},$$

а спроводниците од фазите "A" и "C" имаат меѓусебно кос распоред. Под дејство на ветрот, тие ќе се отклонат од вертикалната рамнина за агол на отклон:

$$\alpha_v = \arctg(P_v \cdot d/G) = \arctg(75 \cdot 21,9/968) = 59,5^\circ$$

Според нашите прописи, при температура $\theta = 40^\circ\text{C}$ и во состојба без ветер, растојанието меѓу било кои два спроводници, односно меѓу било кој спроводник и заштитното јаже, во средината од распонот, мора да биде:

$$D_{v-v} \geq D_{\min} = k_v \cdot \sqrt{f_{40} + L_{tz}} + d_S \text{ [cm]}.$$

За електричниот распон на столбот ќе биде $D_{v-v} = D_{\min} = D_{AC}$. Во нашиот случај ќе имаме:

$$k_v = 2 + \alpha_v/10 = 7,95; \quad D_{AC} = k_v \cdot \sqrt{f_{40} + L_{tz}} + d_S,$$

од каде што следи:

$$f_{40} = \frac{(D_{AC} - d_S)^2}{k_v^2} - L_{tz} = \frac{(378 - 90)^2}{7,95^2} = 1167 \text{ cm} = 11,67 \text{ m}.$$

Значи ако провесот f_{40} при $\theta = 40^\circ\text{C}$ не биде поголем пресметаните 1167 cm, тогаш условите во поглед на меѓусебните растојанија на спроводниците, пропишани со членот 30 од нашиот Правилник, ќе бидат исполнети.

На вака пресметаниот провес, соодветствува таканаречениот "електричен распон". Неговата вредност ќе ја добиеме со следната постапка:

$$A = \frac{3p \cdot \sigma_M^2 \cdot (45\alpha \cdot E - \sigma_M)}{3p \cdot \sigma_M^2 + p^2 \cdot E \cdot f_{40}} = \frac{-2,0406}{4,5224} = -0,45123;$$

$$B = \frac{p^2 \cdot \sigma_M^2 \cdot E \cdot f_{40}}{3p \cdot \sigma_M^2 + p^2 \cdot E \cdot f_{40}} = \frac{85,432}{4,5224} = 18,891,$$

$$\sigma_{40} = \frac{-A + \sqrt{A^2 + 4B}}{2} = 4,578 \text{ daN/mm}^2;$$

$$f_{40} = \frac{p \cdot a_{el}^2}{8 \sigma_{40}} \Rightarrow a_{el} = \sqrt{\frac{8 f_{40} \cdot \sigma_{40}}{p}} = 353 \text{ m}.$$

5.2. ДОЗВОЛЕНИ РАСПОНИ ЗА СТОЛБОТ ТИП "SL"

На сосема ист начин како и во претходната точка, ги одредуваме дозволените распони за столбот тип "SL". Тие изнесуваат

$$a_{gr} = 750 \text{ m} \quad a_{sr} = 500 \text{ m} \quad a_{el} = 505 \text{ m}$$

5.3 ДОЗВОЛЕНИ РАСПОНИ ЗА СТОЛБОТ ТИП "A150"

Дозволените распони за овој столб ќе бидат:

$$a_{gv} = 750 \text{ m} \quad a_{sr} = 350 \text{ m} \quad a_{el} = 500 \text{ m}$$

5.4. ТАБЕЛА НА ДОЗВОЛЕНИТЕ РАСПОНИ

Дозволените распони за поедините типови столбови, пресметани на претходно прикажаниот начин, се прикажани во следната табела:

Табела 5.1 Дозволене распони за употребуваните столбови

Тип на столбот	$a_{gr.doz}$	$a_{sr.doz}$	a_{el}
“S”	750	350	353
“SL”	750	500	505
“A150”	750	350	500
“A120”	750	350	500

5.5 ГРАНИЧЕН РАСПОН НА СПРОВОДНИЦИТЕ

Граничниот распон на спроводниците ќе го пресметаме со итеративна постапка. Почетната вредност за хоризонталната компонента на напрегањето σ_x и граничниот распон a_{gr} ќе бидат:

$$\sigma_x = \sigma_M \cdot (\bar{p} / \bar{p}) = 9 \cdot (9,39 / 6,408) = 13,040 \text{ daN/mm}^2 ;$$

$$a_{gr} = \frac{2\sigma_x}{\bar{p}} \cdot \ln \left[\frac{\sigma_{id}}{\sigma_x} + \sqrt{\frac{\sigma_{id}^2}{\sigma_x^2} - 1} \right] = \frac{2 \cdot 13,04}{9,39 \cdot 10^{-3}} \cdot \ln \left[\frac{24,5}{13,04} + \sqrt{\frac{24,5^2}{13,04^2} - 1} \right] = 3455 \text{ m} .$$

Уточнувањето на вредностите за σ_x и a_{gr} ќе даде нови вредности:

$$n = \bar{p} \cdot a_{gr} \cdot \sqrt{E/24} = 581,1 ; \quad m = \frac{\bar{p}^{-2} \cdot a_{gr}^2}{24 \sigma_M^2} \cdot E - \sigma_M = 1932,492 ;$$

$$\sigma_x + 1932,492 = 581,2^2 / \sigma_x^2 \Rightarrow \sigma_x = 13,174 \text{ daN/mm}^2 .$$

Во вториот итеративен циклус ќе имаме:

$$a_{gr} = \frac{2 \cdot 13,174}{9,39 \cdot 10^{-3}} \cdot \ln \left[\frac{24,5}{13,174} + \sqrt{\frac{24,5^2}{13,174^2} - 1} \right] = 3456,6 \text{ m} .$$

Со ново уточнување (иако веќе непотребно), добиваме:

$$\sigma_x = 13,17405 \text{ daN/mm}^2 ; \quad a_{gr} = 3456,64 \text{ m} .$$

Овие вредности можеме да ги сметаме за сосема точни, т.е. конечни.

5.6. ГРАНИЧЕН РАСПОН ЗА ЗАШТИТНОТО ЈАЖЕ

На сосема ист начин постапуваме и при одредувањето на граничниот распон на заштитното јаже. После само две уточнувања, ги добиваме конечните вредности:

$$\sigma_{x,z} = 41,1142 \text{ daN/mm}^2 ; \quad a_{grz} = 4045 \text{ m} .$$

6. РАЗМЕСТУВАЊЕ НА СТОЛБОВИТЕ ДОЛЖ ТРАСАТА

Кога вршиме избор на стојните места и типот на столбовите долж трасата, треба да водиме сметка за сите технички ограничувања, дефинирани со Правилникот. Тие се однесуваат на:

- височината на спроводниците над тлото и над пресечните објекти, ако ги има;
- механичките напрегања на столбовите;
- механичките напрегања во самите спроводници/јажиња;
- дозволените растојанија помеѓу спроводниците/јажињата во средината од секој распон, во услови без ветар.

При разместувањето на столбовите, исто така треба да пазиме:

- резервата во висина, т.е. разликата помеѓу висината на спроводниците над тлото H_{pr} и сигурносната висина H_S , $H_{pr} - H_S$, од економски причини да биде што е можно помала;

- столбовите да имаат воедначени височини кои ќе бидат блиски до нормалните, вообичаено употребувани височини;
- степенот на механичкото оптоварување на столбовите да биде што е можно повоедначен;
- распоните во затезното поле по својата големина исто така да бидат воедначени;
- да се избегнуваат големи стрмнини на распоните.

При определувањето на положбата на столбовите по надолжниот профил на трасата, се служиме со претходно формираните шаблони. Бидејќи обликот на синцирницата (верижниот), а со тоа и обликот на шаблонот, со кој ќе треба да ги определуваме стојните места на столбовите, зависи од идеалниот распон, кој однапред не ни е познат, шаблоните ги конструираме за вообичаените вредности на идеалниот распон. Треба да се има на ум дека идеалниот распон е секогаш поголем од средниот (просечниот) распон за неколку %. Притоа, доколку теренот е регуларен (рамен или приближно рамен), тогаш идеалниот распон ќе биде поблизок до просечниот – и обратно.

Не е на одмет да се напомене дека шаблоните нацртани за помали идеални распони се “подлабоки”. Значи ако столбните места долж трасата сме ги одредиле со помош на шаблон, нацртан за помал идеален распон од добиениот, тогаш можеме да бидеме сигурни дека, во стварност, висините на спроводниците над тлото ќе бидат нешто поголеми од оние што сме ги одредиле по графички пат, а условите пропишани со Правилникот во поглед на сигурносните височини ќе бидат сигурно задоволени.

Со помош на шаблоните, по графички пат ги определуваме следните непознати:

1. положбата на столбовите;
2. потребните височини на столбовите;
3. височините на спроводниците над тлото и над пресечните објекти;
4. вистинските распони помеѓу столбовите;
5. средните (ветровите) распони кај секој столб;
6. гравитационите распони кај секој столб;
7. тоталните распони за секој кос распон во посматраното затезно поле.

6.1. ЦРТАЊЕ НА ШАБЛОНИ ЗА СПРОВОДНИЦИТЕ

Критичниот распон a_k за наведените услови го пресметуваме со изразот:

$$a_k = \sigma_M \cdot \sqrt{\frac{360 \cdot \alpha}{p^2 - p}} = 9 \cdot \sqrt{\frac{360 \cdot 18,9}{6,408^2 - 3,426^2}} = 137,1 \text{ m} .$$

Бидејќи вообичаените распони кај 110 kV водови се од редот на 300 m па и повеќе, следува дека, во поглед на напрегањата на спроводниците, критична ќе биде состојбата при $-5^\circ\text{C} + \text{НЗДТ}$, т.е.:

$$\sigma_{-5} = \sigma_M = 9 \text{ daN/mm}^2 .$$

Критичната температура на спроводниците, т.е. температурата θ_k при која провесот на спроводниците f_{θ_k} ќе биде еднаков на провесот \bar{f}_{-5} што се има при $\theta = -5^\circ\text{C} + \text{НЗДТ}$, ќе биде:

$$\theta_k = \frac{\bar{\sigma}_{-5}}{E \cdot \alpha} \cdot \left(1 - \frac{p}{\bar{p}}\right) - 5 = \frac{9}{7700 \cdot 18,9 \cdot 10^{-6}} \cdot \left(1 - \frac{3,426}{6,408}\right) - 5 = 23,8^\circ\text{C} .$$

Значи, провесот на спроводниците што ќе се јави при максималната температура $\theta = 40^\circ\text{C}$ ќе биде поголем од провесот што се јавува при $-5^\circ\text{C} + \text{НЗДТ}$. Според тоа синцирницата ќе ја цртаме за температурата $\theta = 40^\circ\text{C}$.

Бидејќи во задачата се работи за релативно рамен и регуларен терен, ќе претпоставиме дека затезното поле, чијашто должина изнесува $L_{ZP} = 1640 \text{ m}$, ќе може да се совлада со вкупно $n_{st} = 6$ столбови, кои ќе бидат приближно рамномерно распределени по неговата должина, односно дека ќе имаме вкупно $n = 5$ распони. Во тој случај, за средниот (просечниот) распон ќе добиеме $\bar{a} = L_{ZP} / (n_{st} - 1) = 1640 / 5 = 328 \text{ m}$. Ако сакаме затезното поле да го совладаме со помал број распони, на пример со $n = 4$ распони, во тој случај просечниот распон \bar{a} во затезното поле ќе биде 410 m. Бидејќи дозволеният среден распон $a_{sr.doz}$ на носечките столбови од типот “S” коишто се предвидени за употреба, изнесува $a_{sr.doz} = a_{el} = 330 \text{ m}$ и е помал од вредноста $\bar{a} = 410 \text{ m}$, тогаш во секој распон a поголем од 330 m ќе се јави прекршување на условот во поглед на растојанијата помеѓу спроводниците/јажињата во

средината од распонот. Значи не е можно ова затезно поле да се совлада со $n = 4$ распони доколку се предвидува употреба на носечките столбови од типот “S”.

Согласно со сето погоре кажано, ќе претпоставиме дека идеалниот распон ќе изнесува:

$$a_i = 330 \text{ m.}$$

Во тој случај, тргнувајќи од познатата состојба при $-5^\circ\text{C} + \text{ИЗДТ}$, чии параметри се:

$$\theta_0 = -5^\circ\text{C} ; p_0 = \bar{p} = 6,408 \cdot 10^{-3} \text{ daN/m, mm}^2 ; \sigma_0 = \sigma_M = 9 \text{ daN/mm}^2 ,$$

со помош на равенката на состојбата ги одредуваме параметрите σ_{40} и c_{40} во бараната состојба:

$$\sigma_{40} = 4,55 \text{ daN/mm}^2 ; c_{40} = \sigma_{40}/p = 1328 \text{ m.}$$

Потоа, со помош на изразот за синцирница:

$$y = c \cdot (\text{ch} \frac{x}{c} - 1),$$

за вредноста $c = c_{40} = 1328 \text{ m}$, ја формираме табелата 6.1, со помош на која ја конструираме синцирницата, т.е. ја цртаме кривата $y(x)$ на прозрачна фолија, или на милиметарски паус, во размер $R_x = 1:2000$ и $R_y = 1:500$.

Табела 6.1. Синцирница за Al/C јаже 240/40 mm²

x [m]	50	100	150	200	250	300	350	400	450	500
y [m]	0,94	3,77	8,48	15,09	23,60	34,03	46,39	60,70	76,97	95,24

6.2. СТОЛБНА ЛИСТА

Водејќи сметка за кажаното во точка 6, со помош на конструираниот шаблон на начин изложен во претходната точка, по графички пат ги определуваме стојните места на столбовите како и нивните минимални потребни височини. Вистинските височини на столбовите ги добиваме со заокружување на минималните потребни височини, при што, усвојуваме некоја од дискретните височини за столбовите, изнесени во табелите 3.3 - 3.6.

При разместувањето на столбовите треба да ги почитуваме дозволените распони, изнесени во табелата 5.4, т.е. кај секој столб безусловно мора, вистинскиот среден и вистинскиот гравитационен распон да биде помал од дозволеениот среден односно гравитационен распон. Истото тоа се однесува и на електричните распони, т.е. распонот помеѓу било кои два соседни столба мора да биде помал од полузбирот на електричните распони на споменатите два столба.

