

ПРОЦЕССЫ И МАШИНЫ АГРОИНЖЕНЕРНЫХ СИСТЕМ

УДК 631.172

DOI: 10.53083/1996-4277-2026-256-2-63-70

А.В. Бастрон, Т.Н. Бастрон, А.В. Себин,
В.Н. Урсегов, А.С. Синиченко
A.V. Bastron, T.N. Bastron, A.V. Sebin,
V.N. Ursegov, A.S. Sinichenko

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ УСТРОЙСТВ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОГО УПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОПРИЕМНИКАМИ СЕЛЬСКИХ ИНДИВИДУАЛЬНЫХ ЖИЛЫХ ДОМОВ

IMPROVEMENT OF INTELLIGENT CONTROL DEVICES FOR POWER-CONSUMING UNITS IN RURAL INDIVIDUAL RESIDENTIAL BUILDINGS

Ключевые слова: сельский индивидуальный жилой дом (ИЖД), устройство интеллектуального управления, «умный дом», ARDUINO UNO, несимметрия нагрузки, график нагрузки, пленочный лучистый электронагреватель (ПЛЭН), трехбакковый электроводонагреватель.

Расчетная мощность 3-фазного энергетического ввода в сельский ИЖД постоянно растет и сегодня составляет 15 кВт и выше. Основными проблемами, которые возникают при этом, являются несимметричное электропотребление ИЖД, а также неравномерность графиков электрической нагрузки. Цель исследования – разработка устройства интеллектуального управления электроприемниками дома, позволяющего снизить уровень несимметрии электропотребления, а также выравнять суточный график нагрузки для снижения расчетной мощности. Разработаны блок-схема и принципиальная электрическая схема устройства интеллектуального управления электроприемниками ИЖД на базе микроконтроллеров Arduino Uno с приоритетным 4-ступенчатым управлением электроприемниками. Основная идея алгоритма интеллектуального управления электроприемниками ИЖД состоит в том, чтобы общая нагрузка на вводе в ИЖД не превышала 15 кВт. При включенных 4 группах ПЛЭН в отопительный период, когда фазный ток нагрузки, работающей по свободному графику, превышает значение 9,09 А в одной из фаз (соответствует мощности 2 кВт на фазу), отключается одна из фаз одной группы ПЛЭН системы электрообогрева кухни. Если нагрузка повышается до 12,5 А, отключается ПЛЭН в соответствующей фазе группы ПЛЭН 1-й комнаты. При дальнейшем

увеличении нагрузки до 15,91 А отключается ПЛЭН в соответствующей фазе группы ПЛЭН 2-й комнаты, а при увеличении до 19,32 А отключается ПЛЭН в соответствующей фазе группы ПЛЭН 3-й комнаты, тем самым обеспечивается симметрирование токов нагрузки на вводе в СЖД. Включение соответствующих ступеней системы электрообогрева осуществляется в обратной последовательности. Использование предлагаемых устройств позволит повысить коэффициент заполнения графика нагрузки энергетического ввода домов до 0,62-0,84, следовательно, и коэффициент загрузки ТП, и подключить дополнительное количество домов к тем же электрическим сетям 0,38 кВ. Например, к столбовой КТП мощностью 40 кВА подключить 3 дома вместо 2.

Keywords: rural individual residential building (IRB), smart control device, “smart home”, Arduino Uno microcontrol unit, load asymmetry, load graph, film radiant electric heater (FREH), three-tank electric water heater.

The design power of a three-phase energy input to a rural individual residential building (IRB) is constantly growing and today is 15 kW and more. The main problems that arise in this case are the asymmetric power consumption of the IRB and the unevenness of the electrical load schedules. The research goal is to develop a device for intelligent control of power-consuming units of a house which allows reducing the level of asymmetry of power consumption as well as equalizing the daily load schedule to reduce the design power. A block diagram and a circuit diagram of a device for intelligent control of IRB electric loads based on Arduino Uno microcontrol units with priority four-stage control of electric loads was

developed. The main idea of the algorithm for intelligent control of IRB power-consuming units is that the total load at the input to IRB does not exceed 15 kW. When four groups of film radiant electric heaters (FREH) are switched on during the heating period and when the phase current of the load operating on a free schedule exceeds the value of 9.09 A in one of the phases (corresponds to a power of 2 kW per phase), one of the phases of one group of FREH of the kitchen electrical heating system is turned off. If the load increases to 12.5 A, the FREH is disconnected in the corresponding phase of the FREH group of the 1st room. In case of further load increase up to 15.91 A, the FREH is disconnected in the corresponding phase of the group of FREH of the 2nd

