

К ВОПРОСУ ВЫБОРА ПАРАМЕТРОВ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНОЙ СЕТИ

Г. Х. ПОБУЛЬ,

кандидат технических наук

В деле электрификации сельского хозяйства СССР одна из важнейших задач состоит в дальнейшем увеличении глубины электрификации, в расширении применения электроэнергии в сельскохозяйственном производстве.

В связи с этим в ближайшие годы необходимо построить многие десятки тысяч километров новых, а также произвести реконструкцию уже существующих электрических сетей высокого напряжения.

Перед нашей страной стоит проблема создания наиболее совершенной и экономичной системы электроснабжения сельского хозяйства, учитывающей разнообразные природные и экономические условия различных ее районов. Ввиду больших объемов строительства необходимо обратить внимание на правильный выбор основных параметров сетей, прежде всего на выбор системы напряжений и радиусов действия.

Эти основные параметры определяют общий уровень затрат, вследствие чего их правильный выбор является решающим в экономике электроснабжения.

При централизованном электроснабжении протяженность магистральной сети, число промежуточных подстанций, протяженность распределительной сети, число потребительских подстанций и другие параметры электрической системы тесно связаны между собой и зависят от радиуса действия сети. Оптимальным значениям этих параметров соответствует минимум капиталовложений и эксплуатационных расходов. При проектировании высоковольтных электрических сетей необходимо выбирать радиус действия сети согласно его экономическому значению, что позволяет решать вопросы электроснабжения с наилучшими технико-экономическими показателями. На основе экономических радиусов действия сети можно также решать вопросы выбора напряжения сетей.

Величина экономического радиуса действия сетей зависит главным образом от энергетических показателей электрифицируемого района и от технико-экономических показателей сетей и подстанций.

Кроме того, при определении радиусов действия сети необходимо учитывать также имеющиеся или сооружаемые электрические сети, которые в зависимости от местных условий могут быть предназначены и рассчитаны на питание в основном промышленной или коммунальной нагрузки, которая иногда по своей величине может в несколько раз превышать нагрузки сельскохозяйственного назначения.

На основании обобщенных формул и коэффициентов, полученных из

анализа материалов проектной практики, можно теоретически установить сложные взаимосвязи между капиталовложениями и такими основными энергетическими показателями электрифицируемого района, как плотность распределения потребителей и плотность нагрузки района.

Согласно действующему стандарту, основными вариантами систем напряжений, на основе которых можно производить электроснабжение, являются следующие: 1) 110/35/6/0,4 кв; 2) 110/35/10/0,4 кв; 3) 110/35/0,4 кв.

При наличии построенных магистральных сетей в 110 и 35 кв, а также в случае, если их построение диктуется в первую очередь необходимостью питания крупных сосредоточенных несельскохозяйственных нагрузок, в расчетах можно пренебречь капиталовложениями на магистральные линии 110 и 35 кв и на подстанции 110/35 кв.

Используя разработанные А. Г. Захариным * уравнения для удельных капиталовложений на сети и подстанции, можно определить суммарные удельные капиталовложения на весь комплекс сооружений. Суммарные удельные капиталовложения, учитывающие капиталовложения на подстанции 35/6 или 35/10 кв, капиталовложения на распределительную сеть (6 или 10 кв) и потребительские подстанции (6/0,4 или 10/0,4 кв), можно выразить в следующем виде:

$$K_{35/6;10} = \frac{b'_{35/6;10}}{\pi\gamma R^2} + b''_{35/6;10} + a_{6;10} \frac{a'_{6;10}}{\gamma} \chi + \\ + \frac{a''_{6;10} K C}{5\epsilon U^2} R^2 + b''_{6;10/0,4} + \frac{b'_{6;10/0,4}}{\gamma} \chi^2 \quad [\text{тыс. руб./квт}], \quad (1)$$

где

R — радиус действия сети распределительного напряжения, км;

γ — плотность нагрузки, квт/км²;

