

---

# ЭЛЕКТРИФИКАЦИЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО ПРОИЗВОДСТВА

---

Известия ТСХА, выпуск 1, 1988 год

УДК 63:621.311.1

## СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДОВ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ НАГРУЗОК СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

В. А. ВОРОБЬЕВ

(Кафедра электрификации с.-х. производства)

В статье анализируются результаты выполненных в нашей стране многолетних исследований электрических нагрузок сельскохозяйственных предприятий и методы их определения. Рассматриваются новые перспективные направления расчетов электрических нагрузок.

Количественная информация об электрических нагрузках является основой рационального решения практически всего комплекса задач, связанных с проектированием и эксплуатацией электрооборудования и электрических сетей всех видов. Проблема быстрого решения энергетической программы СССР, нацеливающей на более эффективное использование электрооборудования, обуславливает необходимость совершенствования методов расчета электрических нагрузок сельскохозяйственных предприятий.

В начале электрификации сельскохозяйственного производства нашей страны электрические сети сооружали, как правило, в ранее не электрифицированных районах, электрические нагрузки которых формировались в значительной степени стихийно. Расчетные нагрузки потребителей электроэнергии принимали по нормативам, которым не достало статистического и теоретического обоснования [20]. Простой перенос промышленных методов расчета электрических нагрузок в сельскохозяйственное производство уже тогда был невозможен из-за специфики условий и режимов работы сельскохозяйственных электроприемников (ЭП). В этих условиях нельзя было избежать значительных расхождений между расчетными и действительными нагрузками сельских электрических сетей.

Вопросы определения электроэнергетических показателей в сельскохозяйственном производстве были впервые затронуты в трудах комиссии по составлению плана ГОЭЛРО в 1921 г. Эти показатели (отдельно по электропотреблению и мощности) определялись суммированием нормативов, отнесенных к отдельным процессам сельскохозяйственного производства, и в конечном счете исчислялись на одну десятину земли по экономическим зонам страны. В те годы еще не был накоплен опыт работы электрифицированных сельскохозяйственных предприятий, особенно животноводческих и птицеводческих ферм. Требования этих предприятий к надежности электроснабжения были сформулированы недостаточно четко, что также приводило к определенным просчетам при проектировании и сооружении электрических сетей.

Отдельные попытки выполнить обследования сельскохозяйственных предприятий из-за их ограниченности не обеспечивали повышения точности расчетов и роста качества проектирования систем электроснабжения [2, 3, 25]. Так, исследования загруженности сельских потребительских подстанций системы Ленэнерго, проведенные в 1967—1968 гг. [13], показали в целом низкую их загруженность. Среднее значение коэффициента спроса составило 0,3. Для 82,5 % воздушных ли-

ний электропередачи этот коэффициент был в пределах 0,15—0,55. На 176 трансформаторных подстанциях коэффициент присоединения  $k_{\text{прис}} = P_{\text{уст}}/P_{\text{н}}$  ( $P_{\text{уст}}$  — установленная мощность потребителя,  $P_{\text{н}}$  — мощность трансформаторов) оказался равным 1,3, а в отдельных случаях — 1,2.

В 1975 г. для 176 трансформаторов, установленных в хозяйствах Иркутской обл. [4], среднее значение максимальной нагрузки  $I_{\text{max}} = (0,55 \pm 0,02)I_{\text{н}}$ , а отдельно для животноводства  $I_{\text{max}} = 0,48I_{\text{н}}$ .

В работе [6] в 1978 г. указывалось, что расчетные нагрузки сельскохозяйственных потребителей в 1,5—3 раза выше, чем фактические.

В результате обследования в 1978 г. свыше 400 электрифицированных объектов в Центральном районе Нечерноземной зоны РСФСР получены средние значения максимальной и установленной мощностей и коэффициенты загрузки, а также значения средних квадратических отклонений [12]. Выявлено, что загрузка сельских трансформаторов намного ниже нормы ( $k_3 = 0,318$ ).