room, and in case of increase up to 19.32 A, the FREH is disconnected in the corresponding phase of the group of FREH of the 3rd room, thereby ensuring balancing of load currents at the input to the IRB. The activation of the corresponding stages of the electrical heating system is carried out in reverse order. The use of the proposed devices will increase the filling factor of the load schedule for energy input of houses to 0.62-0.84, and, therefore, the load factor of the transformer substation and connect an additional number of houses to the same 0.38 kV electrical networks. For example, the connection of three houses to a 40 kVA pole-mounted transformer substation instead of two houses is possible.

Бастрон Андрей Владимирович, к.т.н., доцент, ФГБОУ ВО Красноярский ГАУ, г. Красноярск, Российская Федерация, e-mail: abastron@yandex.ru.

Бастрон Татьяна Николаевна, к.т.н., доцент, ФГБОУ ВО Красноярский ГАУ, г. Красноярск, Российская Федерация, e-mail: tbastron@yandex.ru.

Себин Алексей Викторович, ст. преподаватель, ФГБОУ ВО Красноярский ГАУ, г. Красноярск, Российская Федерация, e-mail: sebin_a@mail.ru.

Урсегов Василий Николаевич, ст. преподаватель, ФГБОУ ВО Красноярский ГАУ, г. Красноярск, Российская Федерация, e-mail: ursegof@mail.ru.

Синиченко Александр Сергеевич, аспирант, ФГБОУ ВО Красноярский ГАУ, г. Красноярск, Российская Федерация, e-mail: insanityz@yandex.ru.

Bastron Andrey Vladimirovich, Cand. Tech. Sci., Assoc. Prof., Krasnoyarsk State Agricultural University, Krasnoyarsk, Russian Federation, e-mail: abastron@yandex.ru.

Bastron Tatyana Nikolaevna, Cand. Tech. Sci., Assoc. Prof., Krasnoyarsk State Agricultural University, Krasnoyarsk, Russian Federation, e-mail: tbastron@yandex.ru.

Sebin Aleksey Viktorovich, Asst. Prof., Krasnoyarsk State Agricultural University, Krasnoyarsk, Russian Federation, e-mail: sebin_a@mail.ru.

Ursegov Vasily Nikolaevich, Asst. Prof., Krasnoyarsk State Agricultural University, Krasnoyarsk, Russian Federation, e-mail: ursegof@mail.ru

Sinichenko Aleksandr Sergeevich, post-graduate student, Krasnoyarsk State Agricultural University, Krasnoyarsk, Russian Federation, e-mail: insanityz@yandex.ru.

Введение

В связи с массовым строительством в последние годы в России индивидуальных жилых домов (ИЖД) общей площадью 100 м² и более, в том числе в сельской местности, оснащенных энергонасыщенными бытовыми приборами (электроплиты, СВЧ-печи, чайники, электрогрили, тостеры, миксеры, посудомоечные и стиральные машины, пылесосы, сушилки фруктов и овощей и т.д.), а также электрифицированными системами обогрева и горячего водоснабжения, возросла расчетная мощность трехфазного энергетического ввода в дом, которая составляет 15 кВт и выше [1-6]. При этом основными проблемами, которые приводят к снижению качества электрической энергии в распределительных сетях напряжением 0,38 кВ поселков сельских ИЖД, являются несимметричное электропотребление ИЖД [5, 7, 8], а также неравномерность графиков электрической нагрузки [6].

Хотя известные системы и устройства интеллектуального управления электроприемниками ИЖД с использованием традиционных коммуни-

кационных технологий Smart grid, «Умный дом» [5], HEMS [9, 10] в сочетании с Интернетом вещей (IoT) [4] дают значительные преимущества пользователям по сравнению с традиционными разрозненными автоматизированными системами управления отдельными электроприемниками [1]. Они сами по себе не решают проблем, связанных с несимметрией нагрузки на вводах в ИЖД, в линиях электропередач (ЛЭП) 0,4 кВ и в трансформаторах комплектных трансформаторных подстанций (КТП) 10/0,4 кВ, как показано в [2].

Цель исследования – разработка устройства интеллектуального управления электроприемниками дома, позволяющего снизить уровень несимметрии электропотребления во внутренней электрической сети дома, а также выравнять суточный график нагрузки дома для снижения расчетной мощности энергетического ввода.