χ — густота распределения потребителей, $\chi = \sqrt{\frac{N}{F}}$, [1/км];

N — количество трансформаторных пунктов;

F — территория, охватываемая сетью, км²;

U — распределительное высокое напряжение, кв;

ϵ — допустимая расчетная потеря напряжения, %;

C — коэффициент распределения металла;

K — коэффициент материала проводов, $K = \beta' \rho$;

β' — удельный вес материала проводов;

ρ — удельное сопротивление проводов, ом/мм²км;

a_6, a_{10} — коэффициент формы сети соответствующего напряжения;

a'_6, a'_{10} — часть стоимости линии передачи распределительного напряжения, не зависящая от сечения проводов, тыс. руб./км;

a''_6, a''_{10} — часть стоимости той же сети, зависящая от сечения проводов, тыс. руб./кг;

$b'_{35/6}, b'_{35/10}, b'_{6/0,4}, b'_{10/0,4}$ — часть стоимости трансформаторной подстанции, не зависящая от мощности подстанции, тыс. руб.;

$b''_{35/6}, b''_{35/10}, b''_{6/0,4}, b''_{10/0,4}$ — часть стоимости трансформаторной подстанции, зависящая от мощности подстанции, тыс. руб./квт.

* А. Г. Захарин, Местная электроэнергетическая система для сельскохозяйственных районов, Диссертация, Москва, 1948.

Из уравнения (1) можно легко, путем дифференцирования и приравнивания производной к нулю, определить оптимальный радиус действия сети, при котором будут иметь место наименьшие капиталовложения:

$$R_{\text{опт}} = \sqrt[4]{\frac{1,59 b'_{35/6;10} \epsilon U^2}{a''_{6;10} K C \gamma}} \quad [\text{км}]. \quad (2)$$

Исходя из оптимального радиуса действия сети, можно определить также оптимальную мощность подстанции:

$$P_{\text{опт}} = \sqrt{\frac{15,7 \gamma b'_{35/6;10} \epsilon U^2}{a'_{6;10} K C}} \quad [\text{кВт}]. \quad (3)$$

На рис. 1 изображены оптимальный радиус действия сети и оптимальная мощность подстанции в зависимости от плотности нагрузки района при напряжении распределительной сети в 6 и 10 кв. (Данные, на основе которых построены графики 1—6, приведены в приложении).

Из рис. 1 видно, что с увеличением плотности нагрузки, а также при более высоком распределительном напряжении сети оптимальная мощность подстанции увеличивается.

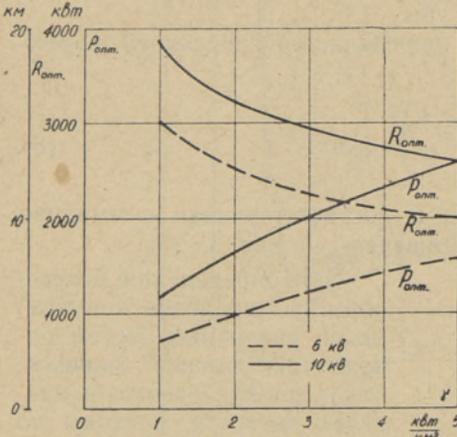


Рис. 1.

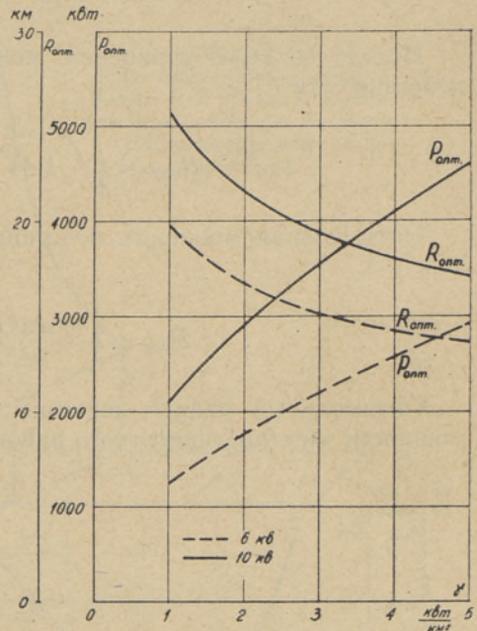


Рис. 2.