На основании анализа загрузки трансформаторов сельскохозяйственных подстанций Новосибирской обл. были определены следующие коэффициенты их загрузки:  $k_3 = 0,592$  для ТП мощностью  $S = 60$  кВА;  $k_3 = 0,482$  для ТП при  $S = 100$  кВА и  $k_3 = 0,415$  для ТП при  $S = 160$  кВА [14].

При исследовании распределения различных типов электроприемников на животноводческих объектах Кировской обл. в 1980 г. отмечено, что мощность электрооборудования на животноводческих фермах используется неполно [1]. Коэффициенты использования на молочно-варных фермах не превышают 0,2 зимой и 0,08 летом, для свиноводческих комплексов — соответственно 0,13—0,15 и 0,04—0,06, для птицефабрик — 0,2 зимой. Доля мощности осветительного оборудования не превышает 10 % к общей мощности.

О низкой загруженности сельских ТП (которая является следствием низкой точности методов расчетов электрических нагрузок) свидетельствуют и результаты других многочисленных исследований. В настоящее время идет поиск подходящих математических моделей формирования электрических нагрузок и на их основе — методов расчета электрических нагрузок. Исходя из данных анализа электрических нагрузок сельскохозяйственных предприятий, Гипросельэлектро в 1955 г. выпустил «Руководящие указания по проектированию сельских электроустановок», которые длительное время использовались в проектной практике. Однако рекомендуемые способы расчета электрических нагрузок сельскохозяйственных предприятий в них далеки от совершенства.

Согласно [21, 26] более приемлемо рассчитывать электрические нагрузки сельскохозяйственных потребителей путем использования коэффициента спроса  $k_c$ , который определяется на основании данных эксплуатации их и коэффициента равномерности заполнения графика  $k_{\text{н}}$ , исходя из графиков фактических значений коэффициента спроса, в зависимости от суммарной мощности приемников, построенных с учетом соотношения осветительной, сельскохозяйственной и промышленной нагрузок.

По методу коэффициента равномерности максимальная мощность

$$P_{\text{max}} = P_{\text{ср}}/k_{\text{н}}, \quad (1)$$

где  $P_{\text{ср}}$  — средняя мощность, определяемая по потребляемой электроэнергии.

При использовании метода коэффициента равномерности электропотребления не требуется данных о номинальной мощности потребителя. Поэтому он более удобен, чем метод коэффициента спроса, особенно при перспективном проектировании сетей. Отрицательной стороной указанного метода является нестабильность коэффициентов равномерности потребления электрической энергии при небольших значениях установленной мощности, что затрудняет их применение для рас-

чета электрических нагрузок сельскохозяйственных объектов. Кроме того, упомянутые коэффициенты подбираются из таблиц, составленных на основе статистических исследований, и не учитывают постоянно происходящих изменений условий работы ЭП (производительности, объема производства, загрузки, использования во времени и др.), влияющих на значения коэффициентов. Поэтому при всей простоте рекомендованных [21, 26] зависимостей их применение не обеспечило желаемой точности.

В результате анализа работы ЭП в МТС, колхозах и совхозах с помощью коэффициентов относительной продолжительности включения ЭП  $k_B$ , использования ЭП  $k_{ин}$ , формы графика нагрузки  $k_f$  и эффективного числа ЭП  $n_g$ , выведена формула для определения коэффициента максимума [2]:

$$k_{max} = \frac{1}{\sqrt{k_B}} \sqrt{1 + \frac{k_f^2 - k_B}{k_B \cdot n_g}}. \quad (2)$$

При подсчете осветительных нагрузок принято  $k_B = k_{ин}$ .

Из-за отсутствия указанных коэффициентов для условий сельскохозяйственного производства метод [2] не получил распространения.

