

Course name: Electrical Safety for Electrical Engineers.

Week 3: Factors Affecting the Impact of Electric Current on the Human Body

Abdulloev Bakhtiyor Tolibjonovich

Номи курс: Бехатарии электрикӣ барои муҳандис электрикҳо: Ҳафтаи 3.

Омилҳое, ки ба таъсири ҷараёни барқ ба бадани инсон таъсир мерасонанд

Ҳатари таъсири ҷараёни барқ ба организми инсон асосан аз андоза ва давомнокии таъсири ҷараёне, ки тавассути бадани инсон мегузарад, вобаста аст; аз роҳи гузариши ҷараён дар бадани инсон; аз навъ ва басомади ҷараён; аз ҳолати организм ва хусусиятҳои физиологии инсон; аз муқовимати бадани инсон; аз хусусиятҳои шабакаи барқӣ, яъне режими кори нейтралӣ он; аз омилҳои хушёрӣ ва диққати баланди инсон; инчунин аз омилҳои муҳити атроф.

Қимати ҷараён. Вобаста ба оқибатҳои таъсири ҷараён ба организми инсон чунин намудҳо фарқ карда мешаванд:

- **ҷараёни ҳисшаванда** — хурдтарин қимати ҷараён, ки инсон онро ҳис мекунад (тибқи таҷрибаҳо барои одамони гуногун ин ҷараён дар ҳудуди 0,5–2 мА барои ҷараёни тағйирёбандаи басомади 50 Гц ва 5–7 мА барои ҷараёни доимӣ қарор дорад);
- **ҷараёни раҳишаванда** — калонтарин қимати ҷараён, ки дар он инсон қобилияти мустақилона раҳо шудан аз тамос бо қисмҳои зерӣ шиддатро нигоҳ медорад (ин ҷараён то 6–10 мА барои 50 Гц ва 30–40 мА барои ҷараёни доимӣ мебошад);
- **ҷараёни раҳишнашаванда** — хурдтарин қимати ҷараён, ки дар он инсон қобилияти мустақилона раҳо шудан аз таъсири ҷараёни барқро аз даст медиҳад; қимати он барои басомади 50 Гц 11–15 мА ва барои ҷараёни доимӣ 50–80 мА мебошад, ва ин ҷараён боиси кашишхӯрии мушакҳои даст мегардад, ки ноқили барқро нигоҳ медорад;
- **ҷараёни фибриллятсионӣ** — ҷараёнест, ки дар он фибриллятсияи дил ба амал омада, нафаскашӣ қатъ мегардад.

Фибриллятсияи дил — ин кашишхӯрии бетартибона ва худҷӯш (аритмиявӣ)-и нахҳои мушаки дил (фибрилҳо) мебошад, ки дар натиҷаи он дил қобилияти тела додани хун ба артерияҳо ва рағҳоро аз даст медиҳад. Фибриллятсия ҳангоми ҷараёни зиёда аз 50 мА бо басомади 50 Гц ва давомнокии таъсири 2–3 дақиқа ба амал меояд.

Ҳангоми фибриллятсияи дил нафаскашӣ метавонад боз 2–3 дақиқа идома ёбад, аммо азбаски ҳамзамон бо гардиши хун таъминшавии организм бо оксиген қатъ мегардад, ҳолати умумии инсон зуд ва шадидан бад мешавад ва нафаскашӣ низ қатъ мегардад. Фибриллятсия муддати кӯтоҳ идома ёфта, бо пурра боздоштани кори дил анҷом меёбад. Дар натиҷа марги клиникӣ фаро мерасад.

Ҳангоми ҷараёни 20–25 мА бо басомади 50 Гц инсон душворию нафаскашӣ эҳсос мекунад, ки он аз сабаби кашишхӯрии судоргаи мушакҳои қафаси сина, ки ба таъсири ҷараён дучор шудаанд, ба вучуд меояд. Дар ҳолати давомнокии тӯлонии ҷараён дар инсон **асфиксия** (хунукнафасӣ) ба амал меояд — ҳолате, ки аз норасоии оксиген ва чамъшавии гази карбон (CO_2) дар организм ба вучуд омада, боиси аз даст рафтани ҳассосият, қатъ шудани нафаскашӣ, боздоштани кори дил ё фибриллятсияи он мегардад, яъне марги клиникӣ фаро мерасад.