Оптимальный радиус действия сети и оптимальная мощность подстанции в зависимости от плотности нагрузки района при напряжении распределительной сети в 6 и 10 кв (на рис. 2 — с учетом затрат на магистральные линии).

Удельные капиталовложения при учете также магистральных сетей на напряжении 35 кв можно записать в следующем виде:

$$K_{35/6;10} = \alpha_{M35} \frac{a_{35}}{\sqrt{\pi \gamma R}} + \frac{b'_{35/6;10}}{\pi \gamma h^2} + b''_{35/6;10} + a_{6;10} \frac{a'_{6;10}}{\gamma} \chi + \frac{a''_{6;10} K C}{5 \epsilon U^2} R^2 + b''_{6;10/0,4} + \frac{b'_{6;10/0,4}}{\gamma} \chi^2 \quad [\text{тыс. руб./кВт}], \quad (4)$$

где α_{M35} — коэффициент формы сети магистральных линий;

a_{35} — стоимость магистральных линий, тыс. руб./км.

Исходя из уравнения (4), А. Г. Захарин получил приближенную формулу для оптимального радиуса действия сети:

$$R_{\text{опт}} \approx 1,12 \sqrt[3]{\frac{\alpha_{M35} a_{35} \epsilon U^2}{a''_{6;10} \gamma KC}} + 0,37 \frac{b'_{35/6;10}}{\alpha_{M35} a_{35}} \quad (5)$$

На рис. 2 приведены значения оптимального радиуса действия сети, а также оптимальная мощность подстанции в зависимости от плотности нагрузки района. Из сравнения рис. 1 и 2 видно, что оптимальный радиус действия сети и оптимальная мощность подстанции, при учете также затрат на магистральные линии, увеличивается.

Удельные капиталовложения на сети и подстанции, при применении в качестве распределительного напряжения 35 кв, можно приближенно выразить при помощи следующего уравнения:

$$K_{35} = \alpha_{M35} \frac{a_{35}}{\sqrt{\pi} \gamma R} + \alpha_{35} \frac{a_{35}'}{\gamma} \chi + \frac{a_{35}'' KC}{5 \epsilon U^2} R^2 + b''_{35;0,4} + \frac{b'_{35;0,4}}{\gamma} \chi^2 \quad [\text{тыс. руб./квт}]. \quad (6)$$

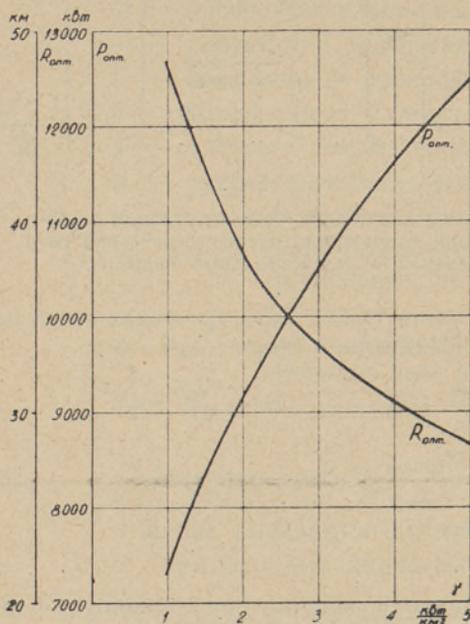
Исходя из этого уравнения, можно определить оптимальный радиус действия сети:

$$R_{\text{опт}} = \sqrt[3]{1,41 \frac{\alpha_{M35} a_{35} \epsilon U^2}{a_{35}'' KC \gamma}} \quad [\text{км}]. \quad (7)$$

Оптимальная мощность подстанции определяется следующей формулой:

$$P_{\text{опт}} = \left(\frac{\pi \alpha_{M35} a_{35} \epsilon U^2 \gamma^{\frac{1}{2}}}{a_{35}'' KC} \right)^{\frac{2}{3}} \quad [\text{квт}]. \quad (8)$$

Оптимальный радиус действия сети и соответствующая суммарная мощность электрифицируемого района приведены на рис. 3.