Задачами исследования являются:

1) разработка блок-схемы интеллектуального устройства управления электроприемниками ИЖД;

2) разработка принципиальной электрической схемы устройства интеллектуального управления электроприемниками ИЖД на базе микроконтроллеров Arduino Uno с приоритетным многоступенчатым управлением электроприемниками сельского ИЖД, обеспечивающей симметрирование нагрузки на вводе в дом, а также выравнивание суточного графика нагрузки;

3) обоснование и моделирование режимов работы электроприемников сельского ИЖД при использовании устройств интеллектуального управления.

Объект и методы

Объектом исследования является режимы работы системы внутреннего электроснабжения сельского ИЖД при использовании устройств интеллектуального управления электроприемниками.

Основными методами исследования являются: обоснование и разработка схемных решений устройства интеллектуального управления электроприемниками сельского ИЖД на базе микроконтроллеров Arduino Uno с приоритетным многоступенчатым управлением электроприемниками ИЖД, обеспечивающих симметрирование нагрузки на вводе в ИЖД и выравнивание су-

точного графика нагрузки, а также моделирование режимов работы электроприемников при использовании устройства интеллектуального управления.

Характеристика предмета исследования

Считается, что наиболее эффективным средством нормализации режима электропотребления является использование специальных технических средств симметрирования, подключение которых позволяет в значительной степени улучшить показатели качества и снизить потери электрической энергии, обусловленные несимметрией фазных токов [1].

Однако, на наш взгляд, более эффективным является разработка устройства интеллектуального управления электроприемниками ИЖД, которое бы постоянно максимально симметрировало изменяющуюся нагрузку на вводе.

На рисунке 1 представлена блок-схема разработанного устройства интеллектуального управления электроприемниками ИЖД, на которое Красноярским ГАУ в 2025 г. подана заявка на изобретение («Устройство интеллектуального управления электроприемниками дома». Заявка № 2025121744 от 06.08.2025).

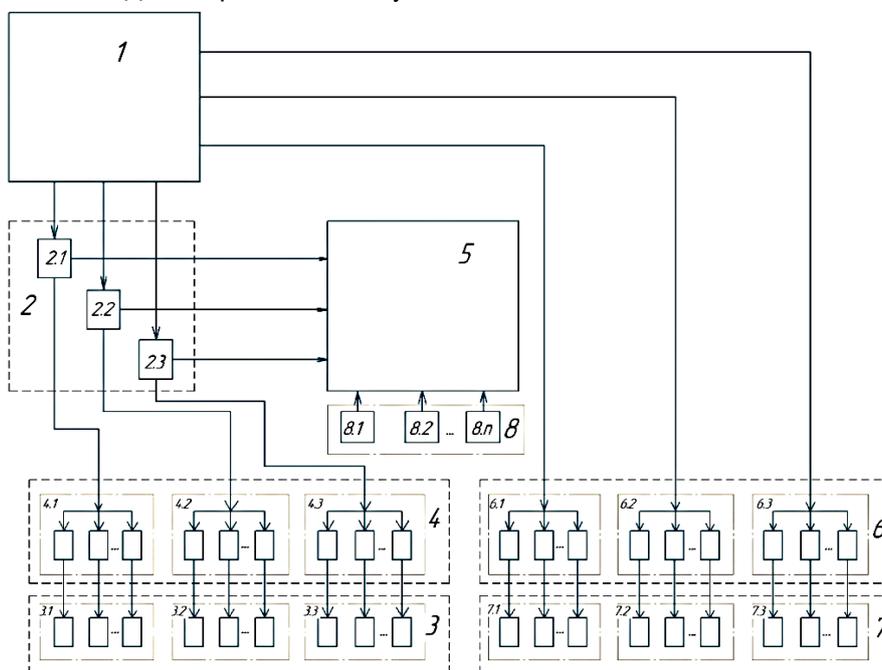


Рис. 1. Блок-схема устройства интеллектуального управления электроприемниками ИЖД:
 1 – источник электроснабжения (ГРШ); 2 – блок измерения уровня потребления тока;
 3 – электроприемники свободного графика потребления; 4 – блок коммутационных устройств электроприемников свободного графика потребления; 5 – управляющий блок;
 6 – блок коммутационных устройств электроприемников принудительного графика потребления;
 7 – блок электроприемников принудительного графика потребления;
 8 – блок измерения температуры отдельных помещений дома