Напрегањето на спроводниците (јажињата) во точките на зацврстување при -5°C со исклучителен зимски додатен товар (ИЗДТ) го контролираме преку големините на тоталните распони. Ниеден тотален распон во посматраното затезно поле не смее да биде поголем од граничниот распон за спроводниците односно заштитното јаже.

Како што веќе беше напоменато во точката 6, во оваа фаза од проектот (разместување на столбовите долж трасата), приближните вредности на тоталните распони ги определуваме по графички пат, со помош на шаблоните. Притоа, претпоставуваме дека обликот на синцирницата во поедините распони при температура од 40°C , кој го добиваме со помош на шаблоните е приближно ист со обликот на синцирницата на спроводниците во состојбата при $-5^\circ\text{C} + \text{ИЗДТ}$, што е за оваа намена (контрола на големината на напрегањата) и во оваа фаза од проектот, сосема прифатливо. И конечно, при разместувањето на столбовите долж трасата, ќе треба да водиме сметка и за отклонот на изолаторските синцири при носечките столбови. Имено, кај секој носечки столб ќе биде потребно гравитациониот распон да биде доволно голем за да се постигне отклонот на изолаторските синцири под дејство на ветрот да има ограничена вредност. На ова не мора да се инсистира по секоја цена, бидејќи ограничувањето на аголот на отклон може да се изврши и со примена на тегови. Меѓутоа пожелно би било проблемот на ограничувањето на аголот на отклон, доколку е тоа можно, да се реши со правилна распределба на столбовите по трасата, а на примена на теговите да се оди само тогаш кога решавањето на овој проблем на споменатиот начин е невозможно или пак нерационално.

Уважувајќи го сето досега речено, се прават повеќе проби за разместување на столбовите долж трасата на разни начини. Така се добиваат едно или повеќе решенија што ги задоволуваат сите технички ограничувања а се истовремено во согласност со основните принципи за економичност и рационалност

7. КОНТРОЛА НА РАСПОНИТЕ

7.1. ПРЕСМЕТКА НА ИДЕАЛНИОТ РАСПОН

Врз основа на столбната листа, најнапред ги пресметуваме поедините распони во затезното поле, а потоа ја пресметуваме и вредноста на идеалниот распон.

$$a_1 = 280 \text{ m}; a_2 = 350 \text{ m}; a_3 = 345 \text{ m}; a_4 = 333 \text{ m}; a_5 = 332 \text{ m}$$

$$\Sigma a_j = 1640 \text{ m}; \Sigma a_j^3 = 179,411 \cdot 10^6 \text{ m}^3; a_i = \Sigma a_j^3 / \Sigma a_j = 330,8 \text{ m}.$$

Тргувајќи од состојбата при $-5^\circ\text{C} + \text{НЗДТ}$, која ја сметаме за позната, за пресметаниот идеален распон ја пресметуваме вредноста на напрегањето σ_{40} и параметарот на синцирницата c_{40} при максималната температура $\theta_{max} = 40^\circ\text{C}$.

$$\sigma_{40} = 4,55 \text{ daN/mm}^2; c_{40} = 1328 \text{ m}.$$

Со оглед на фактот дека е $\bar{\sigma}_{-5} = \sigma_M = 9 \text{ daN/mm}^2$, параметарот на синцирницата при $-5^\circ\text{C} + \text{НЗДТ}$ ќе биде:

$$\bar{c}_{-5} = \bar{\sigma}_{-5} / \bar{p} = 1423 \text{ m}.$$

7.2 КОНТРОЛА НА ГРАВИТАЦИОНИТЕ РАСПОНИ

Вертикалните сили со кои спроводниците и заштитното јаже дејствуваат врз столбовите при некоја состојба зависат од единечната тежина на спроводниците/јажето и од гравитационите распони при таа состојба. Како што видовме во точката 5, за нас е од интерес состојбата без зимски додатен товар, бидејќи дозволените гравитациони распони на сите употребени столбови се ограничени со силата $V_Z(B)_{doz}$ која се однесува токму на тој случај. Од друга страна, гравитационите распони на столбовите зависат од положбата на темињата на синцирниците во секој распон, т.е. зависат од параметарот c , односно, посредно зависат од температурата на спроводниците θ .

Кај далекуводите кои минуваат низ релативно рамен терен и кај кои не се јавуваат големи висински разлики во распоните, таа зависност е практично безначајна. Затоа, од чисто практични причини, ние во нашиот случај ќе сметаме дека гравитационите распони на столбовите во состојбата без ЗДТ се определуваат со состојбата при $+40^\circ\text{C}$, и слично, вертикалните сили $V_Z(B)$, $V_Z(C)$, $Z_Z(B)$ и $Z_Z(C)$ за случаите “B” и “C” ќе се пресметуваат исто така при оваа состојба. Но, кога станува збор за пресметка на силите $V_Z(A)$ и $Z_Z(A)$ од случајот “A”, се разбира, ќе биде потребно да работиме со состојбата при $-5^\circ\text{C} + \text{НЗДТ}$. Затоа е неопходно, положбата на темињата на синцирниците како и големината на тоталните распони да ги пресметуваме два пати: еднаш за состојбата при $+40^\circ\text{C}$, а потоа и за состојбата при $-5^\circ\text{C} + \text{НЗДТ}$.

7.2.1. ПРЕСМЕТКА НА ДЕНИВЕЛАЦИЈАТА Δh ВО РАСПОНИТЕ

Денивелацијата Δh_i во i -тиот распон, формиран од столбовите со редни броеви “ i ” и “ $i+1$ ”, е висинската разлика помеѓу точките на обесување на столбовите “ i ” и “ $i+1$ ”, т.е. се пресметува како:

$$\Delta h_i = h_{i+1} - h_i = (Y_{S,i+1} + H_{S,i+1} - L_{iz,i+1}) - (Y_{S,i} + H_{S,i} - L_{iz,i}),$$

каде што $Y_{S,i}$, $H_{S,i}$ и $L_{iz,i}$ се кота на столбното место “ i ”, основна височина на столбот “ i ” и должина на изолаторскиот синцир при столбот “ i ”. Слично, величините $Y_{S,i+1}$, $H_{S,i+1}$ и $L_{iz,i+1}$ ги имаат истите тие значења а се однесуваат на столбот со реден број “ $i+1$ ”. Според тоа, во разгледуваниот случај ќе имаме:

$$\Delta h_1 = (120 + 12,9 - 1,45) - (120 - 16,0 - 0,00) = -4,55 \text{ m};$$

$$\Delta h_2 = (110 + 12,9 - 1,45) - (120 - 12,9 - 1,45) = -10,00 \text{ m};$$

$$\Delta h_3 = (118,75 + 18,8 - 1,45) - (110 - 12,90 - 1,45) = 14,65 \text{ m};$$

$$\Delta h_4 = (120 + 18,8 - 1,45) - (118,75 - 18,8 - 1,45) = 1,25 \text{ m};$$

$$\Delta h_5 = (120 + 16,0 - 0,00) - (120 - 18,8 - 1,45) = -1,35 \text{ m}.$$

7.2.2. ПРЕСМЕТКА НА ТОТАЛНИТЕ РАСПОНИ ПРИ $+40^\circ\text{C}$

Бидејќи се работи за релативно рамен и регуларен терен, без големи висински разлики во распоните, тоталните распони ќе ги пресметуваме со приближните формули (6.33) и (6.34), т.е:

$$a = a_T + a_d = a + 2c \cdot |\Delta h| / a.$$

Според тоа, за состојбата при +40°C, кога параметарот на синцирницата изнесува $c = 1328$ m, ($2c = 2656$ m), ќе имаме:

$$\begin{aligned} a_{T1} &= 280 + 2656 \cdot 4,55/280 = 323,2 \text{ m}; & a_{T1}/2 &= 161,6 \text{ m}, \\ a_{T2} &= 350 + 2656 \cdot 10,0/350 = 425,9 \text{ m}; & a_{T2}/2 &= 212,9 \text{ m}, \\ a_{T3} &= 345 + 2656 \cdot 14,45/345 = 457,8 \text{ m}; & a_{T3}/2 &= 228,9 \text{ m}, \\ a_{T4} &= 333 + 2656 \cdot 1,25/333 = 343,0 \text{ m}; & a_{T4}/2 &= 171,5 \text{ m}, \\ a_{T5} &= 332 + 2656 \cdot 1,35/332 = 342,8 \text{ m}; & a_{T5}/2 &= 171,4 \text{ m}. \end{aligned}$$

7.2.3. ПРЕСМЕТКА НА ТОТАЛНИТЕ РАСПОНИ ПРИ -5°C+НЗДТ

За состојбата при -5°C+НЗДТ, кога параметарот на синцирницата изнесува $c = \bar{c}_{-5} = 1404$ m, ($2c = 2808$ m), ќе имаме:

$$\begin{aligned} a_{T1} &= 280 + 2808 \cdot 4,55/280 = 325,6 \text{ m}; & a_{T1}/2 &= 162,8 \text{ m}, \\ a_{T2} &= 350 + 2808 \cdot 10,0/350 = 430,2 \text{ m}; & a_{T2}/2 &= 215,1 \text{ m}, \\ a_{T3} &= 345 + 2808 \cdot 14,45/345 = 464,2 \text{ m}; & a_{T3}/2 &= 232,1 \text{ m}, \\ a_{T4} &= 333 + 2808 \cdot 1,25/333 = 343,5 \text{ m}; & a_{T4}/2 &= 171,8 \text{ m}, \\ a_{T5} &= 332 + 2808 \cdot 1,35/332 = 343,4 \text{ m}; & a_{T5}/2 &= 171,7 \text{ m}. \end{aligned}$$

7.3. КОНТРОЛА НА ГРАВИТАЦИОНИТЕ РАСПОНИ

Контролата на гравитационите и средните распони ќе ја вршиме само за носечките столбови, т.е. столбовите број 2, 3, 4 и 5. Контролата за затезните столбови не ќе можеме да ја направиме бидејќи не ни се познати потребните податоци за соседните затезни полиња.

Гравитационите распони (т.е. хоризонталните растојанија помеѓу темињата од синцирниците лево и десно од посматраните столбови) за поедините носечки столбови се пресметуваат за состојбата при +40°C, и тоа на следниот начин:

$$a_{gr} = \frac{a_i + a_{i+1}}{2} + c \cdot \left(\frac{\Delta h_i}{a_i} - \frac{\Delta h_{i+1}}{a_{i+1}} \right).$$

Според тоа, применувајќи ја последната релација, ќе добиеме:

$$\begin{aligned} a_{gr,2} &= \frac{280+350}{2} + 1328 \cdot \left(\frac{-4,55}{280} - \frac{-10,0}{350} \right) = 331,4 < 750 \text{ m}, \\ a_{gr,3} &= \frac{350+345}{2} + 1328 \cdot \left(\frac{-10,0}{350} - \frac{14,65}{345} \right) = 253,2 < 750 \text{ m}, \\ a_{gr,4} &= \frac{345+333}{2} + 1328 \cdot \left(\frac{14,65}{345} - \frac{1,25}{333} \right) = 390,4 < 750 \text{ m}, \\ a_{gr,5} &= \frac{333+332}{2} + 1328 \cdot \left(\frac{1,25}{333} - \frac{-1,35}{332} \right) = 242,9 < 750 \text{ m}. \end{aligned}$$

Бидејќи гравитационите распони кај секој од столбовите се помали од соодветните дозволени гравитациони распони, пресметани во точката 5 преку познатите табели на дозволени сили, тоа ќе значи дека ниеден од столбовите нема да биде механички преоптоварен во случајот “А”, дефиниран со чл. 68-точка 1 од нашиот Правилник.

7.4. КОНТРОЛА НА СРЕДНИТЕ РАСПОНИ

Средните распони за поедините носечки столбови ќе бидат:

$$\begin{aligned} a_{sr,2} &= \frac{a_1 + a_2}{2} = 315 \text{ m} < 350 \text{ m}, \\ a_{sr,3} &= \frac{a_2 + a_3}{2} = 347,5 \text{ m} < 350 \text{ m}, \\ a_{sr,4} &= \frac{a_3 + a_4}{2} = 339 \text{ m} < 350 \text{ m}, \end{aligned}$$

$$a_{sr,5} = \frac{a_4 + a_5}{2} = 332,5 \text{ m} < 350 \text{ m}.$$

Бидејќи средните распони кај секој од столбовите се помали од соодветните дозволени средни распони, ниеден од носечките столбови под дејство на ветерот нема да биде механички преоптоварен (случај “С” од членот 68, точка 1 од нашиот Правилник).

7.5. КОНТРОЛА НА ЕЛЕКТРИЧНИТЕ РАСПОНИ

Првичната проценка (која е обично елиминаторна) дали се задоволени одредбите од Правилникот во поглед на растојанијата помеѓу спроводниците, односно спроводниците и заштитното јаже во средината од распоните во посматраното затезно поле, во услови без ветар, можеме да ја направиме на наједноставен начин и со задоволителна точност со помош на пресметаните електрични распони на применетите столбови. За бидат задоволени споменатите одредби од Правилникот ќе биде потребно ниту еден од распоните на затезното поле да не биде поголем од полузбирот на електричните распони на припадните столбови од распонот. Се разбира дека ваквата контрола со помош на електричните распони е само приближна и се применува за брзи проценки. Значи сепак, на крајот, ќе биде потребно контролата дали се задоволени споменатите одредби од Правилникот во врска со растојанијата во средината од распоните да се врши со нивно директно пресметување и споредување со минимално потребните растојанија.

Според тоа, првичната контрола на електричните распони ќе ги даде следните резултати:

$$a_{el,1} = \frac{500 + 353}{2} = 426,5 \text{ m} > a_1 = 280 \text{ m};$$

$$a_{el,2} = \frac{353 + 353}{2} = 353 \text{ m} > a_2 = 350 \text{ m};$$

$$a_{el,3} = \frac{353 + 353}{2} = 353 \text{ m} > a_3 = 345 \text{ m};$$

$$a_{el,4} = \frac{353 + 353}{2} = 353 \text{ m} > a_4 = 333 \text{ m};$$

$$a_{el,5} = \frac{353 + 500}{2} = 426,5 \text{ m} > a_5 = 332 \text{ m}.$$

8. КОНТРОЛА НА НАПРЕГАЊАТА ВО ТОЧКИТЕ НА ЗАЦВРСТВУВАЊЕ

8.1. НАПРЕГАЊА ПРИ -5°C + ИСКЛУЧИТЕЛЕН ЗИМСКИ ДОДАТЕН ТОВАР

Според членот 19 од Правилникот, напрегањето во спроводниците/јажињата во точките на зацврстување во состојбата со исклучителен зимски додатен товар (ИЗДТ) не смее да го надминува исклучителното дозволено напрегање σ_{id} . Исклучителниот зимски додатен товар, според членовите 6 и 7 од Правилникот, изнесува:

- двојна вредност од нормалниот зимски додатен товар (освен при премин на водот преку ПТТ вод или железничка пруга, кога се зема најмалку трикратна вредност);
- резултантната вредност $p'_V = \sqrt{p^2 + p_V^2}$, доколку во овој случај се добива поголема вредност во однос на претходниот случај “а”.