При определении целесообразных пределов применения различных систем напряжений важное значение имеет радиус охвата, в пределах которого расходы по сетям и подстанциям ниже, чем при любом другом напряжении. Верхний предел интервала для распределительного напряжения 6 кв, на границе между пределами напряжений 6 и 10 кв, можно выразить аналитически из уравнений (1) или (4), приравняв затраты на сети и подстанции для напряжений 6 и 10 кв:

Рис. 3. Оптимальный радиус действия сети и мощность электрифицируемого района при напряжении распределительной сети в 35 кв.

$$R_{6-10} = \sqrt{\frac{[(\alpha_{10}a_{10}' + b_{10}'\chi) - (\alpha_6a_6' + b_6'\chi)]\frac{\chi}{\gamma} + b_{10}'' - b_6''}{\left(\frac{a_6''}{36} - \frac{a_{10}''}{100}\right)\frac{KC}{5\varepsilon}}} \quad (9)$$

Пользуясь полученным выражением, можно построить график зависимости $R_{6-10} = f(\gamma, \chi)$, позволяющий определить зоны экономической применимости напряжений 6 и 10 кв в зависимости от плотности распределения потребителей и плотности нагрузки. Зависимость $R_{6-10} = f(\gamma, \chi)$ определяет поверхность S (рис. 4), которая разграничивает пространство на две части, причем в точках, находящихся над поверхностью S , экономичнее применять напряжение 10 кв, а в точках ниже этой поверхности выгоднее применять напряжение 6 кв.

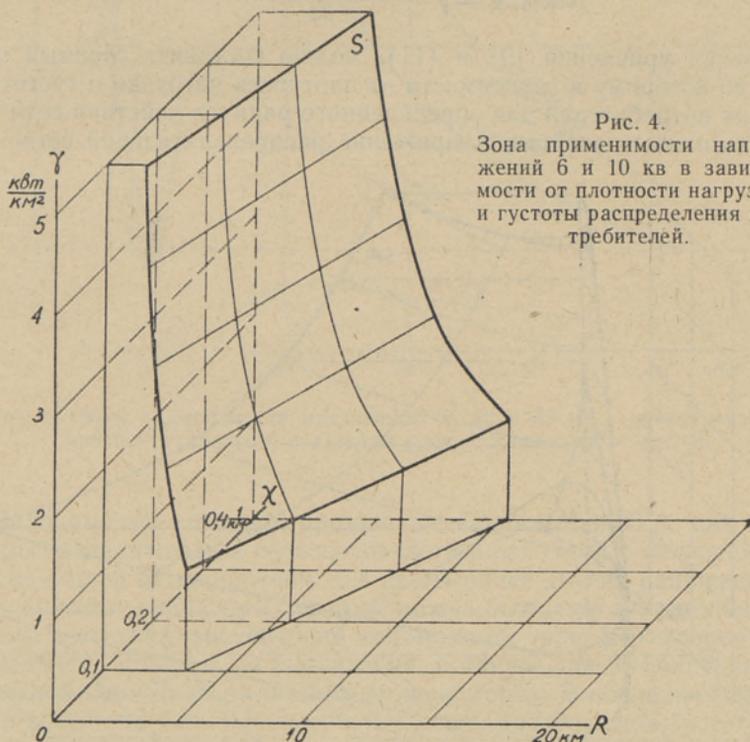


Рис. 4.
Зона применимости напряжений 6 и 10 кв в зависимости от плотности нагрузки и плотности распределения потребителей.