Управляющий блок содержит две контроллерные платы ARDUINO UNO (рис. 2), у первой из которых последовательный выход UART TX соединен с последовательным входом UART RX второй контроллерной платы ARDUINO UNO, а последовательный вход UART RX первой контроллерной платы ARDUINO UNO соединен с последовательным выходом UART TX второй контроллерной платы ARDUINO UNO. При трехфазном вводе в ИЖД измерения уровня

потребления тока электроприемниками свободного графика потребления по трем фазам производится с помощью датчиков тока SCT013 с коэффициентом трансформации 100 А:50 мА. Блок измерения температуры отдельных помещений дома выполнен из требуемого количества терморезисторов R_t , подсоединенных к аналоговым входам (от А0 до А5) второй контроллерной платы ARDUINO UNO.

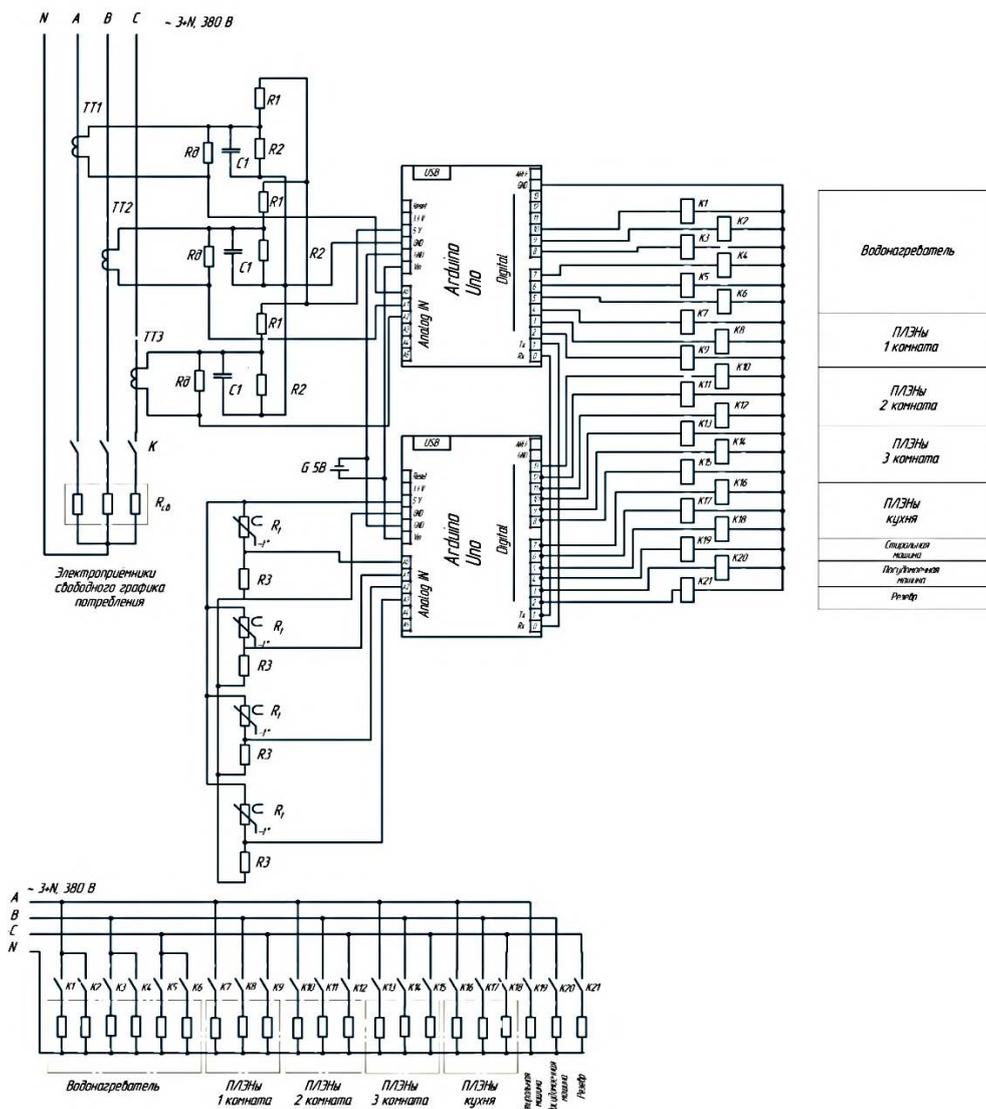


Рис. 2. Принципиальная электрическая схема устройства интеллектуального управления электроприемниками сельского ИЖД на базе микроконтроллеров Arduino Uno

Рассмотрим работу устройства на примере управления электроприемниками сельского ИЖД с расчетной мощностью трехфазного ввода 15 кВт, в котором оборудование для приготовления пищи, прочие бытовые приборы (освещение, чайники, телевизоры, компьютеры и т.д.), а также система воздухообмена дома работают по свободному графику электропотребления.