Во нашиот конкретен случај ќе имаме:

$$\text{а) } \bar{p} = p + k_i \cdot \Delta p = 9,39 \cdot 10^{-3} \text{ daN/m, mm}^2,$$

$$\text{б) } p'_V = \sqrt{p^2 + p_V^2} = \sqrt{3,426^2 + 5,814^2} = 6,748 \cdot 10^{-3} \text{ daN/m, mm}^2.$$

Притоа компонентата p_V (додатен товар заради дејството на ветерот) е:

$$p_V = \frac{F_V}{A} = \frac{P_V \cdot d}{A} = \frac{75 \cdot 21,9 \cdot 10^{-3}}{282,5} = 5,814 \cdot 10^{-3} \frac{\text{daN}}{\text{m} \times \text{mm}^2}.$$

Бидејќи е $\bar{p} > p'_V$, меродавен ќе биде случајот под “а”, т.е. контролата на напрегањата на јажињата ќе треба да се врши за состојбата при -5°C +ИЗДТ. За таа цел, тргнувајќи од познатата состојба при

$-5^{\circ}\text{C}+\text{ИЗДТ}$, со помош на равенката на состојба најнапред ќе ги пресметаме напрегањето $\bar{\sigma}_{-5}$ и параметарот на синцирницата \bar{c}_{-5} при оваа состојба. Како резултат на тие пресметки добиваме:

$$\bar{\sigma}_{-5}=12,155 \text{ daN/mm}^2; \bar{c}_{-5}=1294 \text{ m}.$$

Гледаме дека параметарот на синцирницата \bar{c}_{-5} во состојбата при $-5^{\circ}+\text{ИЗДТ}$ е близок по големина со параметарот на синцирницата \bar{c}_{-5} при $-5^{\circ}\text{C}+\text{ИЗДТ}$, што значи дека обликот на синцирницата на спроводниците за овие две состојби сосема малку ќе се разликува. Тоа значи дека големините на тоталните распони, кои се меродавни за вредноста на напрегањето на спроводниците/јажињата во точките на зацврстувањето, ќе бидат за овие две состојби приближно исти.

Од практични причини, контролата на напрегањето на спроводниците во точките на зацврстување ќе ја вршиме само за најнеповолниот случај, а тоа е овесиштето при столбот бр.4 од левата страна, затоа што распонот бр.3 има најголем тотален распон. Тоталниот распон a_{T3} во состојбата при $-5^{\circ}\text{C}+\text{ИЗДТ}$ ќе биде:

$$a_{T3}=a_3+2\bar{c}_{-5}\cdot(\Delta h_3/a_3)=345+2\cdot 1294\cdot(14,65/345)=455 \text{ m},$$

$$\bar{\sigma}' = \bar{\sigma}_{-5} \cdot \text{ch} \frac{a_{T3}}{2\bar{c}_{-5}} = 12,155 \cdot \text{ch} \frac{455}{2\cdot 1294} = 12,345 \text{ daN/mm}^2 < 24,5 \text{ daN/mm}^2.$$

За сите останати столбови, напрегањето на спроводниците во точките на зацврстување ќе биде помало од претходно пресметаната вредност. Со тоа е извршена контролата на напрегањата на спроводниците во точките на зацврстување во состојбата при $-5^{\circ}\text{C}+\text{ИЗДТ}$ и е добиено дека на ниедно место во распонот, напрегањето на спроводниците нема да ја надмине дозволената вредност $\sigma_{id} = 24,5 \text{ daN/mm}^2$.

На сосема ист начин се врши и контролата на напрегањата во точките на зацврстување на заштитното јаже.

8.2. НАПРЕГАЊЕ ВО ТОЧКИТЕ НА ЗАЦВРСТУВАЊЕ ПРИ СРЕДНОГОДИШНАТА ТЕМПЕРАТУРА

Заштитата од еолските вибрации (т.е. вибрациите под дејство на ветерот) на спроводниците и заштитното јаже, со што ќе се елиминира опасноста од замор на материјалот и нивно оштетување односно прекин, се врши со примена на разни мерки. Притоа за таа цел најчесто се користат т.н. “придушувачи на вибрациите” (антивибратори), но тоа може да се постигне и со намалување на применетото максимално работно напрегање. За да се исклучи потребата од примена на таквите заштитни мерки ќе треба да утврдиме колкава е вредноста на напрегањето σ'_{15} во точките на зацврстување при средногодишната температура $\theta = 15^{\circ}\text{C}$. Вообичаен критериум во Европа за поставување на антивибратори и сузбивање на вибрациите на спроводниците/јажињата под дејство на ветерот е вредноста на напрегањето σ'_{15} во точките на зацврстување. Таа не треба да биде поголема од 18% од напрегањето на кинење σ_{kin} , т.е:

$$\sigma'_{15} < 0,18 \cdot \sigma_{kin}.$$

Со цел да ја извршиме оваа контрола, најнапред ќе ги пресметаме напрегањето σ_{15} и параметарот на синцирницата c_{15} за спроводниците при средногодишната температура. Тргувајќи од познатата состојба при $-5^{\circ}\text{C}+\text{ИЗДТ}$, со помош на равенката на состојбата добиваме:

$$\sigma_{15} + 11,709 = (20,3/\sigma_{15})^2 \implies \sigma_{15} = 4,97 \text{ daN/mm}^2; c_{15} = 1451 \text{ m}.$$

Најголем тотален распон имаме во третиот распон: $a_{T3} = 457,8 \text{ m}$, па со оглед на тоа, напрегањето σ'_{15} во точката на зацврстување при столбот бр. 4 ќе изнесува:

$$\sigma'_{15} = \sigma_{15} \cdot \text{ch} \frac{a_{T3}}{2c_{15}} = 4,97 \cdot \text{ch} \frac{457,8}{2\cdot 1451} = 5,032 \text{ daN/mm}^2.$$

Од друга страна, напрегањето на кинење на јажето А1/Џ 240/40 ќе го добиеме врз основа на познатата вредност на силата на кинење F_{kin} :

$$\sigma_{kin} = \frac{F_{kin}}{A} = \frac{8640}{282,5} = 30,6 \frac{\text{daN}}{\text{mm}^2}; \implies 0,18 \cdot \sigma_{kin} = 5,5 \frac{\text{daN}}{\text{mm}^2} > 5,032 \frac{\text{daN}}{\text{mm}^2}.$$

Значи, $\sigma'_{15} < 0,18 \cdot \sigma_{kin}$ па според тоа може да се смета дека во тој случај нема да постои опасност од оштетување на спроводниците под дејство на механичките вибрации што ги предизвикува ветерот.

На сличен начин постапуваме и за заштитното јаже. Притоа добиваме:

$$\sigma_{kin.z} = \frac{F_{kin.z}}{A_z} = \frac{6036}{49,48} = 122 \frac{\text{daN}}{\text{mm}^2}; \Rightarrow 0,18 \cdot \sigma_{kin.z} = 21,96 \frac{\text{daN}}{\text{mm}^2} .$$

$$\sigma_{15.z} = 12,336 \text{ daN/mm}^2; \quad \sigma'_{15.z} = 12,463 \text{ daN/mm}^2 < 0,18 \cdot \sigma_{kin.z} .$$

9. КОНТРОЛА НА ОТКЛОНОТ НА НОСЕЧКИТЕ ИЗОЛАТОРСКИ СИНЦИРИ

Максималниот дозволен агол на отклон α_k на изолаторскиот синцир под дејство на ветрот кај носечките столбови од типот “S” ќе го добиеме од условот, приближувањето на спроводникот до конструкцијата на столбот (конзолата или телото на столбот) да биде еднакво со минимално допуштено сигурносно растојание d_s , кое за 110 kV водови, согласно табелата 7.1 од [2], изнесува:

$$d_{S1} = 90 \text{ cm, во услови без ветар};$$

$$d_{S2} = 80 \text{ cm, кога е } P_V = 11,25 \text{ daN/m}^2, \text{ т.е. 15\% од полниот притисок на ветрот};$$

$$d_{S3} = 30 \text{ cm, кога е } P_V = 75 \text{ daN/m}^2, \text{ т.е. 100\% од полниот притисок на ветрот}.$$

Во нашиот конкретен случај критична е најгорната конзола и за неа ќе имаме (види пример 7.2 во [2]):

а) *случај кога е* $P_V = P'_V = 0,15 \cdot P_{\max} = 11,25 \text{ daN/m}^2$; $d_s = d_{S2} = 80 \text{ cm}$; $h = (a-g) = 200 \text{ cm}$; $\Delta x_2 = d_{S2} + L_{iz} \cdot \sin \alpha'_k$

$$\alpha'_k = \arcsin \frac{h - d_{S2}}{L_{iz}} = \arcsin \frac{200 - 80}{145} = 55,9^\circ .$$

б) *случај кога е* $P_V = P'_V = 0,15 \cdot P_{\max} = 11,25 \text{ daN/m}^2$; $d_s = d_{S3} = 30 \text{ cm}$; $d_{S3} = L_{iz} \cdot \cos \alpha_k$

$$\alpha_k = \arccos \frac{d_{S3}}{L_{iz}} = \arccos \frac{30}{145} = 78,1^\circ . \quad \alpha_k = \arccos \frac{d_{S3}}{L_{iz}} = \arccos \frac{30}{145} = 78,1^\circ .$$

9.2. ПРЕСМЕТКА НА АГЛИТЕ НА ОТКЛОН НА ИЗОЛАТОРСКИТЕ СИНЦИРИ КОГА Е $P_V = 0,15 \cdot P_{\max} = 11,25 \text{ daN/m}^2$

Според нашите прописи, аголот на отклон на изолаторски синцири кај сите носечки столбови ќе треба да се пресметува два пати: еднаш под претпоставката дека врз спроводниците (незамрзнати) дејствува ветар со притисок кој изнесува само 15% од полниот (максималниот) притисок на ветрот, и вториот пат, под претпоставката дека врз спроводниците дејствува ветрот со својот полн притисок. Притоа, во пресметките ќе треба да се уважи и присуството на изолаторскиот синцир, т.е. да се земе предвид неговата тежина како и силата F_{iz} со која ветрот дејствува врз него. Според тоа, аголот на отклон на изолаторскиот синцир ќе го пресметаме со помош на следната општа формула:

$$tg \alpha = \frac{k \cdot P_V \cdot d \cdot a_{sr} + 0,5 \cdot F_{iz}}{G \cdot a_{gv} + 0,5 \cdot G_{iz}}; \quad (k = 0,15 \text{ или } k = 1)$$

Од табелата 3.1, за употребените носечки изолаторски синцири од типот “EH” добиваме:

$$G_{iz} = 47,8 \text{ daN}; \quad 0,5 \cdot G_{iz} = 23,9 \text{ daN}.$$

Понатаму имаме:

$$F'_{iz} = P'_V \cdot S_{iz} = P'_V \cdot (0,1 \cdot L_{iz}) = 11,25 \cdot (0,1 \cdot 1,45) = 1,64 \text{ daN}; \quad 0,5 \cdot F'_{iz} = 0,82 \text{ daN},$$

$$F_{iz} = P_V \cdot S_{iz} = P_V \cdot (0,1 \cdot L_{iz}) = 75 \cdot (0,1 \cdot 1,45) = 10,88 \text{ daN}; \quad 0,5 \cdot F_{iz} = 5,44 \text{ daN}.$$

Според тоа, аглиите на отклон α' и α на изолаторските синцири кај поедините носечки столбови ќе бидат:

Столб бр. 2, тип “S”; $a_{sr,2} = 315 \text{ m}$; $a_{gr,2} = 331,4 \text{ m}$.

$$tg \alpha'_2 = \frac{0,15 \cdot 75 \cdot 0,0219 \cdot 315 + 0,82}{0,968 \cdot 331,4 + 23,9} = 0,228 \Rightarrow \alpha'_2 = 12,8^\circ .$$

$$tg \alpha_2 = \frac{1 \cdot 75 \cdot 0,0219 \cdot 315 + 5,44}{0,968 \cdot 331,4 + 23,9} = 1,517 \Rightarrow \alpha_2 = 56,6^\circ .$$

Столб бр. 3, тип “S” $a_{sr,3} = 347,5$ m; $a_{gr,3} = 253,2$ m.

$$\operatorname{tg} \alpha'_3 = \frac{0,15 \cdot 75 \cdot 0,0219 \cdot 347,5 + 0,82}{0,968 \cdot 253,2 + 23,9} = 0,321 \Rightarrow \alpha'_2 = 17,8^\circ,$$

$$\operatorname{tg} \alpha_3 = \frac{1 \cdot 75 \cdot 0,0219 \cdot 347,5 + 5,44}{0,968 \cdot 253,2 + 23,9} = 2,142 \Rightarrow \alpha_3 = 65,0^\circ.$$

Столб бр. 4, тип “S” $a_{sr,4} = 339$ m; $a_{gr,4} = 390,4$ m.

$$\operatorname{tg} \alpha'_4 = \frac{0,15 \cdot 75 \cdot 0,0219 \cdot 339 + 0,82}{0,968 \cdot 390,4 + 23,9} = 0,210 \Rightarrow \alpha'_4 = 11,9^\circ,$$

$$\operatorname{tg} \alpha_4 = \frac{1 \cdot 75 \cdot 0,0219 \cdot 339 + 5,44}{0,968 \cdot 390,4 + 23,9} = 1,399 \Rightarrow \alpha_4 = 54,4^\circ.$$

Столб бр. 5, тип “S” $a_{sr,5} = 332,5$ m; $a_{gr,5} = 342,9$ m.

$$\operatorname{tg} \alpha'_5 = \frac{0,15 \cdot 75 \cdot 0,0219 \cdot 332,5 + 0,82}{0,968 \cdot 342,9 + 23,9} = 0,233 \Rightarrow \alpha'_5 = 13,1^\circ,$$

$$\operatorname{tg} \alpha_5 = \frac{1 \cdot 75 \cdot 0,0219 \cdot 332,5 + 5,44}{0,968 \cdot 342,9 + 23,9} = 1,55 \Rightarrow \alpha_5 = 57,2^\circ.$$

Останатите столбови се затезни.