На основании обследования различных сельскохозяйственных предприятий в колхозах и совхозах рекомендуется ввести в расчеты электрических нагрузок коэффициенты спроса [30] и предлагается формула

$$P_{тп} = k_c \cdot P_{уст} + P, \quad (3)$$

где  $P_{тп}$  — мощность трансформаторной подстанции, кВт;  $P$  — дополнительная мощность на потери в сетях и на собственные нужды.

Согласно [27] характер графика электрических нагрузок зависит от соотношения силовой и осветительной нагрузок, т. е. от коэффициента структуры

$$k_{стр} = P_{сил} / P_{общ}. \quad (4)$$

Отмечен резкопеременный (пикообразный) характер графика нагрузок в случае малого числа ЭП. При увеличении числа ЭП график сглаживается. Установлено, что график изменения электрического тока осветительных установок напоминает синусоиду «темного времени». Рекомендуется вести расчет электрических нагрузок методом коэффициента спроса, а при наличии прогрессивных норм — методом удельной мощности  $P_{уд}$  и удельного расхода электрической энергии  $A_{уд}$ , т. е.

$$P_{уст} = P_{уд} \cdot M; A_{г} = A_{уд} \cdot M, \quad (5)$$

где  $M$  — выпуск продукции.

В работе [15] предлагается определять расчетные нагрузки отдельно по четырем характерным группам сельскохозяйственных потребителей электрической энергии — наружное освещение и жилые здания; культурно-бытовые и общественные объекты; производственные объекты и потребители I категории — с помощью коэффициентов спроса. Этот метод хотя и отвечает требованиям сельскохозяйственного производства и времени, но не может обеспечить достаточной точности расчетов ввиду того, что в большинстве случаев невозможно разделить потребителей на упомянутые группы.

Во многих случаях, особенно при определении суммарных нагрузок большого числа ЭП, указанные коэффициенты нельзя проверить опытным путем, поскольку в суммарных графиках электрических нагрузок практически невозможно даже разделить силовую и осветительную нагрузки, не говоря уже об определении участия в общем графике нагрузок отдельных групп силовых потребителей.

Длительное время в сельскохозяйственном производстве расчеты электрических нагрузок производились согласно «Руководящим указаниям по проектированию сельских электроустановок» по коэффициентам спроса, которые учитывали КПД, коэффициент загрузки электродвигателей, разновременность включения ЭП, долю участия в макси-

муме групп потребителей, потери мощности в проводах электрических линий и в трансформаторах, а также перевод активной мощности в полную. Однако данный метод базируется на большом числе малообоснованных коэффициентов.

При анализе графиков потребления электрической энергии представляет интерес применение метода динамических сгущений, позволяющего осуществить автоматическую классификацию графиков при помощи ЭВМ [33]. Для этого взят алгоритм, основанный на восходящей иерархической классификации устойчивых форм и позволяющий определить число классов, на которые следует разбить выборку. Рассматривается два случая. В первом случае (потребители электрической энергии низкого напряжения) с помощью факторного анализа изучалось значение вкладов различных переменных во внутриклассовую дисперсию, для того чтобы понять их относительную роль при определении типов графиков. Во втором случае (потребители среднего напряжения) отмечалась неустойчивость полученных классов, несмотря на то, что их средние профили различаются довольно ясно.

В обоих случаях необходимо принимать во внимание природу классифицируемых объектов. Автоматическая классификация позволяет разбить потребители на классы, не используя априорную информацию, а исходя лишь из вида графиков нагрузки. Данный подход является глубоко эмпирическим и не учитывает закономерностей формирования электрических нагрузок. Это сужает его практическую применимость.

Установлена корреляционная связь между коэффициентом равномерности потребления электрической энергии  $k_n$  и структурой электропотребления сельскохозяйственных районов Среднего Поволжья  $A_n/A_0$  [24], которая выражается зависимостью

$$k_n = a + b(A_n/A_0), \quad (6)$$

где  $A_n$  — потребление электрической энергии на производственные нужды;  $A_0$  — общее электропотребление;  $a$  и  $b$  — коэффициенты.