Ҳадди болоии ҷараёни фибриллятсионӣ қимати ҷараён ба андозаи 5 А ҳисобида мешавад. Ҳангоми чунин ва аз он зиёдтар қиматҳои ҷараён кашишхӯрии шадиди мушаки дил ба амал омада, дил бидуни гузаштан аз марҳилаи фибриллятсия бозмемонад. Давомнокии таъсири ҷараёни барқ ба организми инсон аҳамияти калон дорад, зеро зери таъсири ҷараён муқовимати бадани инсон ба таври назаррас коҳиш меёбад. Вобастагии қимати ҷараёни кӯтоҳмуддати бехатари тағйирёбанда (*I*_{к.б.}) аз давомнокии таъсири он метавонад дар наздикшавии аввал бо ифодае муайян карда шавад, ки онро Дальзиел [1] дар асоси таҷрибаҳои сершумори гузаронидаи худ пешниҳод намудааст.

$$I_{\text{к.б.}} = \frac{0,165}{\sqrt{t}}, \text{ А}, \quad (1)$$

ки дар он (*t*) — давомнокии таъсири ҷараён, сония мебошад.

Тибқи маълумоти Дальзиел, ин формула барои ҷараёнҳои зиёда аз 40–50 мА ва давомнокии таъсир дар ҳудуди аз 0,03 то 3 сония дуруст мебошад.

Бояд қайд кард, ки таҷрибаҳои Дальзиел ба қиматҳои ҷараёне дахлдоранд, ки аз нигоҳи фибриллятсия (яъне таъсири мустақими ҷараён ба мушаки дил) бехатар ҳисобида мешаванд. Аммо оқибати марговар дар натиҷаи қатъ гардидани нафаскашӣ ё шоки рефлекторӣ метавонад ҳатто ҳангоми қиматҳои хурдтари ҷараён низ ба амал ояд.

Комиссияи махсус, ки аз ҷониби Раёсати марказии ҷамъияти муҳандисӣ-техникии энергетикҳо таъсис дода шудааст, дар асоси ҷамъбасти тадқиқотҳои ватанӣ ва хориҷӣ пешниҳод намуд, ки қиматҳои ниҳоии иҷозатдодашудаи ҷараён барои инсон вобаста ба давомнокии таъсири онҳо муайян карда шаванд. Ин қиматҳо дар ҷадвали 1 оварда шудаанд ва ба стандарти ГОСТ 12.1.038-82 (бо тағйирот аз 01.07.88) ворид гардидаанд.

Ҷадвали 1

Ҷараёнҳои ниҳоии иҷозатдодашуда барои инсон.

Вақти ҷараёнгузарӣ, с	Қимати иҷозатдодашудаи ҷараён, А	Муқовимати бадани инсон, Ом	Шиддати ламс, В
0,2	250	700	175
0,5	100	1000	100
0,7	75	1065	80
1,0	65	1150	75
30	6	3000	18
зиёда аз 30	1	6000	6

Дар ҷадвал қиматҳои мувофиқи муқовимати ҳисобии бадани инсон ва шиддати ламс, ки ба ин ҷараёнҳо мувофиқанд, оварда шудаанд.