Доколку кај некој од носечките столбови аголот на отклон на изолаторскиот синцир под дејство на ветерот е поголем од дозволеният (конструктивниот) агол на отклон α'_k односно α_k , тогаш на тоа место ќе биде потребно да се постават тегови, чија тежина T се пресметува со една од следните формули:

$$T' = \frac{0,15 \cdot P_V \cdot d \cdot a_{sr} + 0,5 \cdot F_{iz}}{\operatorname{tg} \alpha'_k} - (G \cdot a_{gr} + 0,5 \cdot G_{iz}),$$

или:

$$T = \frac{1 \cdot P_V \cdot d \cdot a_{sr} + 0,5 \cdot F_{iz}}{\operatorname{tg} \alpha_k} - (G \cdot a_{gr} + 0,5 \cdot G_{iz}).$$

Теговите се поставуваат во единици од по 25 kg, во секоја од фазите на далекуводот, се разбира само кај оние столбови каде што има потреба од ограничување на аголот на отклон. Пожелно би било употребата на теговите да се избегне со некакво ново разместување (прераспределба) на столбовите долж трасата, се разбира доколку е тоа можно и воопшто рационално. Ограничувањето на аголот на отклон на носечките изолаторски синцири со помош на тегови се смета како мерка од нужда. Кон нивната примена прибегуваме обично само тогаш, кога не постои друг рационален начин со кој може да се избегне појавата на преголеми агли на отклон.

10. КОНТРОЛА НА РАСТОЈАНИЈАТА ПОМЕЃУ СПРОВОДНИЦИТЕ И ЈАЖИЊАТА ВО СРЕДИНАТА ОД РАСПОНОТ И ВО УСЛОВИ БЕЗ ВЕТАР

Според одредбите на Правилникот, контролата на растојанијата во средината од распонот се врши при максималната температура θ_{\max} во услови без ветер. При контролата, работата може да се подели во два дела:

- определување на минимално потребните растојанија помеѓу фазните спроводници како и помеѓу фазните спроводници и заштитното јаже, дефинирани со Правилникот;
- определување на вистинските растојанија во средината од распонот.

10.1. ПРЕСМЕТКА НА ПРОВЕСИТЕ НА СПРОВОДНИЦИТЕ И ЗАШТИТНОТО ЈАЖЕ ВО ПОЕДИНИТЕ РАСПОНИ ПРИ МАКСИМАЛНАТА ТЕМПЕРАТУРА

Провесот на спроводникот f_{40} односно провесот на заштитното јаже $f_{40,z}$ во распонот a при максималната температура $+40^\circ\text{C}$ и во услови без ветер ќе ги пресметуваме со познатите изрази за провес во средината од распонот:

$$f_{40} = \frac{a^2}{8 \cdot c_{40}} \cdot \frac{1}{\cos \psi}; \quad f_{40,z} = \frac{a^2}{8 \cdot c_{40,z}} \cdot \frac{1}{\cos \psi}.$$

Во нив, покрај аголот на наклон Ψ , фигурира уште и големината на посматраниот распон a и вредноста на претходно пресметаниот параметар на синцирницата на спроводниците односно заштитното јаже:

$$c_{40} = 1328 \text{ m}; \quad c_{40z} = 1489 \text{ m}; \quad \sigma_{40} = 4,55 \text{ daN/mm}^2; \quad \sigma_{40z} = 11,61 \text{ daN/mm}^2.$$

Вредностите на провесите f_{40} и f_{40z} [cm] како и нивната разлика $\Delta f = f_{40} - f_{40z}$ [cm], пресметани на гореспоменатиот начин се прикажани во следната табела:

Табела 10.1. Провеси на спроводниците и заштитното јаже во средината од распонот, при максималната температура +40°C

реден број	Распон a [m]	Провес на спроводниците f_{40} [cm]	Провес на зашт. јаже f_{40z} [cm]	Разлика $\Delta f_{40} = f_{40} - f_{40z}$ [cm]
1	280	738	658	80
2	350	1153	1028	125
3	345	1120	999	122
4	333	1044	931	113
5	332	1038	925	113

10.2. ПРЕСМЕТКА НА МИНИМАЛНО ПОТРЕБНИТЕ РАСТОЈАНИЈА ПОМЕЃУ СПРОВОДНИЦИТЕ И ЈАЖИЊАТА ВО СРЕДИНАТА ОД РАСПОНОТ

Минимално потребното растојание помеѓу фазните спроводници D_{\min} , односно помеѓу заштитното јаже и фазните спроводници $D_{\min.z}$, согласно релациите (10.1) ÷ (10.8), се пресметува во зависност од случајот, на еден од подолу изложените начини:

I случај “Н-Н”, кога обата столба од распонот се носечки (“Н”)

$$D_{\min} = k_v \cdot \sqrt{f_{40} + L_{iz}} + d_S; \quad D_{\min.z} = k_z \cdot \sqrt{f_{40z} + 0} + d_S.$$

II случај “Н-А3”, кога едниот столб од распонот е носечки (“Н”), а другиот е аголно-затезен (“А3”)

$$D_{v(N)} = k_v \cdot \sqrt{f_{40} + L_{iz}} + d_S; \quad D_{v(AZ)} = k_v \cdot \sqrt{f_{40} + 0} + d_S; \quad D_{\min} = \frac{D_{v(N)} + D_{v(AZ)}}{2}; \quad D_{\min.z} = k_z \cdot \sqrt{f_{40z}} + d_S$$

III случај “А3-А3”, кога обата столба се аголно-затезни (“А3”)

$$D_{\min} = k_v \cdot \sqrt{f_{40} + 0} + d_S; \quad D_{\min.z} = k_z \cdot \sqrt{f_{40z}} + d_S.$$

Во претходните изрази, провесите f_{40} и f_{40z} , должината на изолаторскиот синцир L_{iz} како и сигурносното растојание d_S се изразуваат во [cm]. Минимално потребните растојанија D_{\min} и $D_{\min.z}$ се добиваат исто така во [cm].

Коефициентите k_v и k_z зависат од аголот на отклон α_v , односно α_z што спроводниците, т.е. заштитното јаже го добиваат под дејство на ветрот кога тој дејствува со својот максимален притисок. Во зависност од заемниот распоред тие се пресметуваат со еден од изразите (5.12) - (5.15).

Во конкретниот случај ќе имаме:

$$\alpha_v = \arctg \frac{P_v \cdot d}{G} = \arctg \frac{75 \cdot 21,9 \cdot 10^{-3}}{0,968} = 59,5^\circ; \quad k_v = 2 + \frac{\alpha_v}{10} = 7,95,$$

$$\alpha_z = \arctg \frac{P_v \cdot d_z}{G_z} = \arctg \frac{75 \cdot 9 \cdot 10^{-3}}{0,386} = 60,8^\circ; \quad k_z = 2 + \frac{\alpha_z}{10} = 8,08.$$

Според тоа, минимално потребните растојанија за секој распон од посматраното затезно поле ќе изнесуваат:

Распон бр. 1 (случај “Н-А3”); $a_1 = 280 \text{ m}; \quad f_{40,1} = 738 \text{ cm}; \quad f_{40z,1} = 658 \text{ cm},$

$$D_{v(N)} = 7,95 \cdot \sqrt{738 + 145} + 90 = 326 \text{ cm}; \quad D_{v(AZ)} = 7,95 \cdot \sqrt{738} + 90 = 306 \text{ cm};$$

$$D_{\min,1} = (326 + 306) / 2 = 316 \text{ cm}; \quad D_{\min.z,1} = 8,08 \cdot \sqrt{658} + 90 = 297 \text{ cm}.$$

Распон бр .2 (случај “Н-Н”); $a_2 = 350$ m; $f_{40,2} = 1153$ cm; $f_{40z,2} = 1028$ cm,

$$D_{\min,2} = 7,967 \cdot \sqrt{1153+145} + 90 = 376 \text{ cm}; \quad D_{\min.z,2} = 8,082 \cdot \sqrt{1028} + 90 = 347 \text{ cm}.$$

Распон бр. 3 (случај “Н-Н”); $a_3 = 345$ m; $f_{40,3} = 1120$ cm; $f_{40z,3} = 999$ cm,

$$D_{\min,3} = 7,95 \cdot \sqrt{1120+145} + 90 = 373 \text{ cm}; \quad D_{\min.z,3} = 8,08 \cdot \sqrt{999} + 90 = 345 \text{ cm}.$$

Распон бр. 4 (случај “Н-Н”); $a_4 = 333$ m; $f_{40,4} = 1044$ cm; $f_{40z,4} = 931$ cm,

$$D_{\min,4} = 7,95 \cdot \sqrt{1044+145} + 90 = 364 \text{ cm}; \quad D_{\min.z,4} = 8,08 \cdot \sqrt{931} + 90 = 337 \text{ cm}.$$

Распон бр. 5 (случај “Н-А3”); $a_5 = 332$ m; $f_{40,5} = 1038$ cm; $f_{40z,5} = 925$ cm,

$$D_{v(N)} = 7,95 \cdot \sqrt{1038+145} + 90 = 363 \text{ cm}; \quad D_{v(AZ)} = 7,95 \cdot \sqrt{1038} + 90 = 346 \text{ cm};$$

$$D_{\min,5} = (363+346)/2 = 355 \text{ cm}; \quad D_{\min.z,5} = 8,08 \cdot \sqrt{925} + 90 = 336 \text{ cm}.$$

Минималните потребни растојанија помеѓу спроводниците и јажињата во средината од распонот, за секој распон од посматраното затезно поле се прикажани во табелата 10.2.

10.3. ПРЕСМЕТУВАЊЕ НА ВИСТИНСКИТЕ РАСТОЈАНИЈА ПОМЕЃУ СПРОВОДНИЦИТЕ И ЈАЖИЊАТА ВО СРЕДИНАТА ОД РАСПОНОТ

За пресметување на вистинските растојанија помеѓу спроводниците и јажињата во средината од еден распон е потребно да бидат познати следните големини:

- димензиите на главата на соседните столбови;
- аглите на скршнување на трасата при аголно-затезните столбови;
- должините на изолаторските синцири L_{iz} и разликата на провесите $\Delta f_{40} = f_{40} - f_{40z}$.

Овие податоци се потребни за секој распон од затезното поле на далекуводот.

Од самите нацрти на главата на употребените столбови тип “S” и тип “A150” заклучуваме дека и за обата типа критично растојание помеѓу фазните спроводници е растојанието D_{AC} , додека критично растојание помеѓу заштитното јаже и спроводниците е растојанието D_{ZA} . Според тоа за контролата што ќе треба да ја извршиме ќе биде доволно ако ги пресметуваме само споменатите две растојанија. Вистинските растојанија помеѓу спроводниците и јажињата во средината од распонот се одредуваат, зависно од случајот, на веќе изнесените начин, со помош на една од претходно прикажаните формули. Пресметаните вредности за растојанијата D_{AC} и D_{ZA} , изразени во [cm], се прикажани во табелата 10.2.

Табела 10.2. Вистински растојанија и минимално потребни растојанија помеѓу спроводниците односно спроводниците и заштитното јаже во средината од распонот при $\theta = 40^\circ\text{C}$

Реден број	Распон [m]	Вистински растојанија [cm]		Минимално потребни растојанија [cm]	
		D_{AC}	D_{ZA}	D_{\min}	$D_{\min.z}$
1	280	417	597	316	297
2	350	378	637	376	349
3	345	378	633	373	345
4	333	378	626	364	337
5	332	417	629	355	336

11. СТАТИЧКА ПРОВЕРКА НА СТОЛБОВИТЕ

Во рамките на главниот проект на секој далекувод, меѓу другото, се врши и статичка проверка на столбовите, т.е. се проверува дали кај употребените столбови во одделните случаи на оптоварување, дефинирани со нашиот Правилник, ќе се јават сили што се поголеми од максимално дозволените сили, пропишани од страна на самиот производител. Дозволените сили, пак, производителот ги дава во табеларна форма, преку т.н. *табела на дозволени сили* на столбот. Тие случаи ние ќе ги обележуваме со следните букви: “A”, “B”, “C”, “D”, “E” и “F”

Статичката проверка на столбовите ја правиме преку формирање на т.н. “табели на сили” за секој столб од далекуводот. Таквите сили подоцна ги споредуваме со веќе познатите табели на дозволени сили за столбовите и врз основа на таа споредба оценуваме дали некој од столбовите ќе биде механички преоптоварен.

За илустрација на оваа постапка за механичка проверка, овде ќе се изврши статичка проверка за носечкиот столб бр. 4, кој има најголем гравитационен распон, како и проверка за првиот затезен столб бр. 1.