При определении расчетной нагрузки использованы электрический коэффициент равномерности заполнения графика нагрузок и значение среднесуточной нагрузки расчетного периода (1). Недостатки этого метода отмечены выше.

Выведены уравнения регрессии для зависимости между установленной и максимальной мощностями, которые рекомендуются для электроэнергетических расчетов [12].

По номограммам [22] можно получить значение расчетной нагрузки, используя данные о количестве потребляемой энергии. Недостатком этой методики является необходимость периодического сбора большого количества данных для обновления номограмм, что связано с большими затратами труда и средств.

В работе [17] экспериментальные данные [22] аппроксимированы функцией гиперболического аресинуса

$$T_m = T'_0 \ln(P_i + \sqrt{P_i^2 + 1}) \approx T_0 \lg 2 P_i, \quad (7)$$

где  $T_m$  — время использования максимума  $P_i$  в год, ч;  $T'_0$  и  $T_0$  — коэффициенты, зависящие от характера и режима работы нагрузки.

Располагая сведениями о количестве потребляемой электроэнергии и числе часов использования максимума  $T_m$ , легко определить расчетную нагрузку

$$P_{\text{расч}} = A / T_m \quad (8)$$

Значения  $P_{\text{расч}}$  являются усредненными по отношению к фактическим нагрузкам, формирующимся в течение рассматриваемого периода под действием разнообразных случайных факторов. Структуру этих факторов и степень их влияния пока нельзя считать окончательно установленными.  $T_m$  является синтетическим показателем неравномерности режима электропотребления, и его значения зависят от ряда факторов, среди которых сезонная, недельная и суточная неравномерности, про-

должительность рабочего дня и рабочей недели, доля постоянной технологической нагрузки. Если принять во внимание, что многие из этих показателей изменятся в довольно значительных пределах и их точные значения определить практически невозможно, неизбежная погрешность при определении  $T_m$  в данном случае может оказаться весьма существенной.

В справочной литературе указаны средние значения  $T_m$  или их интервалы для отдельных отраслей промышленности и сельскохозяйственного производства и интервалы средних значений для производств различной сменности. Однако условия, при которых использование усредненных значений  $T_m$  не приводит к большим погрешностям, нигде не оговорены. Недостатками этого метода являются также отсутствие глубоких теоретических предпосылок и необходимость использования коэффициентов, которые с течением времени нужно периодически обновлять.

Значительно улучшилось положение с проектированием электрических нагрузок сельскохозяйственных потребителей благодаря изданию рядом институтов соответствующей методической литературы, в частности «Методических указаний по расчету электрических нагрузок в сетях 0,38—110 кВ сельскохозяйственного назначения» [23]. В этих методических указаниях приводятся удельные расчетные нагрузки на вводе в сельский дом и перспективное потребление электроэнергии; формулы для определения расчетной нагрузки группы одноквартирных домов, участков линий электропередачи 0,38—110 кВ, основанные на теории вероятностей; таблицы с коэффициентами одновременности для суммирования электрических нагрузок в сетях с различными напряжениями. В отличие [28] здесь даны коэффициенты сезонности и коэффициенты мощности сельскохозяйственных потребителей, имеются обширные приложения в виде таблиц, в которых представлены данные об электрических нагрузках (значения дневного и вечернего максимума и реактивных нагрузок) и их математические ожидания, средние квадратические отклонения, коэффициенты сезонности для 380 производственных, общественных и коммунально-бытовых потребителей. Приводятся 24 суточных графика активных и реактивных нагрузок различных производственных потребителей, которые рекомендуется использовать при суммировании нагрузок. Кроме того, в методических указаниях указаны 4 способа определения расчетных электрических нагрузок на вводах в здания и сооружения животноводческих комплексов и других объектов. Первый способ основан на построении графика нагрузок, второй перенесен из методики определения электрических нагрузок [22], третий способ предлагает вести расчет по промышленной методике [31] и четвертый — по результатам замеров на работающих объектах, идентичных проектируемым.