Таким же способом можно определить экономическую границу между напряжениями 10 и 35 кв, а также между 6 и 35 кв.

Исходя из уравнений (4) и (6), можно путем приравнивания затрат определить радиус действия сети, при котором затраты при обоих напряжениях сети будут одинаковыми.

Этот радиус действия сети определяется из уравнения четвертой степени:

$$\left(\frac{a_{10}''KC}{500\varepsilon} - \frac{a_{35}''KC}{6125\varepsilon}\right)R^4 + [(a_{10}a_{10}' - a_{35}a_{35}')\frac{\chi}{\gamma} + (b'_{10/0,4} - b'_{35/0,4})\frac{\chi^2}{\gamma} + b''_{10/0,4} - b''_{35/0,4} + b''_{35/10}]R^2 + \frac{b'_{35/10}}{\pi\gamma} = 0. \quad (10)$$

Если обозначить

$$a = \left(\frac{a''_{10} KC}{500 \varepsilon} - \frac{a''_{35} KC}{6125 \varepsilon} \right),$$

$$c = [(a_{10} a_{10}' - a_{35} a_{35}') \frac{\chi}{\gamma} + (b'_{10/0,4} - b'_{35/0,4}) \frac{\chi^2}{\gamma} + b''_{10/0,4} - b''_{35/0,4} + b''_{35/10}],$$

$$e = \frac{b'_{35/10}}{\pi \gamma},$$

то уравнение (10) получит вид:

$$aR^4 + cR^2 + e = 0, \quad (10')$$

откуда легко получить радиус действия сети:

$$R_{10-35} = \sqrt{\frac{-c \pm \sqrt{c^2 - 4ae}}{2a}}. \quad (11)$$

Используя уравнения (9) и (11), можно составить сводный график (рис. 5), по которому в зависимости от плотности нагрузки и густоты распределения потребителей для определенного радиуса действия сети можно определить наивыгоднейшее напряжение распределительной сети.

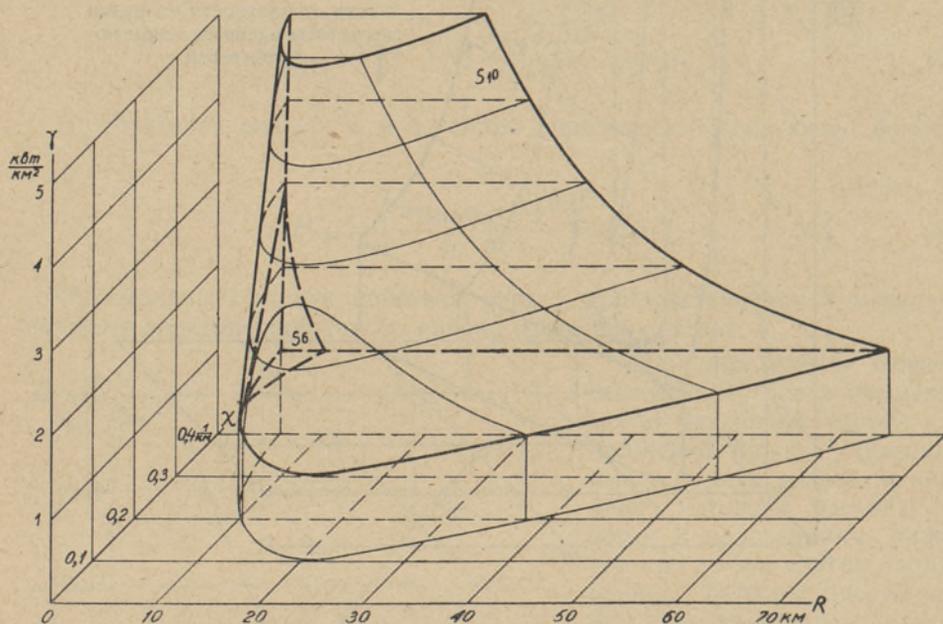


Рис. 5. Зоны применимости напряжений 6, 10 и 35 кв в зависимости от плотности нагрузки и густоты распределения потребителей.