11.1. СТАТИЧКА ПРОВЕРКА НА НОСЕЧКИОТ СТОЛБ БР. 4

11.1.1. НОРМАЛНИ СЛУЧАИ НА ОПТОВАРУВАЊЕ (ЧЛЕН 68 ТОЧКА 1)

Случај “А” (кога дејствуваат само вертикални сили во состојбата со НЗДТ)

$$V_Z(A) = \bar{p} \cdot A \cdot a_{gr,4} + \bar{G}_{iz} = 6,408 \cdot 10^{-3} \cdot 282,5 \cdot 390,4 + 57,3 = 764 \text{ daN},$$

$$Z_Z(A) = \bar{p}_z \cdot A_z \cdot a_{gr,4} = 18,71 \cdot 10^{-3} \cdot 49,48 \cdot 390,4 = 367 \text{ daN}.$$

Случај “В” (кога дејствуваат вертикални сили за состојба без ЗДТ и ветрот со својот полн притисок, во насока на X–оската)

$$V_Z(B) = p \cdot A \cdot a_{gr,4} + G_{iz} = 3,426 \cdot 10^{-3} \cdot 282,5 \cdot 390,4 + 47,8 = 426 \text{ daN},$$

$$V_X(B) = P_V \cdot d \cdot a_{sr,4} = 75 \cdot 0,0219 \cdot 339 = 557 \text{ daN},$$

$$Z_Z(B) = p_z \cdot A_z \cdot a_{gr,4} = 7,8 \cdot 10^{-3} \cdot 49,48 \cdot 390,4 = 151 \text{ daN},$$

$$Z_X(B) = P_V \cdot d_z \cdot a_{sr,4} = 75 \cdot 0,009 \cdot 339 = 229 \text{ daN},$$

$$S_X = 2,6 \cdot P_V = 2,6 \cdot 75.$$

Случај “С” (кога дејствуваат вертикални сили за состојба без ЗДТ и ветрот со својот полн притисок, во насока на Y–оската)

$$V_Y(C) = 0,25 \cdot V_X(B) = 139 \text{ daN},$$

$$V_Z(C) = V_Z(B) = 426 \text{ daN},$$

$$Z_Y(C) = 0,25 \cdot Z_X(B) = 57 \text{ daN},$$

$$Z_Z(C) = Z_Z(B) = 151 \text{ daN},$$

$$S_Y = 2,6 \cdot P_V = 2,6 \cdot 75.$$

11.1.2. ИСКЛУЧИТЕЛНИ СЛУЧАИ НА ОПТОВАРУВАЊЕ (ЧЛЕН 69 ТОЧКА 1)

Случај “Е” (кога дејствуваат вертикалните сили во состојбата со НЗДТ и 50% од полната сила на затегање на еден од фазните спроводници односно заштитното јаже од едната страна на столбот)

а) случај “PP” (кога е прекинат еден од фазните спроводници)

$$V_Y(E) = 0,5 \cdot \sigma_M \cdot A = 1271 \text{ daN},$$

$$V_Z(E) = V_Z(A) = 764 \text{ daN},$$

б) случај “NP” (кога не е прекинат спроводникот, т.е. исто како во случајот “А”)

$$V_Z(E) = V_Z(A) = 764 \text{ daN},$$

$$Z_Z(E) = Z_Z(A) = 367 \text{ daN},$$

в) случај “PZ” (кога е прекинатото заштитното јаже)

$$Z_Y(E) = 0,5 \cdot \sigma_{Mz} \cdot A_z = 629 \text{ daN},$$

$$Z_Z(E) = Z_Z(A) = 367 \text{ daN},$$

д) случај “NZ” (непрекинатото заштитно јаже)

$$V_Z(E) = V_Z(A) = 764 \text{ daN}.$$

Врз основа на овие пресметки, формирана е табелата на сили за столбот бр.4. Таа е прикажана во наредната табела. Ако вредностите од оваа табела ги споредиме со табелата на дозволени сили за столбот тип “S”, дадена во Прилогот 7, ќе заклучиме дека столбот бр. 4 од типот “S” во потполност ќе задоволува во поглед на механичките оптоварувања што ќе се јавуваат на ова столбно место од посматраното затезно поле зашто ниту една од силите што се јавуваат кај него не ја надминува дозволената вредност зададена со табелата на дозволени сили.

На сличен начин се пресметуваат и табелите на сили за останатите носечки столбови.

ТАБЕЛА НА СИЛИ НА НОСЕЧКИОТ СТОЛБ БРОЈ 4

Тип на столбот:	“S”
Напрегање на спроводниците:	9,0 [daN/mm ²]
Напрегање на заштитното јаже:	26,0 [daN/mm ²]
Притисок на ветрот:	75 [daN/m ²]
Фактор на НЗДТ:	1,0
Среден распон:	339,0 [m]
Гравитационен распон:	390,4 [m]

Случај на оптоварување		Спроводник			Заштитно јаже			Столб	
		V_x	V_y	V_z	Z_x	Z_y	Z_z	S_x	S_y
		[daN]	[daN]	[daN]	[daN]	[daN]	[daN]	[daN/m ²]	[daN/m ²]
Член 68 точка 1	A	-	-	764	-	-	367	-	-
	B	557	-	426	229	-	151	2,6·75	-
	C	-	139	426	-	57	151	-	2,6·75
Член 69 точка 1 (случај E)	PP	-	1271	764	-	-	-	-	-
	NP	-	-	764	-	-	367	-	-
	PZ	-	-	-	-	-	367	-	-
	NZ	-	-	764	-	-	-	-	-

ТАБЕЛА НА ДОЗВОЛЕНИ СИЛИ НА НОСЕЧКИОТ СТОЛБ ТИП “S”

Случај на оптоварување		Спроводник			Заштитно јаже			Столб	
		V_x	V_y	V_z	Z_x	Z_y	Z_z	S_x	S_y
		[daN]	[daN]	[daN]	[daN]	[daN]	[daN]	[daN/m ²]	[daN/m ²]
Член 68 точка 1	A	-	-	1542	-	-	704	-	-
	B	575	-	882	237	-	290	2,6·75	-
	C	-	144	882	-	60	290	-	2,6·75
Член 69 точка 1 (случај E)	PP	-	1272	1542	-	-	-	-	-
	NP	-	-	1542	-	-	704	-	-
	PZ	-	-	-	-	-	704	-	-
	NZ	-	-	1542	-	-	-	-	-

11.2. СТАТИЧКА ПРОВЕРКА НА АГОЛНО-ЗАТЕЗНИОТ СТОЛБ БР. 1

Статичката проверка на аголно-затезните столбови се врши за нормалните случаи на оптоварување А, В и С, потоа за т.н. “монтажен случај” D, како и за случајот F, кој претставува исклучителен случај на оптоварување со прекинат проводник или со прекинато заштитно јаже. За да можеме да ги пресметаме сите потребни сили, неопходно е, меѓу другото, да ги знаеме и сите потребни податоци за претходниот распон лево од столбот бр. 1. Нив ги сметаме за познати и ги добиваме од решението (столбната листа) за претходното затезно поле за кое се претпоставува дека е веќе решено. Во конкретниов случај ќе претпоставиме дека во претходното затезно поле спроводниците и заштитното јаже, како и нивните напрегања, се исти со оние од разгледуваното затезно поле. Исто така ќе земеме дека распонот лево од столбот бр. 1 изнесува $a_{levo} = 300$ m и дека денивелацијата Δh во него изнесува $\Delta h_{levo} = 12$ m. На крајот ќе претпоставиме дека аголот на скршнување на трасата од водот на почетокот од затезното поле, кај AZ–столбот бр 1, изнесува $\varphi_0 = 24^\circ$.

Како што беше кажано во точката 7.2, вертикалните сили во случајот А ќе треба да се пресметуваат со помош на гравитациониот распон $a_{gr,1}$ пресметан за состојбата при $-5^\circ\text{C} + \text{НЗДТ}$, додека за случаите В и С со гравитациониот распон $\bar{a}_{gr,1}$, пресметан за состојбата при $+40^\circ\text{C}$. Кога теренот е релативно рамен, висинските разлики (денивелациите) Δh во одделните распони ќе бидат мали така што и овие два распона многу малку ќе се разликуваат еден во однос на друг. Поради тоа во таквите случаи, најчесто, при пресметките на вертикалните сили, се оперира со само еден гравитационен распон, пресметан за состојбата при $+40^\circ\text{C}$. Во случајов, од принципиелни причини, ќе работиме со соодветните гравитациони распони, иако тоа нема да се одрази врз резултатите од статичката проверка. За таа цел најнапред ќе ги пресметаме параметрите на синцирницата c_{40} и \bar{c}_{-5} за споменатите две состојби, а потоа и соодветните гравитациони распони.

– состојба при $+40^\circ\text{C}$: $\sigma_{40} = 4,55 \text{ daN/mm}^2$; $p = 3,426 \cdot 10^{-3} \text{ daN/m,mm}^2$; $c = \frac{\sigma_{40}}{p} = 1328 \text{ m}$;

$$a_{gr,1} = \frac{a_{levo} + a_1}{2} + c_{40} \cdot \left(\frac{\Delta h_{levo}}{a_{levo}} - \frac{\Delta h_1}{a_1} \right) = \frac{300 + 280}{2} + 1328 \cdot \left(\frac{12}{300} - \frac{-4,55}{280} \right) = 364,7 \text{ m};$$

– состојба при $-5^\circ\text{C} + \text{НЗДТ}$: $\bar{\sigma}_{-5} = 9 \text{ daN/mm}^2$; $\bar{p} = 6,408 \cdot 10^{-3} \text{ daN/m,mm}^2$; $\bar{c}_{-5} = \frac{\bar{\sigma}_M}{\bar{p}} = 1404,5 \text{ m}$;

$$\bar{a}_{gr,1} = \frac{a_{levo} + a_1}{2} + \bar{c}_{-5} \cdot \left(\frac{\Delta h_{levo}}{a_{levo}} - \frac{\Delta h_1}{a_1} \right) = \frac{300 + 280}{2} + 1404,5 \cdot \left(\frac{12}{300} - \frac{-4,55}{280} \right) = 369 \text{ m}.$$

Понатаму следува текот на пресметување на табелата на сили за овој столб.

11.2.1. НОРМАЛНИ СЛУЧАИ НА ОПТОВАРУВАЊЕ (ЧЛЕН 68 ТОЧКА 1)

Случај “А”

$$V_X(A) = 2 \cdot \sigma_M \cdot A \cdot \sin(\varphi_0 / 2) = 2 \cdot 9 \cdot 282,5 \cdot \sin(12) = 1057 \text{ daN} < 1317 \text{ daN};$$

$$V_Y(A) = 0;$$

$$V_Z(A) = \bar{p} \cdot A \cdot \bar{a}_{gr,1} + \bar{G}_{iz} = 6,408 \cdot 10^{-3} \cdot 282,5 \cdot 369 + 56,7 = 724,7 \text{ daN} < 1710 \text{ daN}$$

$$Z_X(A) = 2 \cdot \sigma_{Mz} \cdot A_z \cdot \sin(\varphi_0 / 2) = 2 \cdot 26 \cdot 49,48 \cdot \sin(12) = 535 \text{ daN} < 667 \text{ daN};$$

$$Z_Y(A) = 0;$$

$$Z_Z(A) = \bar{p}_z \cdot A_z \cdot \bar{a}_{gr,1} = 18,71 \cdot 10^{-3} \cdot 49,48 \cdot 369 = 341,6 \text{ daN} < 704 \text{ daN}$$

Случај “В”

$$V_X(B) = \frac{2}{3} \cdot \sigma_M \cdot A \cdot 2 \cdot \sin \frac{\varphi_0}{2} + P_V \cdot d \cdot a_{sr,1} = \frac{2}{3} \cdot 9 \cdot 282,5 \cdot 2 \cdot \sin(12) + 75 \cdot 0,0219 \cdot 290 = 1181 \text{ daN} < 1453 \text{ daN}$$

$$V_Y(B) = 0;$$

$$V_Z(B) = p \cdot A \cdot a_{gr,1} + G_{iz} = 3,426 \cdot 10^{-3} \cdot 282,5 \cdot 364,7 + 47,3 = 400,3 \text{ daN} < 1022 \text{ daN};$$

$$Z_X(B) = \frac{2}{3} \cdot \sigma_{Mz} \cdot A_z \cdot 2 \cdot \sin \frac{\varphi_0}{2} + P_V \cdot d_z \cdot a_{sr,1} = \frac{2}{3} \cdot 26 \cdot 49,48 \cdot 2 \cdot \sin(12) + 75 \cdot 0,009 \cdot 290 = 552,4 \text{ daN} < 682 \text{ daN}$$

$$Z_Y(B) = 0;$$

$$Z_Z(B) = p_z \cdot A_z \cdot a_{gr,1} = 7,8 \cdot 10^{-3} \cdot 49,48 \cdot 364,7 = 140,8 \text{ daN} < 290 \text{ daN} .$$

$$S_X = 2,6 \cdot P_V = 2,6 \cdot 75.$$

Случај “С”

$$k_r = \sin(\varphi_0 / 2); k_r \geq 0,25; k_r = \sin(12) = 0,208 \Rightarrow k_r = 0,25 ;$$

$$V_X(C) = \frac{2}{3} \cdot \sigma_M \cdot A \cdot 2 \sin \frac{\varphi_0}{2} = \frac{2}{3} \cdot 9 \cdot 282,5 \cdot 2 \cdot \sin(12) = 704,8 \text{ daN} < 878 \text{ daN} ;$$

$$V_Y(C) = k_r \cdot P_V \cdot d \cdot a_{sr,1} = 0,25 \cdot 75 \cdot 0,0219 \cdot 290 = 119,1 \text{ daN} < 144 \text{ daN} ;$$

$$V_Z(C) = V_Z(B) = 447,5 \text{ daN} < 1022 \text{ daN};$$

$$Z_X(C) = \frac{2}{3} \cdot \sigma_{Mz} \cdot A_z \cdot 2 \sin \frac{\varphi_0}{2} = \frac{2}{3} \cdot 26 \cdot 49,48 \cdot 2 \cdot \sin(12) = 356,6 \text{ daN} < 445 \text{ daN} ;$$

$$Z_Y(C) = k_r \cdot P_V \cdot d_z \cdot a_{sr,1} = 0,25 \cdot 75 \cdot 0,009 \cdot 290 = 49 \text{ daN} < 60 \text{ daN} ;$$

$$Z_Z(C) = Z_Z(B) = 140,8 \text{ daN} < 290 \text{ daN}.$$

$$S_Y = 2,6 \cdot P_V = 2,6 \cdot 75.$$

11.2.2. МОНТАЖЕН СЛУЧАЈ НА ОПТОВАРУВАЊЕ (ЧЛЕН 68 ТОЧКА 2)

Случај “D”

$$V_X(D) = \frac{2}{3} \cdot \sigma_M \cdot A \cdot \sin \frac{\varphi_0}{2} = \frac{2}{3} \cdot 9 \cdot 282,5 \cdot \sin(12) = 352,4 \text{ daN} < 439 \text{ daN} ;$$

$$V_Y(D) = \frac{2}{3} \cdot \sigma_M \cdot A \cdot \cos \frac{\varphi_0}{2} = \frac{2}{3} \cdot 9 \cdot 282,5 \cdot \cos(12) = 1658 \text{ daN} < 1695 \text{ daN} ;$$

$$V_Z(D) = V_Z(B) = 447,5 \text{ daN} < 1022 \text{ daN};$$

$$Z_X(D) = \frac{2}{3} \cdot \sigma_{Mz} \cdot A_z \cdot \sin \frac{\varphi_0}{2} = \frac{2}{3} \cdot 26 \cdot 49,48 \cdot \sin(12) = 178,3 \text{ daN} < 223 \text{ daN} ;$$

$$Z_Y(D) = \frac{2}{3} \cdot \sigma_{Mz} \cdot A_z \cdot \cos \frac{\varphi_0}{2} = \frac{2}{3} \cdot 26 \cdot 49,48 \cdot \cos(12) = 839 \text{ daN} < 858 \text{ daN} ;$$

$$Z_Z(D) = Z_Z(B) = 140,8 \text{ daN} < 290 \text{ daN}.$$

11.2.3. ИСКЛУЧИТЕЛНИ СЛУЧАИ НА ОПТОВАРУВАЊЕ (ЧЛЕН 69 ТОЧКА 2)