Тем не менее, как показывают обследования сельскохозяйственных предприятий и литературные данные [6, 16, 18, 15], между расчетными и фактическими нагрузками имеются существенные расхождения.

Обширные исследования электрических нагрузок сельскохозяйственных предприятий выполнены в 1978 г. [18] на основе анализа коэффициентов заполнения суточных графиков, спроса, загрузки, включения и других показателей. В результате при определении электрических нагрузок групп электродвигателей, электронагревателей и других ЭП рекомендуется использовать несколько расчетных зависимостей, в которые следует подставлять статистически обоснованные коэффициенты. Однако указанные зависимости нуждаются в постоянном обновлении и корректировке входящих в них коэффициентов, физический смысл которых обнаруживается с трудом.

Основой методов расчета электрических нагрузок, принятых в США [32], является то, что при суммировании нагрузок 3 и меньшего числа ЭП общая нагрузка берется в размере 100 % к сумме мощностей ЭП. При суммировании мощностей более 4 ЭП она принимается 75 %

я т. д. При определении расчетных нагрузок для жилищного сектора за 100% считают первые 10 кВт суммарной установленной мощности ЭП. От нагрузки, полученной путем вычитания 10 кВт из установленной мощности, берут 40 %, результат суммируют с 10 кВт и получают расчетную нагрузку.

При подсчете нагрузок на животноводческих фермах за основу берется нагрузка 60 А, от разницы между общей установленной мощностью и 60 А берется 50 %, а от дополнительной нагрузки — 25 %. Для других сельскохозяйственных предприятий также приводятся дополнительные нагрузки (в процентах) в зависимости от ранга установленной мощности. Изложенный метод отличается простотой, однако не имеет теоретического обоснования и не может быть применен на различных сельскохозяйственных объектах.

В последнее время все больше исследователей склоняются к мысли, что случайный характер изменчивости электрических нагрузок является их органическим свойством и что для их анализа необходимо применять аппарат теории вероятностей и ее ветвей.

Так как на современных сельскохозяйственных предприятиях происходит взаимодействие детерминированных и стохастических систем, можно прийти к выводу о возможности описания динамики электропотребления указанными предприятиями в терминах системных объектов, свойств и связей между ними [29], а также о правомерности применения системного подхода к исследованиям закономерностей формирования электрических нагрузок. Действительно, наиболее существенный признак динамической системы С-электрифицированного сельскохозяйственного предприятия — целостность Ц:

$$C = \langle Ц, \{M\}, ier, G, B, J, n, P_y, \lambda, t_c \rangle. \quad (9)$$

У электрифицированного сельскохозяйственного предприятия наличие интегральных свойств, не сводимых к сумме свойств его элементов М — детерминированных и стохастических систем. Рассматриваемой системе присущ инвариантный характер по отношению к качественным особенностям составляющих ее элементов, а также упорядоченность. Иерархичность строения системы *ier* означает, что она является элементом системы более высокого уровня (колхоз, совхоз, объединение по административно-хозяйственным признакам, а энергосистема — по энергетическому признаку). И, в свою очередь, элементы данной системы представляют системы более низкого уровня (цех, отделение, электроустановка, ЭП). Цели систем и ее подсистем G также могут быть описаны с желаемой полнотой и точностью. При данном подходе важным является описание поведения системы B и учет информационного аспекта I. Основу ее составляет множество ЭП п с установленной мощностью  $P_y$ . Режимы работы: % — интенсивность включений и  $t_c$  — среднее время работы.

Существенным также является единство внешних и внутренних стимулов функционирования и развития системы, источник которого — самодвижение.