Выражаемая формулой (11) зависимость $R_{10-35} = f(\gamma, \chi)$ представляет некоторую поверхность, которая имеет куполообразный вид. В тех случаях, когда точка, определяемая координатами — радиус действия сети, плотность нагрузки и густота распределения потребителей — находится над поверхностью S_{10} (рис. 5), экономичнее применять напряжение 35 кв, если же эта точка находится под указанной поверхностью, то выгоднее применять напряжение 10 кв.

Такую же куполообразную разграничивающую поверхность можно получить при сопоставлении затрат при напряжении сети 6 и 35 кв.

Эта поверхность S_6 находится в левой части куполообразной поверхности S_{10} и вырезает из-под куполообразной поверхности часть пространства, в пределах которого целесообразно применять напряжение 6 кв. Для облегчения определения целесообразного распределительного напряжения сети нами приведен дополнительно еще рис. 6. Из рис. 5 и 6 видно, что применение напряжения 6 кв целесообразно в очень небольших пределах, в основном при небольших плотностях нагрузки и радиусе действия сети, а также при большой густоте распределения потребителей.

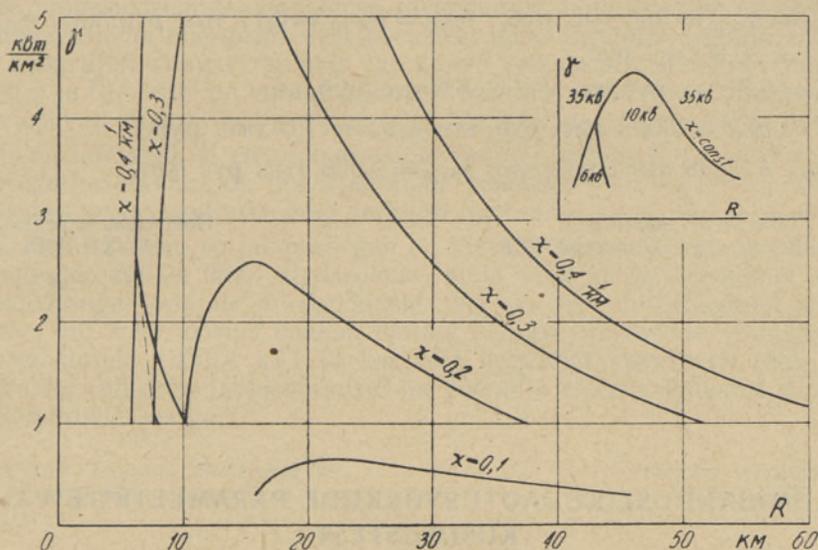


Рис. 6. Зоны применимости напряжений 6, 10 и 35 кв в зависимости от плотности нагрузки и густоты распределения потребителей.

Необходимо отметить, что применение напряжения 35 кв для питательных и распределительных сельскохозяйственных сетей с непосредственной трансформацией на напряжение 0,4 кв выгоднее других напряжений в довольно широком диапазоне; который может быть еще значительно расширен после выпуска удешевленных маломощных трансформаторов 35/0,4 кв и облегченной аппаратуры управления, а также при выполнении распределительной сети 35 кв на штыревых изоляторах. В последнем случае эта система сохраняет свое преимущество также при большой густоте распределения потребителей.

Выводы

1. При проектировании новых высоковольтных электрических сетей сельскохозяйственного назначения необходимо обратить внимание на обоснованный выбор основных параметров сетей — системы напряжения, радиуса действия сети и др. Основными исходными энергетическими показателями районов, решающим образом влияющими на выбор напряжения и оптимальных радиусов действия сети, являются плотность нагрузки и густота распределения потребителей в районах.

