

**МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ПОТРЕБЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ  
СЕЛЬСКИМИ ПОТРЕБИТЕЛЯМИ В АВТОНОМНЫХ СИСТЕМАХ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ****THE MODELING OF RURAL CONSUMERS' ELECTRICITY CONSUMPTION PROCESSES  
IN AUTONOMOUS POWER SUPPLY SYSTEMS**

**Ключевые слова:** автономные системы электроснабжения, потребители электроэнергии, прогнозирование потребности в электроэнергии, графики электрических нагрузок, математическая модель.

Планирование нужного количества электроэнергии для электроснабжения сельских населенных пунктов или прогнозирование электрических нагрузок представляет собой достаточно сложную задачу, правильное решение которой осложняется недостатком и неопределенностью исходной информации. Данная проблема актуальна, поскольку от нее зависят экономические показатели электроснабжения, надежность электроснабжения, текущая эксплуатация электрооборудования и электромагнитная совместимость технических средств и т.д. Существующие в настоящее время подходы к планированию и определению расчетных электрических нагрузок населенных пунктов и нормативные документы не учитывают большое количество факторов, влияющих на величину и характер изменения нагрузки во времени. Поэтому крайне желательно создать математическую модель, способную корректно описывать не только закономерности заполнения суточных графиков нагрузки бытовых потребителей, но и прогнозировать потребление элек-

троэнергии с учетом социального развития и жизнедеятельности сельского населения.

**Keywords:** autonomous power supply systems, electricity consumers, electricity demand forecasting, electrical load schedules, mathematical model.

Planning the right amount of electricity for power supply of rural settlements or predicting electrical loads is a complicated task, and, moreover, the correct solution of this problem is complicated by the lack and uncertainty of the base information. This problem is relevant and up-to-date because it influences the economic indices of power supply, reliability of power supply, current operation of electrical equipment and electromagnetic compatibility of technical equipment, etc. The current approaches to planning and determining the calculated electrical loads of settlements and regulatory documents do not take into account a large number of factors affecting the magnitude and nature of the change in load over time. That is why it is highly desirable to create a mathematical model that can correctly describe not only the patterns of filling daily load schedules for household consumers, but also predict the electricity consumption taking into account social development and rural livelihoods.

**Белый Владимир Борисович**, к.т.н., доцент, каф. электрификации и автоматизации сельского хозяйства, Алтайский государственный аграрный университет. Тел.: (3852) 20-33-16. E-mail: vladimir-belyi@inbox.ru.

**Belyi Vladimir Borisovich**, Cand. Tech. Sci., Assoc. Prof., Chair of Electrification and Automation of Agriculture, Altai State Agricultural University. Ph.: (3852) 20-33-16. E-mail: vladimir-belyi@inbox.ru.

**Введение**

Исследование режимов, которые могут возникнуть в автономных системах электроснабжения, удобнее, а порой возможно вести только с помощью математического моделирования.

Планирование нужного количества электроэнергии для электроснабжения сельских населенных пунктов или прогнозирование электрических нагрузок представляет собой достаточно сложную задачу, правильное решение которой осложняется недостатком и неопределенностью исходной информации [1].

Данная проблема актуальна, поскольку от нее зависят экономические показатели электроснабжения, надежность электроснабжения, текущая эксплуатация электрооборудования и электро-

магнитная совместимость технических средств и т.д.

Существующие в настоящее время подходы к планированию и определению расчетных электрических нагрузок населенных пунктов и нормативные документы не учитывают большое количество факторов, влияющих на величину и характер изменения нагрузки во времени. Поэтому крайне желательно создать математическую модель, способную корректно описывать не только закономерности заполнения суточных графиков нагрузки бытовых потребителей, но и прогнозировать потребление электроэнергии с учетом социального развития и жизнедеятельностью сельского населения.

**Целью** работы является создание математической модели сельского бытового потребителя электрической энергии как элемента автономной системы электроснабжения.