Роҳи гузариши ҷараён

Тадқиқотҳои таҷрибавӣ ва озмоишӣ нишон медиҳанд, ки агар дар роҳи гузариши ҷараён тавассути бадани инсон узвҳои ҳаётан муҳим, ба монанди дил, шуш ва майнаи сар қарор гиранд, шиддати осеби барқӣ ба таври назаррас зиёд мешавад. Агар ҷараён аз роҳҳои дигар гузарад, таъсири он ба узвҳои ҳаётан муҳим танҳо хусусияти рефлекторӣ дошта, таъсири мустақим надорад. Роҳҳои эҳтимолии гузариши ҷараён тавассути бадани инсон бисёранд. Омори маълумотҳо нишон медиҳад, ки бештар ҳолатҳои бо оқибатҳои вазнин ва марговар ҳангоми гузариши ҷараён аз роҳҳои зерин ба амал меоянд: «даст-даст» (40% ҳолатҳо), «дасти рост – пой» (20% ҳолатҳо), «дасти чап – пой» (17% ҳолатҳо), «пой-пой» (6% ҳолатҳо) [2].

Навъи ҷараён. Меъёрҳо ва қоидаҳои амалкунандаи электротехникӣ дар айни замон аз нуқтаи назари хавф ҷараёни доимӣ ва тағйирёбандаро ҷудо намеkunанд, ҳарчанд қиматҳои ҳаддии ҷараёни раҳоинашаванда равшан нишон медиҳанд, ки ҷараёни доимӣ нисбат ба ҷараёни тағйирёбанда камтар хатарнок аст. Як қатор муҳаққиқон [3,4] инро пеш аз ҳама бо он шарҳ медиҳанд, ки бинобар мавҷуд будани ҷузъи зарфиятӣ дар муқовимати бадани

инсон, зиёдшавии басомад бо кам шудани муқовимати умумӣ (импеданс) ҳамроҳ шуда, дар натиҷа ҷараён зиёд мегардад.

Басомади ҷараён. Дар асоси маълумоти таҷрибавӣ муайян шудааст, ки ҷараёни барқии басомади саноатии 50 Гц барои инсон аз ҳама хатарнок мебошад. Афзоиши басомади ҷараён то 2000–2500 Гц ба коҳиш ёфтани таъсири хатарнок ба организми инсон таъсири кам мерасонад. Афзоиши минбаъдаи басомад бо кам шудани хавфи осеб дидани инсон ҳамроҳ мешавад (зеро он ба қатъ гардидани кори дил ва дигар узвҳои ҳаётан муҳим оварда намерасонад). Аммо чунин ҷараёнҳо ҳангоми гузаштан бевосита аз бадани инсон хатари сӯхтагиро нигоҳ медоранд. Қиммати ҷараёни фибриллятсионӣ дар басомадҳои 50–100 Гц қариб якхела аст, ҳангоми зиёд шудани басомад то 200 Гц он қариб 2 баробар зиёд мегардад, ва дар басомадҳои 400–500 Гц — зиёда аз 3 баробар. Ҷараёнҳое, ки дар тиб барои гармкунии амиқ (диатермия) бо басомади садҳо килогерц истифода мешаванд, новобаста аз он ки қимати онҳо то 1 А ва бештар мерасад, бехатар ҳисобида мешаванд.

Ҳолати организм ва хусусиятҳои физиологии инсон.

Таъсири ҷараёни барқ ба организми инсон то андозае аз таркиби химиявии хун, миқдори моддаҳои гузаронандаи ишқорҳо ва кислотаҳо, аз ҳолати равонии инсон ва як қатор омилҳои дигар вобаста аст. Дар ҳолати бедорӣ ё ҳангоми диққати баланд таъсири зараровари ҷараён камтар мешавад. Дар ҳолати мастӣ ё ҳангоми ногаҳон дучор шудан ба ҷараён, таъсири он хатарноктар мегардад. Ба таъсири ҷараёни барқ махсусан он нафароне ҳассос мебошанд, ки бемориҳои пӯст, системаи дилу рағҳо, узвҳои нафаскашӣ ва ғадудҳои дарунӣ доранд.

Сатҳи таҳассус ва таҷриба, инчунин диққати баланд ва масъулият барои амалҳои худ имкон медиҳанд, ки хатари осеб дидани инсон аз ҷараёни барқ кам карда шавад.