Система электрообогрева ИЖД с тремя комнатами и кухней мощностью 9 кВт работает по принудительному графику, с пофазным четырехступенчатым изменением мощности, в зависимости от пофазной мощности, потребляемой электроприемниками, работающими по свободному графику электропотребления. Предполагается, что система электрообогрева ИЖД выполнена с использованием распределенных по до-

му, в соответствии с расчетной мощностью отдельных комнат, пленочных лучистых электронагревателей (ПЛЭН) – потолочных или напольных. Группы ПЛЭН примерно одной мощности включают по три в «звезду» через коммутационные устройства, например, твердотельные реле Relay Module и распределяют по комнатам ИЖД.

Электроводонагреватель, а также стиральная и посудомоечная машины работают по принудительному графику электропотребления. Электроводонагреватель может иметь 6 ТЭН и выполнен, например, трехбаковым (патент РФ на полезную модель № 231193). В каждом баке целесообразно использовать по два ТЭН разной мощности, с отношением 1:2, например, 0,75 и 1,5 кВт. Тогда, соединяя три ТЭНа (в каждом баке по одному ТЭН равной мощности) в «звез-

ду» с нулем, можно получать трехфазную симметричную трехступенчатую нагрузку: например, 2,25/4,5/6,75 кВт или однофазную трехступенчатую нагрузку 0,75/1,5/2,25 кВт для использования ее в качестве потребителя-регулятора мощности.

Основная идея алгоритма интеллектуального управления электроприемниками СЖД состоит в том, чтобы общая нагрузка на вводе в ИЖД не превышала расчетное значение 15 кВт. При включенных четырех группах ПЛЭН в отопительный период, когда фазный ток нагрузки, работающей по свободному графику, превышает значение 9,09 А в одной из фаз (соответствует мощности 2 кВт на фазу), отключается одна из фаз одной группы ПЛЭН системы электрообогрева кухни (рис. 3).

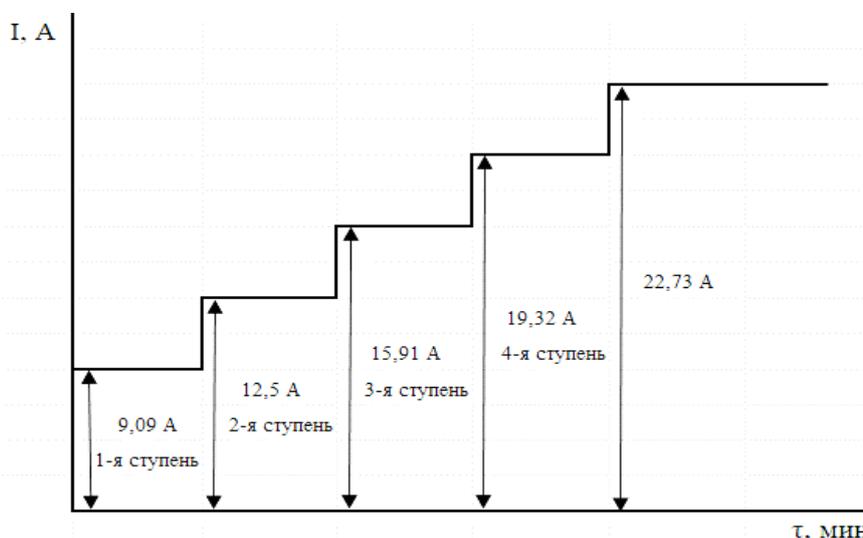


Рис. 3. Диаграмма токов срабатывания 4-ступенчатого приоритетного управления электроприемниками ИЖД

Если нагрузка электроприемников, работающих по свободному графику, повышается до 12,5 А, отключается ПЛЭН в соответствующей фазе группы ПЛЭН 1-й комнаты. При дальнейшем увеличении нагрузки до 15,91 А отключается ПЛЭН в соответствующей фазе группы ПЛЭН 2-й комнаты, а при увеличении до 19,32 А отключается ПЛЭН в соответствующей фазе группы ПЛЭН 3-й комнаты, тем самым обеспечивается симметрирование токов нагрузки на вводе в СЖД. Включение соответствующих ступеней системы электрообогрева осуществляется в обратной последовательности. Температура в отдельных помещениях дома поддерживается за

счет тепловой инерции ограждающих конструкций дома. При использовании отдельных групп ПЛЭН в каждом помещении ИЖД целесообразно отключать их также ступенчато по «бегущей волне», начиная с кухни, где сосредоточена бытовая техника, являющаяся дополнительным источником тепловой энергии для обогрева кухни.