### Результаты исследований

На первом этапе разработки математической модели прогнозирования электропотребления был выполнен анализ временных рядов изменения расходов электроэнергии – изучены суточные, недельные, месячные, годовые графики электропотребления и произведена их группировка. Кроме того, на этом этапе решения задачи прогнозирования электропотребления необходимы данные о количестве рабочих, выходных и праздничных днях, а также график температур за каждый день рассматриваемого периода [2].

Анализ электропотребления ряда населенных пунктов позволил выявить факторы, влияющие на характер электропотребления района [4].

1. Насыщенность жилого объекта электроприемниками. При этом следует различать электроприемники сугубо бытового назначения и электроприемники, участвующие в ведении личного подсобного хозяйства.

2. Статус дня.

3. Метеорологические факторы, оказывающие существенное влияние на электропотребление. В первую очередь это температура и освещенность.

4. Тип жилого строения, архитектурно-планировочные параметры жилого объекта, тепловые характеристики, внутренняя освещенность.

5. Уровень развития сферы культурно-бытового обслуживания.

6. Специфика формирования и застройки населенных пунктов.

При многофакторном моделировании результатом является матрица экспериментальных данных, состоящая из набора  $n$  столбцов. В нашем случае абоненты отсортированы в ряды по постоянным факторам, каждому элементу этого ряда соответствует столбец значений отдельного фактора из приведенной выше классификации [5].

Если каждый фактор с номером может приобрести значение  $x_{1k}, x_{2k}, \dots, x_{mk}$ , то матрица экспериментальных данных будет иметь размерность  $n \times m$ .

Возникает задача установления статистических связей между рядами (столбцами) данных. Естественно, что не все ряды между собой имеют

логическую связь. Поэтому выбираем взаимосвязанные между собой факторы (признаки).

Пусть имеется матрица признаков  $Y$  с элементами  $y_{ij}$ . Матрица исходных признаков  $Y$  нормируется следующим образом и переходит в матрицу  $Z$  с элементами

$$Z_{ij} = \frac{y_{ij} - \bar{y}_i}{S_i}, \quad (1)$$

где  $\bar{y}_i$  – среднее значение показателя в столбце  $i$ ;

$S_i$  – среднеквадратичное отклонение (СКО), которое определяется следующим образом:

$$S_i = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{j=1}^n (y_{ij} - \bar{y}_i)^2}. \quad (2)$$

Для нормированной матрицы  $Z$  выполняются следующие условия:

$$\frac{1}{n} \sum_{j=1}^n Z_{ij} = 0 \text{ и } \frac{1}{n-1} \sum_{j=1}^n Z_{ij}^2 = 1. \quad (3)$$

Корреляционная матрица  $R$ , содержащая коэффициенты корреляции  $r_{ij}$  между столбцами матрицы  $Z$ , вычисляется по формуле (4):

$$\frac{1}{n-1} Z Z^T = R. \quad (4)$$

Целью факторного анализа является представление величины  $Z_{ij}$  в виде линейной комбинации нескольких переменных (факторов):

$$Z_{ij} = a_{i1}p_{1j} + a_{i2}p_{2j} + \dots + a_{ir}p_{rj}, \quad (5)$$

где  $p_{ij}$  – значения факторов;

$a_{ij}$  – постоянные коэффициенты, которые надо определить.

Элементы  $a_{ij}$  матрицы  $A$  будут являться факторными коэффициентами.

Тогда формула (5) в матричном виде будут иметь вид:

$$Z = A \times P. \quad (6)$$

Подставив (6) в (4), получим

$$R = A \frac{1}{n-1} P \cdot P^T \cdot A^T. \quad (7)$$

Можно утверждать, что

$$\frac{1}{n-1} P \cdot P^T = C, \quad (8)$$

где  $C$  – корреляционная матрица.

Тогда из (7) следует, что

$$R = A \cdot C \cdot A^T. \quad (9)$$

Если количество факторов  $p_{ij}$  соответствует количеству показателей в исходной матрице  $Z_{ij}$ , то для СКО справедливо

$$S_i^2 = \sum_{j=1}^n a_{ij}^2, \quad (10)$$

т.е. для нормированной исходной матрицы сумма квадратов всех факторных коэффициентов одного показателя равна дисперсии его нормированных величин.