2. На основе предложенной методики, зная плотность нагрузки, густоту распределения потребителей и радиус охвата электрифицируемого района, можно по рис. 5 и 6 быстро определить напряжение сети, соответствующее минимуму капиталовложений.

Приложение

При построении графиков, приведенных на рис. 1—6, использовались следующие показатели:

$$K = 1120 \text{ ом}^2 \cdot \text{кг} \cdot \text{мм}^2 / \text{дм}^3 \cdot \text{км}; C = 1,2; \varepsilon = 10\%; a_{35} = 0,7;$$

$$a_6 = a_{10} = 0,9; a_{M35} = 1,05; a_{35}'' = 0,003 \text{ тыс. руб./кг};$$

$$a_{35}' = 14,9 \text{ тыс. руб./км}; b_{35/0,4}'' = 0,075 \text{ тыс. руб./квт};$$

$$b_{35/6}' = b_{35/10}' = 350 \text{ тыс. руб.}; b_{35/6}'' = b_{35/10}'' = 0,17 \text{ тыс. руб./квт}; b_{35/0,4}' = 20,8 \text{ тыс. руб.};$$

$$a_6' = 6,5 \text{ тыс. руб./км}; a_{10}' = 6,6 \text{ тыс. руб./км};$$

$$a_6'' = a_{10}'' = 0,003 \text{ тыс. руб./кг}; b_{6/0,4}' = 11,0 \text{ тыс. руб.};$$

$$b_{10/0,4}'' = 0,038 \text{ тыс. руб./квт}; b_{6/0,4}'' = 0,038 \text{ тыс. руб./квт}.$$

*Институт энергетики
Академии наук Эстонской ССР*

Поступила в редакцию
31 XII 1955

PÖLLUMAJANDUSLIKE JAOTUSVÕRKUDE PARAMEETRITE VALIKU KÜSIMUSTEST

G. POBUL,
tehniliste teaduste kandidaat

Resümee

Seoses põllumajanduse elektrifitseerimisega tuleb lähemate aastate jooksul ehitamisele tuhandeid kilomeetreid uusi põllumajanduslikke kõrgepinge jaotusvõrke. Elektrivõrkude ehitamise suure ulatuse tõttu on eriti oluline kasutada kõiki võimalusi metallikulu ja kapitaal mahutuste vähendamiseks. Põllumajanduslike jaotusvõrkude põhilisemateks parameetriteks on võrgu pingesüsteem ja tegevusraadiuste suurus, mis peamiselt määravadki kulutuste summa. Järelikult on nende õige valik väga tähtis elektrifitseerimise rentaablu tagamiseks.

Põllumajanduslike elektrivõrkude projekteerimisel tuleb võrgu tegevusraadiused valida nii, et kapitaal mahutused kõrgepingevõrkude ja alajamade ehitamisel oleksid minimaalsed.

Käesolevas töös on toodud valemid jaotusvõrkude ökonomsete tegevusraadiuste määramiseks (2), (5) ja (7) ning valemid rajooni toitealajaama võimsuste määramiseks (3) ja (8). Valemeis (5), (7) ja (8) on arvesse võetud kõrgepinge magistraalliinide ehitamiseks tarvisminevad kapitaal mahutused.

Joonistel 1 ja 2 on esitatud jaotusvõrgu ökonomised tegevusraadiused ja toitealajaama optimaalsed võimsused sõltuvalt elektrifitseeritava rajooni erikoormusest jaotusvõrgu 6- ja 10-kilovoldiste pingete puhul.

Elektrivõrkude ökonomsete tegevusraadiuste baasil on võimalik lahendada jaotusvõrgupingete ratsionaalse valiku küsimusi.

Vastavalt kehtivale standardile on töös vaadeldud järgmisi pingesüsteeme:

1. 110/35/6/0,4 kV,
2. 110/35/10/0,4 kV ja
3. 110/35/0,4 kV.