Рассматриваемая динамическая система имеет определенное количество возможных состояний, переход из одного состояния в другое осуществляется скачками в результате включений или выключений ЭП, что характерно для систем с дискретными состояниями. Так как данная система может переходить из состояния в состояние практически в любое время, то случайный процесс, протекающий в ней, является процессом с непрерывным временем. Если в системе с дискретными состояниями происходит случайный процесс с непрерывным временем, то переходы системы из состояния в состояние можно рассматривать как происходящие под влиянием некоторых потоков событий. Такими потоками в данной системе являются потоки включений и выключений ЭП. Их легко фиксировать с помощью регистрирующих приборов. Потоки включений и выключений ЭП на сельскохозяйственных предприятиях, как показали исследования [7—10], — простейшие. Ввиду того

что они имеют свойства простейших потоков, то случайный процесс, происходящий в системе, является марковским.

Марковский процесс, протекающий в системе с дискретными состояниями и непрерывным временем, характеризуется системой линейных дифференциальных уравнений, описывающих вероятности состояний [5]. Эти уравнения получают в результате использования размеченных графов, характеризующих переходы системы из состояния в состояние, и мнемонического правила Колмогорова.

С учетом возможности предельного режима система дифференциальных уравнений заменяется системой алгебраических уравнений, решение которой приводит к асимптотическому уравнению Эрланга вида

$$\omega_k = \omega_0 (a^k / k!), \quad (10)$$

где  $a = \lambda t_0$ ;  $\omega_0 = 1 / \left( \sum_{k=0}^n \frac{a^k}{k!} \right)$  — нормирующий множитель.

Это говорит о возможности распределения числа работающих ЭП на сельскохозяйственных предприятиях по асимптотическому закону Эрланга.

Устремляя число работающих ЭП к бесконечности, видим, что нормирующий множитель уравнения (10) превращается в  $e^{-a}$ , а уравнение (10) — в формулу асимптотического закона Пуассона

$$\omega_k = a^k / k! e^{-a}. \quad (11)$$

Таким образом, впервые получена зависимость, указывающая на распределение числа работающих ЭП на сельскохозяйственном предприятии по асимптотическому закону Пуассона. Это позволяет не только существенно повысить точность определения электрических нагрузок указанных предприятий, но и упростить суммирование их электрических нагрузок, которое наиболее широко применяется при расчетах систем электроснабжения.

Для обеспечения большего удобства расчетов зависимость (11) упрощена:

$$k = 2,49a^{0,82} + 2,23 \text{ при } a \leq 45, \quad (12)$$

$$k = 1,07a + 13,27 \text{ при } a \geq 45.$$

Как показывает сравнение расчетных и фактических нагрузок сельскохозяйственных предприятий [10], ошибка в расчетах не превышает 5 %. Кроме того, полученные математические модели формирования электрических нагрузок сельскохозяйственных предприятий позволяют определять расчетные электрические нагрузки несколькими путями: по данным о режимах работы ЭП, методу трех сигм, по нормам электропотребления и суммирования нагрузок. Таким образом, появляется возможность использования бритвы Оккама при оценке точности расчетов электрических нагрузок и подготовке исходной информации об ЭП.

Любая система характеризуется некоторой, пусть слабо выраженной, структурой. Под структурой системы понимается совокупность существенных связей между ее элементами, т. е. тип и форма внутренней организации системы. Структура представляет инвариантный аспект системы. Элементы структурного анализа электропотребления можно видеть в работах [15, 24, 27, 33].

Исследования структуры установленной мощности ЭП сельскохозяйственных предприятий позволяют заметить особенность, характерную для всех электрифицированных сельскохозяйственных предприятий, — устойчивый вид распределения мощностей ЭП. Распределения установленных мощностей обследованных предприятий имеют моду, относящуюся к ЭП в интервале мощностей 0,75—2,2 кВт. Если не учитывать объединение ЭП в группы, то модальные значения мощностей

сдвигаются в сторону ЭП очень маленьких мощностей, которые имеют осветительные установки.