Муқовимати бадани инсон аз омилҳои зиёд вобаста аст: аз ҷои тамос, андозаи сатҳи тамос, ҳолати пӯст (ғафсии қабати рӯякӣ), намнокӣ, ифлосшавӣ, қимати шиддати татбиқшуда ва ҷараёни гузашта. Зери таъсири ин омилҳо муқовимати бадани инсон, ки хусусияти ғайрихаттӣ дорад, метавонад хеле тағйир ёбад.

Ҳангоми шиддати то 20–30 В муқовимати бадани инсон қариб тағйир намеёбад. Бо зиёд шудани шиддат дар ҳудуди 30 то 250 В муқовимати бадан

ба таври шадид кам мешавад. Ин бо он шарҳ дода мешавад, ки ғайр аз гармшавӣ ва тағйироти электрикӣ, дар шиддати тақрибан 250 В «шикасти барқии» пӯст ба амал меояд, ки дар натиҷа тамос бо бофтаҳои хуб гузаронандаи бадан ба вучуд меояд. Дар ин ҳолат муқовимат метавонад аз даҳҳо ва садҳо ҳазор Ом то 1000 Ом ва ҳатто камтар коҳиш ёбад.

Ҳангоми шиддати тақрибан 250 В ва бештар, қимати муқовимати бадани инсон дигар аз ҳолати пӯст ва дараҷаи намнокии он кам вобаста мешавад. Дар ҳисобҳои амалӣ муқовимати бадани инсон одатан баробар ба 1000 Ом қабул карда мешавад.

Режими нейтралӣ шабакаи барқӣ — яке аз хусусиятҳои он мебошад, ки ба дараҷаи зиёд таъсири ҷараёни барқро ба организми инсон муайян мекунад. Аммо новобаста аз режими нейтралӣ, аз ҳама хатарнок аз нуқтаи назари осеб دیدани инсон аз ҷараёни барқ ҳолатест, ки инсон ҳамзамон ба қисмҳои ҷараёнгузари ду фазаи шабака ламс мекунад (расми 1).

Расми 1. Занҷири ҷараён дар ҳолати ламс кардани инсон ба ду фазаи шабакаи барқӣ.

Қимати ҷараёне, ки дар ин ҳолат тавассути бадани инсон мегузарад, максималӣ хоҳад буд:

$$I_{\text{ч}} = \frac{U_{\text{л}}}{R_{\text{ч}}}, \quad (2)$$

ки дар он ($U_{\text{л}}$) — шиддати ҳаттии (линейии) шабака; ($R_{\text{ч}}$) — муқовимати бадани инсон.

Ҳолати бештар вохӯрдашаванда ин ламс кардани инсон, ки бар рӯи замин истодааст, ба яке аз фазҳои шабака мебошад. Қимати ҷараёне, ки дар ин ҳолат тавассути инсон мегузарад, ва ҳамин тавр дараҷаи хавфи осеб دیدан аз ҷараён, дар шароити баробар аз он вобаста аст, ки нейтралӣ шабакаи барқӣ заминваслшуда аст ё оиқшуда.

Нейтралӣ оиқшуда — ин нейтрал (нуқтаи сифрии) трансформатор ё генератор мебошад, ки аз замин ҷудо карда шудааст ё тавассути таҷҳизоти ҷуброни ҷараёнҳои зарфиятии шабака, ки муқовимати фаъоли калон дорад, ба дастгоҳи заминвасла пайваст шудааст. Ламс кардани яке аз фазҳои чунин шабака ба гузариши ҷараён тавассути бадани инсон намеорад ва аз ин рӯ,

шабакаҳои дорой нейтралӣ оиқшуда аз нуқтаи назари осеби инсон аз ҷараёни барқ камтар хатарнок мебошанд, ба шарте ки ин шабака дорой зарфияти хеле кам нисбат ба замин бошад (расми 2).

Расми 2. Занҷири ҷараён дар ҳолати ламс кардан ба шабака бо нейтралӣ оиқшуда (ҳангоми ($c = 0$)).