Väljatöötatud meetodika alusel on võimalik valemite (9) ja (11) abil määrata pingesüsteemide ökonoomse rakendamise ulatust sõltuvalt elektrifitseeritava rajooni energeetilistest parameetritest: tarbijate jaotumise tihedusest elektrifitseeritavas rajoonis ja rajooni erikoormusest. Diagrammide (joon. 4, 5 ja 6) alusel on võimalik kiiresti määrata jaotusvõrgu ökonoomne pinge vastavalt rajooni energeetilistele parameetritele ja tegevusraadiusele.

Töös on näidatud, et elektrienergia jaotamine pingega 6 kV on piiratud. Selle pinge kasutamine on otstarbekohane peamiselt väikeste erikoormuste ja väikeste tegevusraadiuste ning tarbijate jaotumise suure tiheduse puhul.

Väärrib märkimist, et jaotusvõrgus on otstarbekohane kasutada 35-kilovoldist pinget küllalt laias diapasonis, mida võib veelgi laiendada suurema tihedusega tarbijate piirkondadele. See on veel ulatuslikumalt kasutatav siis, kui meie tööstus hakkab tootma odavamaid väikese võimsusega transformaatoreid (35/0,4 kV) ja vastavat kergemat aparatuuri ning kui 35-kilovoldise pingega jaotusvõrkusid on võimalik ehitada lihtsama ja kergema konstruktsiooniga.

*Eesti NSV Teaduste Akadeemia
Energeetika Instituut*

Saabus toimetusse
31. XII 1955

BETRACHTUNGEN ÜBER DIE WAHL DER PARAMETER FÜR LANDWIRTSCHAFTLICHE HOCHSPANNUNGSNETZE

G. POBUL

Zusammenfassung

Die wichtigsten Parameter landwirtschaftlicher Verteilungsnetze sind das Spannungssystem des Netzes und dessen Wirkungsradius. Sie bestimmen das allgemeine Ausmass der Kosten, die Wahl ihrer Werte ist für die Rentabilität der Elektrifizierung ausschlaggebend.

Die Abhandlung bringt Formeln und Diagramme zur Bestimmung des wirtschaftlich günstigsten Wirkungsradius für Verteilungsnetze mit einer Netzspannung von 6, 10 bzw. 35 kV. Betrachtet wird die rentabelste Verwendung der Spannungssysteme 110/35/6/0,4 kV, 110/35/10/0,4 kV und 110/35/0,4 kV, ausgehend von den energetischen Parametern des zu elektrifizierenden Bezirks, d. h. von dem mittleren Abstand zwischen den Umspannstationen der Stromverbraucher und der mittleren Sonderbelastung des Bezirks. Die Diagramme (Abb. 4, 5 u. 6) ermöglichen es, leicht und schnell die zweckmässigste Spannung zu bestimmen, die den Parametern des Bezirks und dem Wirkungsradius des Netzes entspricht.

Es wird nachgewiesen, dass die Spannung von 6 kV in ihrer Anwendbarkeit ziemlich beschränkt ist. Diese Spannung erscheint zweckmässig bei

geringerer mittlerer Belastung und einem geringeren Wirkungsradius, wobei der mittlere Abstand zwischen den Umspannstationen der Stromverbraucher klein sein muss.

Es ist zu erwähnen, dass die Spannung 35 kV im Verteilungsnetz besonders zweckmässig ist. Die Verwendung dieser Spannung kann fernerhin auch auf dichtbesiedelte Bezirke ausgedehnt werden, vorausgesetzt, dass unsere Industrie die Herstellung von 35/0,4 kV-Transformatoren geringerer Nennleistungen nebst entsprechender leichterem Apparat aufnimmt und dass bei Errichtung der 35 kV-Netze einfachere und leichtere Konstruktionen Verwendung finden.

*Institut für Energetik
der Akademie der Wissenschaften der Estnischen SSR*

Eingegangen
am 31. Dez. 1955