Более детальный анализ распределений установленных мощностей ЭП сельскохозяйственных предприятий приводит к объективно существующему явлению объединения технических изделий в единую взаимосвязанную систему — техноценозу [19]. Техноценоз — ограниченное в пространстве и времени любое единство, объединяющее различные технические изделия. На электрифицированном сельскохозяйственном предприятии можно наблюдать существование биотехноценозов, так как помимо машин и механизмов на последних имеются живые объекты — животные и растения, оказывающие существенное влияние на работу технических средств. Использование этих понятий позволяет точнее прогнозировать развитие различных производственных объектов. Многообещающим путем повышения точности расчетов электрических нагрузок является учет комбинаций мощностей ЭП. При одинаковых значениях мощностей ЭП характеристики распределения электрических нагрузок получают путем простого умножения соответствующих чисел ЭП на мощность одного ЭП. Но на современных сельскохозяйственных предприятиях мощности работающих ЭП сильно отличаются друг от друга. Отсюда характеристики распределения электрических нагрузок связаны сложной зависимостью, геометрическая интерпретация которой имеет форму своеобразного клина [11]. Данная зависимость позволяет с высокой точностью рассчитать не только расчетную электрическую нагрузку предприятия, но и указать диапазон возможного ее изменения.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Андреев Г. А. Структура электрических нагрузок на сельскохозяйственных объектах в Кировской области. — Механизация и электрификация сельск. хоз-ва, 1982, №3, с. 25—27. — 2. Бойко Ф. К. Метод уточнения расчетных нагрузок в сетях низкого напряжения. — Механизация и электрификация сельск. хоз-ва, 1958, № 2, с. 36-38. — 3. Будзко И. А., Левин М. С. Электроснабжение сельскохозяйственных предприятий и населенных пунктов. — М.: Агропромиздат, 1985. — 4. Васильев И. Г., Пястолов А. А. Нагрузка трансформаторов сельских сетей. — Тр. ЧИДТЭСХ. Челябинск, 1975, вып. 106, с. 57—58. — 5. Вентцель Е. С. Исследование операций. — М.: Наука, 1980. — 6. Волосатов О. П., М. олосно в Н. Ф. Электроснабжение комплексов по производству продукции животноводства на индустриальной основе. — Повышение качества электроснабжения сельск. хоз-ва. М., 1978, т. 45, с. 32—43. 7. Воробьев В. А. Вероятностные характеристики электрифицированного сельскохозяйственного предприятия. — Изв. ТСХА, 1976, вып. 2, с. 181—190. — 8. Воробьев В. А. Распределение числа работающих электроприемников на сельскохозяйственном предприятии. — Изв. ТСХА, 1982, вып. 4, с. 157—164. — 9. Воробьев В. А. Особенности работы электроприемников сельскохозяйственного предприятия. — Механизация и электрификация сельск. хоз-ва, 1984, № 5, с. 40—44. 10. Воробьев В. А. Расчет электрических нагрузок на вводах животноводческих объектов. — Изв. ТСХА, 1986, вып. 1, с. 173—178. — 11. Воробьев В. А. Форма зависимости вероятности электрической нагрузки на вводе сельскохозяйственного предприятия от числа работающих электроприемников и их мощности. — Изв. ТСХА, 1987, вып. 2, с. 161—164. — 12. Григорьев Н. Д. — Загрузка сельских трансформаторов напряжением 10/0,4 кВ в Центральной Нечерноземной зоне РСФСР. — Сб. науч. тр. МИИСП, 1978, № 5, с. 82—84. — 13. Дарманчев А. А., Прудников Н. И., Симоновский С. Ф. Дискуссия. Загруженность трансформаторов сельских потребительских подстанций. — Электричество, 1970, № 2, с. 89—90. — 14. Делягин В., Н., Делягина Н. И., Шефер Э. Д. Анализ загрузки сельскохозяйственных подстанций Новосибирской области. — Науч.-техн. бюл. СибНИИ механизации и электрификации сельск. хоз-ва, 1978, № 8, с. 40—46. — 15. Козлов В. С. Упрощенный метод определения максимальных мощностей сельскохозяйственных потребителей. — Энергетик, 1965, № 8, с. 17—18. — 16. Кондратов В. В., Солдаткин А. Д., Сладнев Н. Б. Эксплуатационные характеристики трансформаторов сельских подстанций. — Сб. науч. работ: Электрификация с.-х. производства. Саратов, 1980, с. 31—39. — 17. Коршунов А. П. Аналитический метод суммирования сельских электрических нагрузок и область его применения. — Науч.-техн. бюл. по электрификации сельск. хоз-ва, 1979, вып. 3, с. 79—84. — 18. Кривошей Н. Г. Определение расчетных электрических нагрузок при проектировании ферм и комплексов крупного рогатого скота. — Науч.-техн. бюл. по механизации и электрификации животноводства, 1978, вып. 10, с. 102—107. — 19. Кудрин Б. И. Исследования технических систем как сообществ изделий — техноценозов. — В кн.: Системные исследования/Ежегодник. М.: Наука, 1980, с. 236—254. — 20. Левин М. С., Сумин Г. Ф. Электроснабжение сельских районов. — Механизация