Предложенный подход позволяет создать достаточно универсальную модель графиков нагрузок. Универсальность заключается в возможности путем изменения заполнения соответствующих матриц получать суточные, месячные, годовые графики нагрузок. При этом коэффициенты  $a_{ij}$  будут зависеть от начальных условий.

Вышеизложенная методика позволяет перейти от зависимости (5) к модели потребления электроэнергии бытовыми потребителями:

$$W = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^K a_{ij} p_{ij}(\Delta t_j). \quad (11)$$

Здесь суммирование ведется по  $p$ -факторам, которые выбираются из заготовленных матриц факторов, соответствующих временному интервалу  $\Delta t$  – суткам или месяцу, а затем по всем  $i$ -факторам, которые классифицированы как постоянные.

Таким образом, предлагаемый подход к построению математической модели графика нагрузки позволит:

- корректно и в полной мере учитывать различные факторы, влияющие на уровень электропотребления;
- строить суточные, месячные, годовые графики нагрузок;
- планировать уровень электропотребления на годы вперед.

#### Библиографический список

1. Белый, В. Б. Математическая модель роста потребления электроэнергии в сельских электрических сетях / В. Б. Белый. – Текст: непосредственный // Вестник научных конференций. – 2019. – № 1-2 (41). – С. 30-33.
2. Белый, В. Б. Методика анализа эффективности систем сельского электроснабжения / В. Б. Белый. – Текст: непосредственный // Вестник научных конференций. – 2016. – № 12-4 (16). – С. 20-22.
3. Белый, В. Б. Моделирование процессов в системе возбуждения синхронных генераторов автономных систем электроснабжения с использованием внешних характеристик преобразователя / В. Б. Белый. – Текст: непосредственный // Вестник Алтайского государственного аграрного университета: научный журнал. – 2018. – № 11 (169). – С. 113-116.

4. Белый, В. Б. Определение потребности в электроэнергии сельского населенного пункта / В. Б. Белый. – Текст: непосредственный // Интеграция современных научных исследований в развитие общества: сборник трудов по итогам Международной научно-практической конференции. – Кемерово: Изд-во Западно-Сибирского научного центра, 2016. – С.19-21.

5. Математическое моделирование в системах электроснабжения: учебное пособие / С. Г. Обухов; Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2014. – 84 с. – Текст: непосредственный.

6. Герман-Галкин, С. Г. Matlab & Simulink / Проектирование механотронных систем на ПК / С. Г. Герман-Галкин. – Санкт-Петербург: КОРОНА Век, 2008. – 368 с. – Текст: непосредственный

7. Белый, В. Б. Анализ эффективности систем сельского электроснабжения Алтайского края / В. Б. Белый. – Текст: непосредственный // Обеспечение и рациональное использование энергетических и водных ресурсов в АПК: сборник научных трудов Международной научно-практической конференции. – Москва: Изд-во Российского государственного аграрного заочного университета, 2009. – С. 122-124.

#### References

1. Matematicheskaya model rosta potrebleniya elektroenergii v selskikh elektricheskikh setyakh / V.B. Belyy // Vestnik nauchnykh konferentsiy. – 2019. – No. 1-2 (41). – S. 30-33.
2. Metodika analiza effektivnosti sistem selskogo elektrosnabzheniya / V.B. Belyy // Vestnik nauchnykh konferentsiy. – 2016. – No. 12-4 (16). – S. 20-22.
3. Belyy V.B. Modelirovanie protsessov v sisteme vzbuzhdeniya sinkhronnykh generatorov avtonomnykh sistem elektrosnabzheniya s ispolzovaniem vneshnikh kharakteristik preobrazovatelya / V.B. Belyy // Vestnik Altayskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. – 2018. – No. 11 (169). – S. 113-116.
4. Opredelenie potrebnosti v elektroenergii selskogo naselennoogo punkta / V.B. Belyy // Integratsiya sovremennykh nauchnykh issledovaniy v razvitie obshchestva: sbornik trudov po itogam Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii. – Kemerovo: Izd-vo Zapadno-Sibirskogo nauchnogo tsentra, 2016. –S. 19-21.
5. Matematicheskoe modelirovanie v sistemakh elektrosnabzheniya: uchebnoe posobie / S.G. Obukhov; Tomskiy politekhnicheskii universitet. – Tomsk:

Izd-vo Tomskogo politekhnicheskogo universiteta, 2014. – 84 s.