Случај “F”

a) случај “PP” (прекинат спроводник)

$$V_X(F) = \sigma_M \cdot A \cdot \sin(\varphi_0 / 2) = 9 \cdot 282,5 \cdot \sin(12) = 528,6 \text{ daN} < 659 \text{ daN} ;$$

$$V_Y(F) = \sigma_M \cdot A \cdot \cos(\varphi_0 / 2) = 9 \cdot 282,5 \cdot \cos(12) = 2487 \text{ daN} < 2543 \text{ daN} ;$$

$$V_Z(F) = V_Z(A) = 781,4 \text{ daN} < 1710 \text{ daN};$$

b) случај “NP” (непрекинат спроводник)

$$V_X(F) = V_X(A) = 1057,2 \text{ daN} < 1317 \text{ daN} ;$$

$$V_Y(F) = V_Y(A) = 0 ;$$

$$V_Z(F) = V_Z(A) = 781,4 \text{ daN} < 1710 \text{ daN};$$

$$Z_X(F) = Z_X(A) = 341,6 \text{ daN} < 704 \text{ daN} ;$$

$$Z_Y(F) = Z_Y(A) = 0 ;$$

$$Z_Z(F) = Z_Z(A) = 341,6 \text{ daN} < 704 \text{ daN}.$$

c) случај “PZ” (прекинатото заштитно јаже)

$$Z_X(F) = \sigma_{Mz} \cdot A_z \cdot \sin(\varphi_0 / 2) = 26 \cdot 49,48 \cdot \sin(12) = 267,5 \text{ daN} < 333 \text{ daN} ;$$

$$Z_Y(F) = \sigma_{Mz} \cdot A_z \cdot \cos(\varphi_0 / 2) = 26 \cdot 49,48 \cdot \cos(12) = 1258,4 \text{ daN} < 1287 \text{ daN} ;$$

$$Z_Z(F) = Z_Z(A) = 341,6 \text{ daN} < 704 \text{ daN}.$$

d) случај “NZ” (непрекинатото заштитно јаже)

$$V_X(F) = V_X(A) = 1057 \text{ daN} < 1370 \text{ daN} ; V_Z(F) = V_Z(A) = 781,4 \text{ daN} < 1710 \text{ daN} .$$

ТАБЕЛА НА СИЛИ НА АГОЛНО-ЗАТЕЗНИОТ СТОЛБ БРОЈ 1

Тип на столбот:	“A150”
Напрегање на спроводниците:	9,0 [daN/mm ²]
Напрегање на заштитното јаже:	26,0 [daN/mm ²]
Притисок на ветерот:	75 [daN/m ²]
Фактор на НЗДТ:	1,0
Среден распон:	290,0 [m]
Гравитационен распон:	364,7 [m]
Агол на скршување на трасата	24.0 [°]

Случај на оптоварување		Спроводник			Заштитно јаже			Столб	
		V_X	V_Y	V_Z	Z_X	Z_Y	Z_Z	S_x	S_y
		[daN]	[daN]	[daN]	[daN]	[daN]	[daN]	[daN/m ²]	[daN/m ²]
Член 68 точка 1	A	1057	–	781,4	535	–	341,6	–	–
	B	1181	–	447,5	552,4	–	140,8	2,6·75	–
	C	704,8	119,1	447,5	356,6	49	140,8	–	2,6·75
Член 68, т.2	D	352,4	1658	447,5	178,3	839	140,8	–	–
Член 69 точка 1	PP	528,6	2487	781,4	–	–	–	–	–
	NP	1057	–	781,4	535	–	341,6	–	–
	PZ	–	–	–	267,5	1258,4	341,6	–	–
	NZ	1057	–	781,4	–	–	–	–	–

ТАБЕЛА НА ДОЗВОЛЕНИ СИЛИ НА АГОЛНО-ЗАТЕЗНИОТ СТОЛБ ТИП “A150”

Случај на оптоварување		Спроводник			Заштитно јаже			Столб	
		V_X	V_Y	V_Z	Z_X	Z_Y	Z_Z	S_x	S_y
		[daN]	[daN]	[daN]	[daN]	[daN]	[daN]	[daN/m ²]	[daN/m ²]
Член 68 точка 1	A	1317	–	1710	667	–	704	–	–
	B	1453	–	1022	682	–	290	2,6·75	–
	C	878	144	1022	445	60	290	–	2,6·75
Член 68, т.2	D	439	1695	1022	223	858	290	–	–
Член 69 точка 1	PP	659	2543	1710	–	–	–	–	–
	NP	1317	–	1710	667	–	704	–	–
	PZ	–	–	–	333	1287	704	–	–
	NZ	1317	–	1710	–	–	–	–	–

Од приложеното се гледа дека ниту една од вистинските сили што се јавуваат кај столбот бр. 1 не ја надминува со својата дозволена вредност.

МОНТАЖНА ТАБЕЛА НА ПРОВЕСИ И НАПРЕГАЊА НА СПРОВОДНИЦИТЕ

Затезно поле бр. 1 помеѓу столбовите бр. 1 и бр. 6

Спроводници: јаже MKS N.C1.351-240/40-Al/Џ

Максимално работно напрегање: 9,0 [daN/mm²]

Фактор на НЗДТ: 1,0

Идеален распон: 330,8 [m]

Температура [° C]		-20	-10	0	10	20	30	40	-5+ НЗДТ	
Напрегање [daN/mm ²]		5,77	5,51	5,28	5,07	4,88	4,71	4,55	9,00	
Сила на затегање [daN]		1630	1557	1492	1432	1379	1331	1285	2543	
Провес [cm] во идеал. распон		812	851	888	925	961	996	1030	974	
Столб број	Распон <i>a</i> [m]	Висинска разлика [m]	Провеси во вистинските распони [cm]							
			-20	-10	0	10	20	30	40	-5+ НЗДТ
1 - 2	280	-4,55	582	610	636	663	689	714	738	698
2 - 3	350	-10,00	909	953	994	1035	1076	1115	1150	1090
3 - 4	345	14,65	883	926	966	1006	1045	1083	1121	1059
4 - 5	333	1,25	823	862	900	937	974	1009	1044	987
5 - 6	332	-1,35	818	857	894	932	968	1003	1037	981

МОНТАЖНА ТАБЕЛА НА ПРОВЕСИ И НАПРЕГАЊА НА ЗАШТИТНОТО ЈАЖЕ

Затезно поле бр. 1 помеѓу столбовите бр. 1 и бр. 6

Заштитно јаже: MKS.N.C1.702 Џ III-50

Максимално работно напрегање: 26,0 [daN/mm²]

Фактор на НЗДТ: 1,0

Идеален распон: 330,8 [m]

Температура [°C]		-20	-10	0	10	20	30	40	-5+НЗДТ	
Напрегање [daN/mm ²]		13,6	13,2	12,8	12,5	12,2	11,9	11,6	26,0	
Сила на затегање [daN]		671	653	635	619	603	588	574	1286	
Провес [cm] во ид. распон		786	809	831	853	876	897	919	984	
Столб број	Распон <i>a</i> [m]	Висинска разлика [m]	Провеси во вистинските распони [cm]							-5+НЗДТ
			-20	-10	0	10	20	30	40	
1 – 2	280	-4,55	563	580	595	611	628	643	658	705
2 – 3	350	-10,00	880	906	930	955	981	1004	1029	1002
3 – 4	345	14,65	855	880	904	928	953	976	1000	1070
4 – 5	333	1,25	796	820	842	864	888	909	931	997
5 – 6	332	-1,35	792	815	837	859	882	904	926	991

Програмска задача по предметот “НАДЗЕМНИ И КАБЕЛСКИ ВОДОВИ”

ПРОЕКТ НА ДАЛЕКУВОД

Студент: _____ индекс бр. _____

I. Да се изврши разместување и избор на изолацијата и на типот и височините на столбовите на прикажаниот дел од трасата, кој претставува едно затезно поле од еден _____ kV далекувод. Потоа да се направат потребните пресметки кои се составен дел од проектите на секој далекувод:

1. контрола на височината на спроводниците над тлото;
2. пресметка и контрола на вертикалното растојание над пресечните објекти;
3. контрола на распоните на столбовите (гравитационен, среден, електричен);
4. контрола на напрегањата во точките на обесувањето;
5. контрола на отклоните од вертикална положба на носечките изолаторски синџири;
6. контрола на растојанијата помеѓу јажињата во средината од распоните;
7. статичка проверка на столбовите;
8. пресметка на монтажните табели на спроводниците и заштитното јаже;
9. приказ на столбната листа на усвоеното решение;

II. Да се усвојат типски форми заземјувачи за ненаселено и за населено место како и да се извршат пресметки на потребните нивни димензии за специфични отпори на тлото $\rho_1=100 \Omega\text{m}$ и $\rho_2=300 \Omega\text{m}$. Отпорот на распортирање на заземјувачите да се пресметува за зададенаата струја на громот од I_0 . Тој наедно не смее да ја надминува вредноста $R_Z = 15 \Omega$.

Влезни податоци:

- Номинален напон на далекуводот _____ kV;
- Изолација: вериги со капести изолатори тип K170/280
- Столбови: а) челично–решетки, фамилија: _____ б) бетонски, фамилија: _____
- Спроводници: MKS. N.C1.351– _____ –A1 / Č ; – мах. работно напрегање: $\sigma_M =$ _____ daN/mm²
- Заштитно јаже: _____ ; – мах. работно напрегање: $\sigma_{Mz} =$ _____ daN/mm²
- Заштитно ниво на водот $I_0 =$ _____ kA.

Климатски услови:

- Притисок на ветрот $P_V =$ _____ daN/m²
- Фактор на нормален зимски додатен товар $k_n =$ _____ ($\Delta p = k_n \cdot 0,18 \cdot \sqrt{d} / A$)
- фактор на исклучителен зимски додатен товар $k_i =$ _____ ($\Delta \bar{p} = k_i \cdot \Delta p$)
- Температури: минимална: -20°C ; – максимална: $+40^\circ\text{C}$; – средногодишна: $+15^\circ\text{C}$

Податоци за теренот:

- Сигурносна висина $H_s =$ _____ m; – траса број _____ ;
- Почетен столб бр. 1: стациоњажа $X_1 =$ _____ m; агол на скршнување на трасата: $\alpha_1 =$ _____ °; висина $H_1 \geq$ _____ m,
- Краен столб: стациоњажа $X_n =$ _____ m; – агол на скршнување на трасата $\alpha_n =$ _____ °
- Распон лево од почетниот AZ–столб: $A_{levo} =$ _____ m. – гравитац. распон лево од поч. AZ–столб: $A_{grav,levo} =$ _____ m.

Пресечни објекти:

1. тип: _____ стациоњажа $X_1 =$ _____ m; ширина $\Delta x_1 =$ _____ m; висина $h_1 =$ _____ m;
2. тип: _____ стациоњажа $X_2 =$ _____ m; ширина $\Delta x_2 =$ _____ m; висина $h_2 =$ _____ m;
3. тип: _____ стациоњажа $X_3 =$ _____ m; ширина $\Delta x_3 =$ _____ m; висина $h_3 =$ _____ m;
4. тип: _____ стациоњажа $X_4 =$ _____ m; ширина $\Delta x_4 =$ _____ m; висина $h_4 =$ _____ m.

Скопје, ___ XII 2012 г.

Рок за предавање: 30.XII. 2013 г.

Задачата ја издал: _____

ТАБЕЛА НА СИЛИ НА НОСЕЧКИОТ СТОЛБ БРОЈ _____

Тип на столбот: _____

Напрегање на спроводниците: _____ [daN/m, mm²]

Напрегање на заштитното јаже: _____ [daN/m, mm²]

Притисок на ветерот: _____ [daN/m²]

Фактор на НЗДТ: _____

Среден распон: _____ [m]

Гравитационен распон: _____ [m]

Случај на оптоварување		Спроводник			Заштитно јаже			Столб	
		V_x	V_y	V_z	Z_x	Z_y	Z_z	S_x	S_y
		[daN]	[daN]	[daN]	[daN]	[daN]	[daN]	[daN/m ²]	[daN/m ²]
Член 68 точка 1	A	–	–		–	–		–	–
	B		–			–		2,6·	–
	C	–			–			–	2,6·
Член 69 точка 1	PP	–			–	–	–	–	–
	NP	–	–		–	–		–	–
	PZ	–	–	–	–			–	–
	NZ	–	–		–	–	–	–	–

ТАБЕЛА НА ДОЗВОЛЕНИ СИЛИ НА НОСЕЧКИОТ СТОЛБ ТИП _____

Случај на оптоварување		Спроводник			Заштитно јаже			Столб	
		V_x	V_y	V_z	Z_x	Z_y	Z_z	S_x	S_y
		[daN]	[daN]	[daN]	[daN]	[daN]	[daN]	[daN/m ²]	[daN/m ²]
Член 68 точка 1	A	–	–		–	–		–	–
	B		–			–		2,6·	–
	C	–			–			–	2,6·
Член 69 точка 1	PP	–			–	–	–	–	–
	NP	–	–		–	–		–	–
	PZ	–	–	–	–			–	–
	NZ	–	–		–	–	–	–	–

ТАБЕЛА НА СИЛИ НА АГОЛНО-ЗАТЕЗНИОТ СТОЛБ БРОЈ 1

Тип на столбот: _____

Напрегање на спроводниците: _____ [daN/m, mm²]

Напрегање на заштитното јаже: _____ [daN/m, mm²]

Притисок на ветрот: _____ [daN/m²]

Фактор на НЗДГ: _____

Среден распон: _____ [m]

Гравитационен распон: _____ [m]

Агол на скршнување на трасата _____ [°]

Случај на оптоварување		Спроводник			Заштитно јаже			Столб	
		V_X	V_Y	V_Z	Z_X	Z_Y	Z_Z	S_x	S_y
		[daN]	[daN]	[daN]	[daN]	[daN]	[daN]	[daN/m ²]	[daN/m ²]
Член 68 точка 1	A		–			–		–	–
	B		–			–		2,6·_____	–
	C							–	2,6·_____
Член 68, т.2	D							–	–
Член 69 точка 1	PP				–	–	–	–	–
	NP		–					–	–
	PZ	–	–	–				–	–
	NZ		–		–	–	–	–	–

ТАБЕЛА НА ДОЗВОЛЕНИ СИЛИ НА АГОЛНО-ЗАТЕЗНИОТ СТОЛБ ТИП _____

Случај на оптоварување		Спроводник			Заштитно јаже			Столб	
		V_X	V_Y	V_Z	Z_X	Z_Y	Z_Z	S_x	S_y
		[daN]	[daN]	[daN]	[daN]	[daN]	[daN]	[daN/m ²]	[daN/m ²]
Член 68 точка 1	A		–			–		–	–
	B		–			–		2,6·_____	–
	C							–	2,6·_____
Член 68, т.2	D							–	–
Член 69 точка 1	PP				–	–	–	–	–
	NP		–					–	–
	PZ	–	–	–				–	–
	NZ		–		–	–	–	–	–

П Р И Л О З И

1. Прилог 1. Карактеристики на јажињата според MKS.N.C1.351 и MKS.N.C1.702
2. Прилог 2. Карактеристики на изолаторски вериги за 35 kV и 110 kV водови
3. Прилог 3. Барања според Правилникот во поглед на сигурносните висини
4. Прилог 4. Табела со критични распони за некои типови спроводници и јажиња
5. Прилог 5. Табела со критични температури за некои типови спроводници и јажиња
6. Вредности на граничните распони за спроводниците и јажињата изработени според нашите стандарди
7. Прилог 4. Каталожки податоци за столбови од македонски производители
8. Правилник за техничките нормативи за изградба на надземни електроенергетски водови со номинален напон од 1 kV до 400 kV. Службен лист на СФРЈ, бр. 65/1988, (стр. 1618-1643).