Одатан шабакаҳои дорой нейтралӣ оиқшуда, махсусан шабакаҳои кабелӣ бо дарозии калон, зарфияти нисбатан назарраси ноқилҳои фаза нисбат ба замин доранд, ки ин ба таври ҷиддӣ хатари осеб дидани инсонро аз ҷараёни барқ дар чунин шабакаҳо зиёд мекунад (расми 3).

Расми 3. Схемаи шабакаи барқӣ бо нейтралӣ оиқшуда ҳангоми мавҷуд будани зарфият.

Дар наздикшавии аввал ва барои содда кардани таҳлил, муқовиматҳои фаъоли оиқ фазаҳоро беохир калон қабул намуда, онҳоро аз таҳлил хориҷ мекунем.

Муқовимати зарфиятии ноқили фаза ҳангоми ($C_A = C_B = C_C = 1$) мкФ:

$$X_C = \frac{1}{\omega C} = \frac{1}{314 \cdot 1 \cdot 10^{-6}} = 3184,7 \text{ Ом}, \quad (3)$$

ки дар он ($\omega = 2\pi f$) — басомади кунҷӣ мебошад.

Пас, қиммати ҷараёне, ки тавассути бадани инсон дар шабака бо шиддати фаза 220 В ва муқовимати бадани инсон 1 кОм мегузарад, баробар аст:

$$I = \frac{U_\phi}{\sqrt{(R_q)^2 + (X_C/3)^2}} = \frac{220}{\sqrt{(10^3)^2 + 3184,7^2}} \approx 0,15 \text{ А}, \quad (4)$$

ки ин хеле хатарнок мебошад.

Дар шабакаҳое, ки нейтралашон сахт ба замин пайваст (глухозаземлённая) аст, ки дар онҳо нуқтаи сифрии трансформатор ё генератор бевосита ба дастгоҳи заминвасла пайваст шудааст, ҳар гуна ламс кардани инсон ба ноқилҳои фазаи шабака боис мегардад, ки инсон зери шиддати фаза қарор гирад. Дар ин ҳолат ҷараёне, ки тавассути бадани инсон мегузарад:

$$I = \frac{U_\phi}{R_q} = \frac{220}{1000} = 0,22 \text{ А}, \quad (5)$$

ки ба таври равшан аз қиматҳои иҷозатдодашудаи беҳатар зиёд мебошад.

Нейтралҳои ноқилҳои шабакаҳои сефазаи чорноқила бо ҷараёни тағйирёбанда ва шиддатҳои 220/127 В, 380/220 В, инчунин яке аз кутбҳои ҷараёни доимӣ бо шиддати то 440 В ба таври мустақим заминвасл карда мешаванд. Нейтралҳои дастгоҳҳо бо шиддатҳои 3, 6, 10, 20 ва 35 кВ заминвасл карда намешаванд ё тавассути дастгоҳи ҷубронкунанда заминвасл мешаванд.

Хулосаи лексия

Ҷараёни барқ яке аз омилҳои аз ҳама хатарнок барои ҳаёт ва саломатии инсон мебошад, зеро таъсири он аз масофа тавассути узвҳои ҳиссӣ дарк намешавад ва метавонад ба оқибатҳои вазнин то марг оварда расонад. Хатари осеб дидан аз ҷараёни барқ бо як қатор омилҳо муайян карда мешавад: қимат ва давомнокии ҷараён, роҳи гузариши он тавассути бадани инсон, навъ ва басомади ҷараён, ҳолати организм, муқовимати бадан, шароити муҳити атроф, инчунин режими қори шабакаи барқӣ. Аз ҳама хатарнок ҷараёнҳои басомади саноатӣ (50 Гц) мебошанд, зеро онҳо метавонанд фибриллятсияи дил ва вайроншавии нафаскаширо ба вуҷуд оранд.