6. German-Galkin, S.G. Matlab & Simulink / Proektirovanie mekhanotronnykh sistem na PK / S.G. German-Galkin. – Sankt-Peterburg: KORONA Vek, 2008. – 368 s.

7. Analiz effektivnosti sistem selskogo elektros-nabzheniya Altayskogo kraya / Belyy V.B.; Obespechenie i ratsionalnoe ispolzovanie energet-icheskikh i vodnykh resursov v APK: sb. nauch. tr. mezhdunar. nauch.-prakt. konf. – Moskva: Izd-vo Rossiyskiy gosudarstvennyy agrarnyy zaochnyy uni-versitet, 2009. – S. 122-124.



УДК 631.3.06.001.66

Н.Н. Бережнов, А.А. Логов, Н.А. Стенина  
N.N. Berezhnov, A.A. Logov, N.A. Stenina

## ПОЛЕВЫЕ ИСПЫТАНИЯ АГРЕГАТА ДЛЯ ВНЕСЕНИЯ БЕЗВОДНОГО АММИАКА В ПОЧВУ

### FIELD TESTS OF THE UNIT FOR ANHYDROUS AMMONIA APPLICATION INTO THE SOIL

**Ключевые слова:** трактор, рыхлитель, динамометрирование, машинно-тракторный агрегат, тяговое сопротивление, буксование, тяговые испытания, датчик, вариация, матожидание.

Исследования проводили с целью определения соответствия тягово-скоростных показателей трактора в составе машинно-тракторного агрегата (МТА) требованиям агрегатирования, с учетом случайного характера изменения внешних эксплуатационных факторов. Работу проводили на примере МТА Fendt 936 Vario + АВА-12,6 «Агропитатель» в Ленинск-Кузнецком районе Кемеровской области в 2017 г. Методом контрольного динамометрирования определяли вероятностные характеристики тягового сопротивления сельскохозяйственной машины, его зависимость от скорости движения на операциях основной обработки почвы и внутрпочвенного внесения жидких удобрений. Исследования осуществляли на среднегумусных оподзоленных черноземах по стернево-му фону при глубине обработки почвы 16 и 21 см и средней длине гона 1030 м. Приведенные (к 5 км/ч) значения удельного тягового сопротивления агрегата на операциях почвообработки и подкормки составили 2,99 и 5,04 кН/м соответственно, коэффициента пропорциональности – 0,057 и 0,034 с<sup>2</sup>/м<sup>2</sup>, вариации – 10,5 и 2,1% (p<0,05). При увеличении глубины хода рабочих органов с.-х. машины на 5 см наблюдается повышение удельного тягового сопротивления агрегата на 68,6% при одновре-

менном снижении вариации показателя в 5 раз. Также значительно снижается разница между показателями «тяга-скорость» в 1,7 раза. Трактор Fendt 936 Vario не обеспечивает выполнение требований по рабочей скорости движения и буксованию движителей, при работе в пределах диапазона средних приведенных удельных тяговых сопротивлений, полученных по условиям испытаний, что требует выработки рекомендаций по рациональному агрегатированию с.-х. машины.

**Keywords:** tractor, ripper, dynamometry, machine-tractor unit, traction resistance, slipping, field tests, sensor, variation, mathematical expectation.

The studies were carried out to determine the compliance of traction and speed indicators of the tractor as part of the machine-tractor unit to the requirements of aggregation, taking into account the random nature of changes in external operational factors. The unit Fendt 936 Vario + АВА-12.6 “Agropitatel” was used; the tests were run in the Leninsk-Kuznetsk District of the Kemerovo Region in 2017. The probabilistic characteristics of the traction resistance of the agricultural machine, its dependence on the speed of movement on the operations of the main tillage and intra-soil application of liquid fertilizers were determined by the method of control dynamometry. The studies were carried out on medium humus podzolized chernozems on stubble at a depth of 16 and 21 cm and an average run length of 1030 m. The