Прилог 1. Табела. Карактеристики на јажињата според MKS.N.C1.351 и MKS.N.C1.702

Тип на јажето	E daN/mm ²	$\alpha \times 10^6$ 1/°C	A mm ²	d mm	M kg/km	$p \times 10^3$ daN/m · mm ²	$\bar{p} = p + \Delta p$ ($k_n = 1, 0$)	$\bar{p} = p + \Delta p$ ($k_n = 1, 6$)	$\bar{p} = p + \Delta p$ ($k_n = 2, 5$)	$\bar{p} = p + \Delta p$ ($k_n = 4, 0$)
Al/č 16/2,5	8.100	19,1	17,9	5,4	62	3,406	26,839	40,899	61,989	97,139
Al/č 25/4	8.100	19,1	27,8	6,8	97	3,422	20,306	30,437	45,632	70,959
Al/č 35/6	8.100	19,1	40,0	8,1	140	3,432	16,240	23,924	35,450	54,661
Al/č 50/8	8.100	19,1	56,3	9,6	195	3,397	13,303	19,246	28,162	43,021
Al/č 70/12	7.700	18,9	81,3	11,7	284	3,426	10,999	15,543	22,358	33,718
Al/č 95/15	7.700	18,9	109,8	13,6	382	3,412	9,390	12,977	18,358	27,326
Al/č 120/20	7.700	18,9	141,1	15,5	492	3,419	8,442	11,455	15,975	23,509
Al/č 150/25	7.700	18,9	173,1	17,1	601	3,405	7,705	10,285	14,155	20,605
Al/č 185/30	7.700	18,9	203,6	19,0	742	3,574	7,428	9,740	13,208	18,989
Al/č 210/35	7.700	18,9	243,2	20,3	845	3,407	6,742	8,743	11,744	16,746
Al/č 240/40	7.700	18,9	282,5	21,9	987	3,426	6,408	8,197	10,881	15,353
Al/č 360/57	7.700	18,9	417,5	26,6	1483	3,483	5,707	7,041	9,042	12,378
Al/č 490/65	7.000	19,3	553,9	30,6	1855	3,284	5,082	6,160	7,778	10,475
Al/č 170/40	8.200	17,8	211,9	18,9	790	3,656	7,349	9,565	12,888	18,428
Al/č 240/55	8.200	17,8	297,6	22,4	1107	3,648	6,510	8,228	10,804	15,098
Al/č 350/80	8.200	17,8	428,2	26,9	1585	3,630	5,810	7,118	9,081	12,351
Al/č 490/110	8.000	18,0	548,0	31,7	2221	3,975	5,824	6,934	8,598	11,372
Al/č 50/30	10.700	15,3	81,0	11,7	375	4,540	12,141	16,702	23,543	34,945
Al/č 95/55	10.700	15,3	152,8	16,0	708	4,544	9,256	12,083	16,324	23,392
Al/č 120/70	10.700	15,3	193,3	18,0	896	4,546	8,496	10,867	14,422	20,349
Al/č 75/80	10.700	15,3	153,7	16,1	828	5,283	9,982	12,801	17,031	24,079
č III 16	18.000	11,0	15,9	5,1	128	7,895	33,461	48,800	71,809	110,158
č III 25	18.000	11,0	24,2	6,3	195	7,902	26,571	37,773	54,575	82,579
č III 35	18.000	11,0	34,4	7,5	296	7,868	22,198	30,796	43,693	65,188
č III 50	18.000	11,0	49,5	9,0	397	7,865	18,774	25,320	35,138	51,501
č III 70	17.500	11,0	65,8	10,5	531	7,914	16,778	22,097	30,074	43,371
č III 95	17.500	11,0	93,2	12,5	752	7,913	14,741	18,838	24,983	35,226
E-АlMg1č 120/70	8.100	20,0	193,3	18,0	896	4,546	8,496	10,867	14,422	20,349
AWg 126,1	16.200	13,0	126,1	14,5	842	6,548	11,984	15,245	20,137	28,290

Прилог 2. Податоци за изолаторските синцири (вериги) за 110 и 35 kV водови

Табела 1 Карактеристики на 110 kV изолаторски вериги, тип “ЕМО”-Охрид

Ознака	Број на изолат. капи	1 мин. подн. напон, 50 Hz на дожд (kV)	поднослив ударен напон (kV)	Маса на изолаторската верига (kg)	Маса на изол. верига со мраз (kg)	Должина [m]
EN	6	261	536	47.76	57.31	1.45
ENP	7	299	618	54.33	65.20	1.62
DN	2x6	261	536	95.52	114.62	1.55
DNP	2x7	299	618	111.11	133.33	1.72
EZ	6	261	536	47.27	56.72	1.82
EZP	7	299	618	53.84	64.61	1.99
DZP	2x7	299	618	109.64	131.6	2.11

Легенда:

EN = единечна носечка, составена од 6 капести изолатори K170/280 (K3);

ENP = единечна носечка електрички појачана, составена од 7 капести изолатори K170/280 (K3);

DN = двојна носечка, механички појачана, составена од 2x6=12 капести изолатори K170/280 (K3);

DNP = двојна носечка, механички и електрички појачана, составена од 2x7=14 капести изолатори K170/280 (K3);

EZ = единечна затезна, составена од 6 капести изолатори K170/280 (K3);

EZP = единечна носечка електрички појачана, составена од 7 капести изолатори K170/280 (K3);

DZP = двојна затезна, механички и електрички појачана, составена од 2x7=14 капести изолатори K170/280 (K3);

Табела 2 Карактеристики на 35 kV изолаторски вериги, тип “ЕМО”-Охрид

Ознака	Број на изолат. капи	1 мин. подн. напон, 50 Hz на дожд (kV)	поднослив ударен напон (kV)	Маса на изолаторската верига (kg)	Маса на изол. верига со мраз (kg)	Должина (m)
EN	2	95	209	17.70	21,24	0.54
ENP	3	141	291	24.40	29.30	0.71
DN	2x2	141	291	35.40	42.48	0.64
DNP	2x3	141	291	52.30	62.76	0.84
EZ	2	95	209	17.70	21.24	0.77
EZP	3	141	291	24.40	29.30	0.94
DZP	2x3	141	291	54.30	62.76	1.23

Легенда:

EN = единечна носечка, составена од 2 капести изолатори K170/280 (K3);

ENP = единечна носечка електрички појачана, составена од 3 капести изолатори K170/280 (K3);

DN = двојна носечка, механички појачана, составена од 2x2=4 капести изолатори K170/280 (K3);

DNP = двојна носечка, механички и електрички појачана, составена од 2x3=6 капести изолатори K170/280 (K3);

EZ = единечна затезна, составена од 2 капести изолатори K170/280 (K3);

EZP = единечна носечка електрички појачана, составена од 3 капести изолатори K170/280 (K3);

DZP = двојна затезна, механички и електрички појачана, составена од 2x3=6 капести изолатори K170/280 (K3).

Прилог 3. Барања на Правилникот за градба на надземни електроенергетски водови во поглед на пресечните објекти

р.број	Ознака	Член	H_S	D_S	Изолац.	О п и с
/1/	/2/	/3/	/4/	/5/	/6/	/7/
1	ZGR	103	3.0	5	E	недостапни делови од зграда
2	ZZP	110	12.0	5	N	зграда со запаллив покрив
3	SPИ	113	12.0	12	EM	спротско игралиште
4	MGP	121	7.0	20	EM	магистрален пат
5	RGP	118	7.0	10	E	регионален пат
6	AVP	124	7.0	40	EM	автопат
7	PAR	136	7.0	5	EM	паркинг
8	VNV	152	2.5	1	E	ВН-вод
9	NNV	155	2.5	2	EM	НН-вод
10	TKV	161	3.0	2	EM	ТК-вод
11	GSV	187	8.0	8	EM	гасовод-надземен
12	NFV	187	8.0	8	EM	нафтовод-надземен
13	ZPE	218	12.0	15	EM	жел.пруга-електрифицирана
14	ZPN	219	7.0	10	EM	жел.пруга-неелектрифицирана

Легенда: /1/ реден број; /2/ Ознака (кратенка) за пресечниот објект; /3/ Член во Правилникот којшто го третира тој случај; /4/ Потребна сигурносна висина (m); /5/ Сигурносна оддалеченост (m); /6/ Потребна изолација (N=нормална изолација; E= електрично појачана; M=механички појачана; EM= појачана и механички и електрички); /7/ Опис на пресечниот објект.

**Прилог 4. ЗАВИСНОСТ НА ГОЛЕМИНАТА НА КРИТИЧНИОТ РАСПОН
ОД МАКСИМАЛНОТО РАБОТНО НАПРЕГАЊЕ σ_M И ОД ФАКТОРОТ НА НЗДТ k_n
ЗА НЕКОИ ПОЧЕСТО УПОТРЕБУВАНИ ТИПОВИ СПРОВОДНИЦИ И ЈАЖИЊА**

Спроводници тип: AL/Č 50/8											
σ_M daN/mm ²	5.0	5.5	6.0	6.5	7.0	7.5	8.0	8.5	9.0	9.5	10.0
$k_n = 1.0$	32.2	35.5	38.7	41.9	45.1	48.4	51.6	54.8	58.0	61.2	64.5
$k_n = 1.6$	21.9	24.1	26.3	28.5	30.6	32.8	35.0	37.2	39.4	41.6	43.8
$k_n = 2.5$	14.8	16.3	17.8	19.3	20.8	22.2	23.7	25.2	26.7	28.2	29.7
$k_n = 4.0$	9.7	10.6	11.6	12.6	13.5	14.5	15.5	16.4	17.4	18.4	19.3
Спроводници тип: AL/ Č 70/12											
σ_M daN/mm ²	5.0	5.5	6.0	6.5	7.0	7.5	8.0	8.5	9.0	9.5	10.0
$k_n = 1.0$	39.5	43.4	47.4	51.3	55.2	59.2	63.1	67.1	71.0	75.0	78.9
$k_n = 1.6$	27.2	29.9	32.6	35.4	38.1	40.8	43.5	46.2	49.0	51.7	54.4
$k_n = 2.5$	18.7	20.5	22.4	24.3	26.1	28.0	29.9	31.7	33.6	35.5	37.3
$k_n = 4.0$	12.3	13.5	14.8	16.0	17.2	18.4	19.7	20.9	22.1	23.4	24.6
Спроводници тип: AL/ Č 95/15											
σ_M daN/mm ²	5.0	5.5	6.0	6.5	7.0	7.5	8.0	8.5	9.0	9.5	10.0
$k_n = 1.0$	47.1	51.9	56.6	61.3	66.0	70.7	75.4	80.1	84.9	89.6	94.3
$k_n = 1.6$	32.9	36.2	39.5	42.8	46.1	49.4	52.7	56.0	59.3	62.6	65.9
$k_n = 2.5$	22.9	25.2	27.4	29.7	32.0	34.3	36.6	38.9	41.2	43.4	45.7
$k_n = 4.0$	15.2	16.7	18.3	19.8	21.3	22.8	24.3	25.9	27.4	28.9	30.4
Спроводници тип: AL/ Č 150/25											
σ_M daN/mm ²	5.0	5.5	6.0	6.5	7.0	7.5	8.0	8.5	9.0	9.5	10.0
$k_n = 1.0$	59.7	65.6	71.6	77.6	83.5	89.5	95.5	101.4	107.4	113.4	119.3
$k_n = 1.6$	42.5	46.7	51.0	55.2	59.5	63.7	68.0	72.2	76.5	80.7	85.0
$k_n = 2.5$	30.0	33.0	36.0	39.0	42.0	45.0	48.0	51.0	54.0	57.0	60.0
$k_n = 4.0$	20.3	22.3	24.4	26.4	28.4	30.4	32.5	34.5	36.5	38.6	40.6
Спроводници тип: AL/ Č 240/40											
σ_M daN/mm ²	5.0	5.5	6.0	6.5	7.0	7.5	8.0	8.5	9.0	9.5	10.0
$k_n = 1.0$	76.2	83.8	91.4	99.0	106.6	114.2	121.9	129.5	137.1	144.7	152.3
$k_n = 1.6$	55.4	60.9	66.5	72.0	77.5	83.1	88.6	94.2	99.7	105.2	110.8
$k_n = 2.5$	39.9	43.9	47.9	51.9	55.9	59.9	63.9	67.9	71.9	75.9	79.9
$k_n = 4.0$	27.6	30.3	33.1	35.8	38.6	41.3	44.1	46.8	49.6	52.4	55.1
Јаже тип: Č III 35											
σ_M daN/mm ²	17.0	18.0	19.0	20.0	21.0	22.0	23.0	24.0	25.0	26.0	27.0
$k_n = 1.0$	51.5	54.5	57.5	60.6	63.6	66.6	69.6	72.7	75.7	78.7	81.8
$k_n = 1.6$	35.9	38.0	40.1	42.2	44.3	46.4	48.6	50.7	52.8	54.9	57.0
$k_n = 2.5$	24.9	26.3	27.8	29.2	30.7	32.2	33.6	35.1	36.6	38.0	39.5
$k_n = 4.0$	16.5	17.5	18.5	19.4	20.4	21.4	22.3	23.3	24.3	25.3	26.2
Јаже тип: Č III 50											
σ_M daN/mm ²	17.0	18.0	19.0	20.0	21.0	22.0	23.0	24.0	25.0	26.0	27.0
$k_n = 1.0$	62.7	66.4	70.1	73.8	77.5	81.2	84.9	88.6	92.2	95.9	99.6
$k_n = 1.6$	44.4	47.0	49.7	52.3	54.9	57.5	60.1	62.7	65.3	68.0	70.6
$k_n = 2.5$	31.2	33.1	34.9	36.7	38.6	40.4	42.2	44.1	45.9	47.8	49.6
$k_n = 4.0$	21.0	22.2	23.5	24.7	26.0	27.2	28.4	29.7	30.9	32.1	33.4