и электрификация сельск. хоз-ва, 1983, № 6, с. 6—10. — 21. Лившиц Л. С., Плюгачев В. В. Формирование суммарной нагрузки отдельными электроприемниками. — Механизация и электрификация сельск. хоз-ва, 1976, № 10, с. 28—29. — 22. Методика определения электрических нагрузок при расчете сельских электрических сетей. — М.: ВГПИНИИ — «Сельэнергопроект», 1970. — 23. Методические указания по расчету электрических нагрузок в сетях 0,38—110 кВ сельскохозяйственного назначения. — Руководящие материалы по проектированию электрооборудования сельск. хоз-ва. М.: ВГПИНИИ «Сельэнергопроект», 1981. — 24. Ольшевская В. Т. Определение расчетных нагрузок сельских распределительных сетей. — Механизация и электрификация соц. сельск. хоз-ва, 1965, № 4, с. 35—38. — 25. Пястолов А. А., Юршин В. В. Особенности эксплуатации распределительных трансформаторов в сельском хозяйстве. — Энергетик, 1965, № 6, с. 1—3. — 26. Плюгачев В. К. Электрические нагрузки сельскохозяйственных районов. — Электричество, 1956, № 1, с. 71—74. — 27. Ревуцкий С. С. Особенности графиков электрических нагрузок в сель-

скохозяйственном производстве. — Механизация и электрификация сельск. хоз-ва. Киев: Урожай, 1964, с. 107—113. — 28. Рекомендации по определению электрических нагрузок животноводческих комплексов. — М.: Сельэнергопроект, ВГПИНИИ, 1976. — 29. Садовский В. Н. Проблемы философского обоснования системных исследований. — В кн.: Системные исследования. Методологические проблемы/Ежегодник. М.: Наука, 1984, с. 32—51. — 30. Селенев Г. С. Коэффициент спроса в электрифицированных совхозах. — Механизация и электрификация соц. сельск. хоз-ва, 1958, № 1, с. 35—37. — 31. Указания по определению электрических нагрузок в промышленных установках. — Инструктивные указания по проектированию электрических промышленных установок. М.: Энергия, 1968, вып. 6, с. 3—17. — 32. Butcher A. F. — Electricity and Electronics for Agriculture — Ames, Iowa. 1977. — 33. Canal M., Begey S. Classification de la clientele basse tension sans chauffage électrique principal, en fonction de l'appel de puissance/Resultats detaillés. Note ELF Direction des Etudes et des Recherches, NHR 24—0681/08, 1978.

*Статья поступила 15 ноября 1986 г.*

#### SUMMARY

The results of lone-term research in electric loads at farm enterprises realized in our country, and methods of their determination are analyzed in the paper. New promising lines in raising the accuracy of calculating electric loads are characterized.