Вобаста ба қимати ҷараён, ҷараёнҳои ҳисшаванда, раҳоинашаванда ва фибриллятсионӣ фарқ карда мешаванд. Ҳатто қиматҳои нисбатан хурди ҷараён метавонанд боиси вайроншавиҳои ҷиддии фаъолияти организм гарданд, махсусан ҳангоми таъсири дарозмуддат. Дар ин маврид муқовимати бадани инсон аҳамияти калон дорад, ки метавонад ҳангоми зиёд шудани шиддат ё бад шудани ҳолати пӯст ба таври назаррас коҳиш ёбад. Аҳамияти муҳим инчунин роҳи гузариши ҷараён дорад: ҳолатҳое, ки ҷараён аз узвҳои ҳаётан муҳим (дил, шуш, майнаи сар) мегузарад, аз ҳама хатарнок мебошанд. Вазъияти аз ҳама хавфнок — ламс кардани ҳамзамонаи ду фазаи шабака мебошад. Режими нейтралӣ шабакаи барқӣ низ ба дараҷаи хатар таъсир мерасонад. Дар шабакаҳои дорои нейтралӣ саҳт заминваслшуда, инсон зери таъсири шиддати пурраи фаза қарор мегирад, ки ин ҷараёнро тавассути бадан зиёд мекунад. Дар шабакаҳои дорои нейтралӣ оиқшуда хавф камтар аст, аммо ҳангоми мавҷуд будани зарфияти фазҳо нисбат ба замин хавфи осеб зиёд мешавад.

Давомнокии таъсири ҷараён омили ҳалқунанда мебошад: бо зиёд шудани вақт эҳтимолияти оқибатҳои вазнин якбора меафзояд. Ба таври

таҷрибавӣ муайян шудааст, ки қиммати бехатари ҷараён ба решаи квадратии вақти таъсири он баръакс мутаносиб аст.

Ҳамин тариқ, таъмини бехатарии барқӣ муносибати маҷмӯиро талаб мекунад, ки тадбирҳои техникӣ (заминвасла, оиқ, дастгоҳҳои муҳофизатӣ), риояи қоидаҳои истифодаи таҷҳизоти барқӣ, инчунин баланд бардоштани сатҳи таҳассус ва диққати кормандонро дар бар мегирад. Танҳо яққоя намудани ин чораҳо имкон медиҳад, ки хатари осеб дидан аз ҷараёни барқ ба ҳадди, ақал расонида шавад.

Адабиёт

1. Шкрабак В.С., Луковников А.В. Бехатарии ҳаёт дар истеҳсолоти кишоварзӣ. Москва: КолосС, 2004.
2. Р.Т. Абдуллозода, Б.Т. Абдуллоев
Асосҳои бехатарии электрикӣ: дастури методӣ барои машғулиятҳои озмоишӣ, Қисми 1. – ДТТ ба номи академик М.С. Осимӣ, 2021. – 89 с.
3. АСОСҲОИ БЕХАТАРИИ ЭЛЕКТРИКӢ, Р.Т. Абдуллозода, н.и.т., дотсент Д.Д. Давлатшоев, н.и.т. Ш.С. Саъдуллозода, н.и.т. Қ.Б. Раҳимов, И.Т. Абдуллоев Сидоров, А.И., Окраинская, И.С., Глотова, Н.В. Асосҳои бехатарии электрикӣ: Тарҷума аз забони русӣ. – Душанбе: ҚДММ “Истиқлол-2019”, 2019. – 48 с.
4. Овчаренко А.Г., Раско С.Л. Бехатарии барқ ҳангоми истифодаи иншооти электрикӣ. Дастури таълимӣ. Донишгоҳи техникии давлатии Олтой ВТИ, Бийск, 2008. - 111 саҳифа.
5. Монахов А.Ф. Тадбирҳои бехатарии электрикӣ дар иншооти электрикӣ: Китоби дарсӣ барои курсҳои тақмили ихтисос ва барои истифода аз ҷониби донишҷӯёни ихтисоси муҳандисии электрикӣ дар донишгоҳҳо пешбинӣ шудааст. Нашр шудааст соли 2008. – 152 саҳифа.
6. <https://studfile.net/preview/1839289/page:3/>