**Прилог 5. ЗАВИСНОСТ НА ГОЛЕМИНАТА НА КРИТИЧНАТА ТЕМПЕРАТУРА
ОД МАКСИМАЛНОТО РАБОТНО НАПРЕГАЊЕ σ_M И ОД ФАКТОРОТ НА НЗДТ k_n
ЗА НЕКОИ ПОЧЕСТО УПОТРЕБУВАНИ ТИПОВИ СПРОВОДНИЦИ И ЈАЖИЊА**

Спроводници тип: AL/ Ć 50/8											
σ_M daN/mm ²	5.0	5.5	6.0	6.5	7.0	7.5	8.0	8.5	9.0	9.5	10.0
$k_n = 1.0$	19.1	21.5	23.9	26.3	28.7	31.1	33.5	35.9	38.3	40.7	43.1
$k_n = 1.6$	21.6	24.3	26.9	29.6	32.3	34.9	37.6	40.2	42.9	45.6	48.2
$k_n = 2.5$	23.4	26.3	29.1	31.9	34.8	37.6	40.5	43.3	46.2	49.0	51.8
$k_n = 4.0$	24.8	27.7	30.7	33.7	36.7	39.7	42.6	45.6	48.6	51.6	54.5
Спроводници тип: AL/ Ć 70/12											
σ_M daN/mm ²	5.0	5.5	6.0	6.5	7.0	7.5	8.0	8.5	9.0	9.5	10.0
$k_n = 1.0$	18.7	21.0	23.4	25.8	28.1	30.5	32.9	35.2	37.6	39.9	42.3
$k_n = 1.6$	21.8	24.5	27.1	29.8	32.5	35.2	37.9	40.5	43.2	45.9	48.6
$k_n = 2.5$	24.1	27.0	29.9	32.8	35.7	38.6	41.5	44.5	47.4	50.3	53.2
$k_n = 4.0$	25.9	29.0	32.0	35.1	38.2	41.3	44.4	47.5	50.6	53.6	56.7
Спроводници тип: AL/ Ć 95/15											
σ_M daN/mm ²	5.0	5.5	6.0	6.5	7.0	7.5	8.0	8.5	9.0	9.5	10.0
$k_n = 1.0$	16.9	19.1	21.2	23.4	25.6	27.8	30.0	32.2	34.4	36.6	38.7
$k_n = 1.6$	20.3	22.9	25.4	27.9	30.5	33.0	35.5	38.1	40.6	43.1	45.6
$k_n = 2.5$	23.0	25.8	28.6	31.4	34.2	37.0	39.8	42.6	45.3	48.1	50.9
$k_n = 4.0$	25.1	28.1	31.1	34.1	37.1	40.1	43.1	46.1	49.1	52.1	55.1
Спроводници тип: AL/ Ć 150/25											
σ_M daN/mm ²	5.0	5.5	6.0	6.5	7.0	7.5	8.0	8.5	9.0	9.5	10.0
$k_n = 1.0$	14.2	16.1	18.0	19.9	21.8	23.8	25.7	27.6	29.5	31.4	33.3
$k_n = 1.6$	18.0	20.3	22.6	24.9	27.2	29.5	31.8	34.1	36.4	38.7	41.0
$k_n = 2.5$	21.1	23.7	26.3	28.9	31.5	34.1	36.7	39.4	42.0	44.6	47.2
$k_n = 4.0$	23.7	26.5	29.4	32.3	35.2	38.0	40.9	43.8	46.6	49.5	52.4
Спроводници тип: AL/ Ć 240/40											
σ_M daN/mm ²	5.0	5.5	6.0	6.5	7.0	7.5	8.0	8.5	9.0	9.5	10.0
$k_n = 1.0$	11.0	12.6	14.2	15.8	17.4	19.0	20.6	22.2	23.8	25.4	27.0
$k_n = 1.6$	15.0	17.0	19.0	21.0	23.0	25.0	27.0	29.0	31.0	33.0	35.0
$k_n = 2.5$	18.5	20.9	23.2	25.6	28.0	30.3	32.7	35.0	37.4	39.7	42.1
$k_n = 4.0$	21.7	24.4	27.0	29.7	32.4	35.0	37.7	40.4	43.0	45.7	48.4
Јаже тип: Ć III 35											
σ_M daN/mm ²	17.0	18.0	19.0	20.0	21.0	22.0	23.0	24.0	25.0	26.0	27.0
$k_n = 1.0$	52.0	55.4	58.7	62.1	65.4	68.8	72.1	75.5	78.8	82.2	85.5
$k_n = 1.6$	60.7	64.6	68.5	72.4	76.2	80.1	84.0	87.8	91.7	95.6	99.4
$k_n = 2.5$	67.4	71.7	75.9	80.2	84.4	88.7	93.0	97.2	101.5	105.7	110.0
$k_n = 4.0$	72.7	77.2	81.8	86.4	90.9	95.5	100.1	104.6	109.2	113.8	118.3
Јаже тип: Ć III 50											
σ_M daN/mm ²	17.0	18.0	19.0	20.0	21.0	22.0	23.0	24.0	25.0	26.0	27.0
$k_n = 1.0$	46.3	49.3	52.4	55.4	58.4	61.4	64.4	67.4	70.5	73.5	76.5
$k_n = 1.6$	55.9	59.5	63.0	66.6	70.2	73.8	77.4	80.9	84.5	88.1	91.7
$k_n = 2.5$	63.5	67.6	71.6	75.6	79.7	83.7	87.7	91.8	95.8	99.8	103.9
$k_n = 4.0$	69.8	74.2	78.6	83.0	87.4	91.8	96.2	100.6	105.0	109.4	113.8

**Прилог 6. ВРЕДНОСТИ НА ГРАНИЧНИТЕ РАСПОНИ ЗА СПРОВОДНИЦИТЕ И ТИПСКИТЕ ЈАЖИЊА СПОРЕД МАКЕДОНСКИТЕ
MKS-СТАНДАРДИ ЗА РАЗНИ ВРЕДНОСТИ НА МАКСИМАЛНОТО РАБОТНО НАПРЕГАЊЕ И НА ФАКТОРОТ НА НЗДТ**

	$\sigma_M = 5.0 \text{ daN/mm}^2$				$\sigma_M = 6.0 \text{ daN/mm}^2$				$\sigma_M = 7.0 \text{ daN/mm}^2$				$\sigma_M = 8.0 \text{ daN/mm}^2$				$\sigma_M = 9.0 \text{ daN/mm}^2$				$\sigma_M = 10.0 \text{ daN/mm}^2$			
	$k_n = 1.0$	$k_n = 1.6$	$k_n = 2.5$	$k_n = 4.0$	$k_n = 1.0$	$k_n = 1.6$	$k_n = 2.5$	$k_n = 4.0$	$k_n = 1.0$	$k_n = 1.6$	$k_n = 2.5$	$k_n = 4.0$	$k_n = 1.0$	$k_n = 1.6$	$k_n = 2.5$	$k_n = 4.0$	$k_n = 1.0$	$k_n = 1.6$	$k_n = 2.5$	$k_n = 4.0$	$k_n = 1.0$	$k_n = 1.6$	$k_n = 2.5$	$k_n = 4.0$
AL/ Č 16/2,5	602	389	254	161	633	408	266	168	645	414	269	170	641	409	265	167	619	392	253	159	593	383	251	160
AL/ Č 25/4	808	528	348	221	851	554	364	231	871	565	370	234	869	560	365	231	844	539	349	220	803	519	342	219
AL/ Č 35/6	1026	679	451	289	1084	715	473	302	1113	730	481	307	1116	726	476	302	1090	703	458	289	1039	671	443	285
AL/ Č 50/8	1272	855	572	369	1348	901	601	387	1390	923	613	393	1398	921	608	388	1374	896	587	372	1317	853	563	364
AL/ Č 70/12	1570	1075	730	475	1669	1137	768	498	1728	1169	785	507	1749	1172	782	502	1730	1146	758	483	1673	1094	723	467
AL/ Č 95/15	1875	1308	899	591	1999	1386	948	621	2077	1430	972	633	2111	1440	972	629	2102	1416	946	607	2047	1360	901	582
AL/ Č 120/20	2118	1501	1044	692	2264	1594	1103	728	2359	1649	1133	744	2406	1666	1136	740	2406	1646	1110	716	2358	1588	1059	684
AL/ Č 150/25	2352	1691	1189	795	2520	1800	1259	838	2632	1866	1296	857	2693	1892	1303	855	2703	1876	1277	830	2661	1819	1223	790
AL/ Č 185/30	2476	1810	1288	870	2658	1930	1366	918	2784	2006	1410	941	2857	2040	1421	941	2878	2031	1399	916	2848	1980	1345	872
AL/ Č 210/35	2753	2033	1459	992	2959	2171	1549	1047	3104	2260	1602	1075	3191	2303	1617	1077	3223	2299	1596	1051	3198	2248	1538	1002
AL/ Č 240/40	2929	2191	1589	1089	3153	2344	1690	1152	3313	2445	1750	1185	3414	2496	1771	1188	3457	2500	1753	1163	3442	2454	1696	1111
AL/ Č 360/57	3386	2626	1963	1380	3660	2821	2096	1465	3863	2956	2181	1513	4001	3037	2221	1526	4078	3064	2216	1505	4093	3037	2165	1448
AL/ Č 490/65	3538	2781	2102	1492	3786	2952	2213	1557	3949	3051	2264	1575	4033	3080	2256	1546	4039	3039	2187	1471	3965	2926	2078	1478
AL/ Č 170/40	2657	1960	1407	956	2875	2110	1507	1019	3039	2217	1574	1059	3154	2284	1610	1077	3221	2312	1617	1072	3241	2301	1592	1045
AL/ Č 240/55	3007	2280	1672	1157	3255	2454	1790	1233	3442	2579	1869	1279	3574	2656	1911	1298	3651	2689	1917	1289	3677	2678	1885	1252
AL/ Č 350/80	3451	2700	2034	1441	3748	2916	2185	1539	3977	3075	2289	1602	4144	3182	2351	1632	4254	3239	2372	1630	4307	3246	2350	1595
AL/ Č 490/110	3519	2837	2197	1595	3832	3073	2367	1709	4078	3252	2490	1786	4264	3379	2568	1827	4393	3455	2604	1835	4469	3484	2598	1807
AL/ Č 50/30	1895	1340	931	617	2090	1474	1022	676	2254	1585	1097	724	2391	1677	1157	763	2505	1750	1205	792	2596	1807	1240	813
AL/ Č 95/55	2568	1905	1374	938	2840	2101	1511	1029	3074	2266	1625	1104	3273	2405	1719	1165	3440	2519	1795	1213	3580	2611	1854	1249
AL/ Č 120/70	2833	2143	1570	1086	3137	2366	1729	1193	3399	2555	1861	1281	3623	2715	1972	1353	3814	2848	2061	1410	3975	2956	2131	1453
AL/ Č 75/80	4589	3239	2224	1470	4534	3176	2188	1491	4461	3113	2207	1531	4376	3096	2263	1569	4294	3154	2320	1591	4276	3234	2361	1581
	$\sigma_{Mz} = 22.0 \text{ daN/mm}^2$				$\sigma_{Mz} = 23.0 \text{ daN/mm}^2$				$\sigma_{Mz} = 24.0 \text{ daN/mm}^2$				$\sigma_{Mz} = 25.0 \text{ daN/mm}^2$				$\sigma_{Mz} = 26.0 \text{ daN/mm}^2$				$\sigma_{Mz} = 27.0 \text{ daN/mm}^2$			
Č III 16	1999	1329	884	568	2022	1343	893	572	2042	1354	899	576	2058	1363	904	579	2071	1369	907	580	2080	1373	908	580
Č III 25	2587	1755	1183	766	2620	1774	1195	773	2648	1791	1204	778	2672	1804	1211	782	2692	1814	1217	785	2708	1821	1219	785
Č III 35	3160	2187	1494	977	3203	2213	1510	987	3241	2235	1523	994	3275	2254	1534	1000	3303	2269	1541	1003	3326	2280	1546	1005
Č III 50	3840	2723	1893	1255	3897	2758	1915	1267	3948	2789	1933	1277	3993	2815	1948	1285	4032	2837	1959	1291	4066	2854	1968	1294
Č III 70	4395	3183	2249	1509	4463	3227	2276	1525	4526	3266	2300	1538	4581	3299	2319	1549	4631	3328	2335	1556	4674	3352	2347	1561
Č III 95	5141	3831	2767	1890	5227	3887	2804	1911	5305	3938	2835	1930	5376	3983	2862	1945	5440	4022	2885	1956	5497	4056	2903	1964
E-AlMg1 Č 120/70	4047	3082	2236	1460	4165	3148	2198	1339	4280	3152	1986	1355	4355	2998	2010	1371	4348	2823	2032	1385	4138	2854	2054	1397