Описанные выше режимы работы электроприемников свободного и принудительного графиков работы влияют на активную мощность единого энергетического ввода $P_{\text{ЕЭВ}}$ в усадебный ИЖД, которая определяется как

$$P_{\text{ЕЭВ}} = P_{\text{фА}} + P_{\text{фВ}} + P_{\text{фС}}; \tag{1}$$

$$P_{\text{фА}} = U_{\text{фА}} I_{\text{фА}} \cos \varphi_{\text{А}}; \tag{2}$$

$$P_{\text{фВ}} = U_{\text{фВ}} I_{\text{фВ}} \cos \varphi_{\text{В}}; \tag{3}$$

$$P_{\phi C} = U_{\phi C} I_{\phi C} \cos\varphi_C; \quad (4)$$

$$I_{\phi A} = \sum_{i=1}^x I_{\phi A \text{ своб } i} + \sum_{j=1}^4 I_{\phi A \text{ ступ } j} + \sum_{k=1}^3 I_{\phi A \text{ ступ } k}; \quad (5)$$

$$I_{\phi B} = \sum_{i=1}^y I_{\phi B \text{ своб } i} + \sum_{j=1}^4 I_{\phi B \text{ ступ } j} + \sum_{k=1}^3 I_{\phi B \text{ ступ } k}; \quad (6)$$

$$I_{\phi C} = \sum_{i=1}^z I_{\phi C \text{ своб } i} + \sum_{j=1}^4 I_{\phi C \text{ ступ } j} + \sum_{k=1}^3 I_{\phi C \text{ ступ } k}; \quad (7)$$

где $P_{\phi A}, P_{\phi B}$ и $P_{\phi C}$ – активные мощности соответственно фаз А, В и С, Вт;

$U_{\phi A}, U_{\phi B}$ и $U_{\phi C}$ – фазные напряжения, В;

$I_{\phi A}, I_{\phi B}$ и $I_{\phi C}$ – фазные токи, А;

$\cos\varphi_A, \cos\varphi_B$ и $\cos\varphi_C$ – пофазные значения коэффициента мощности, о.е.;

$I_{\phi A \text{ своб } i}, I_{\phi B \text{ своб } i}$ и $I_{\phi C \text{ своб } i}$ – ток i -того электроприемника, работающего по свободному графику и подключенного к соответствующей фазе А, В или С;

$I_{\phi A \text{ ступ } j}, I_{\phi B \text{ ступ } j}$ и $I_{\phi C \text{ ступ } j}$ – ток j -той ступени системы обогрева дома, подключенной к соответствующей фазе А, В или С по разрешающему сигналу устройства интеллектуального управления электроприемниками дома (всего ступеней $j = 4$);

$I_{\phi A \text{ ступ } k}, I_{\phi B \text{ ступ } k}$ и $I_{\phi C \text{ ступ } k}$ – ток k -той ступени системы горячего водоснабжения дома, подключенной к соответствующей фазе А, В или С по разрешающему сигналу устройства интеллектуального управления электроприемниками дома (всего ступеней $k = 3$);

x, y и z – количество электроприемников, работающих по свободному графику, подключены к фазам А, В и С соответственно;

j – количество ступеней уставок токов срабатывания системы отопления дома по разрешающему сигналу устройства интеллектуального управления электроприемниками дома;

k – количество ступеней уставок токов срабатывания системы горячего водоснабжения дома по разрешающему сигналу устройства интеллектуального управления электроприемниками дома. При этом мощность каждой из фаз $P_{\phi A}, P_{\phi B}$ и $P_{\phi C}$ не должна превышать значения 5 кВт, а суммарная мощность ЭЭВ не должна превышать 15 кВт.

Задание комфортной температуры по отдельным помещением дома может осуществляться в соответствующей программе на дисплее ПК (рис. 4).

При достижении температуры в помещении заданного значения соответствующий терморезистор изменяет свое сопротивление и на цифровых выходах второго Arduino Uno формиру-

ются управляющие сигналы, отключающие соответствующие твердотельные реле К7 – К18.

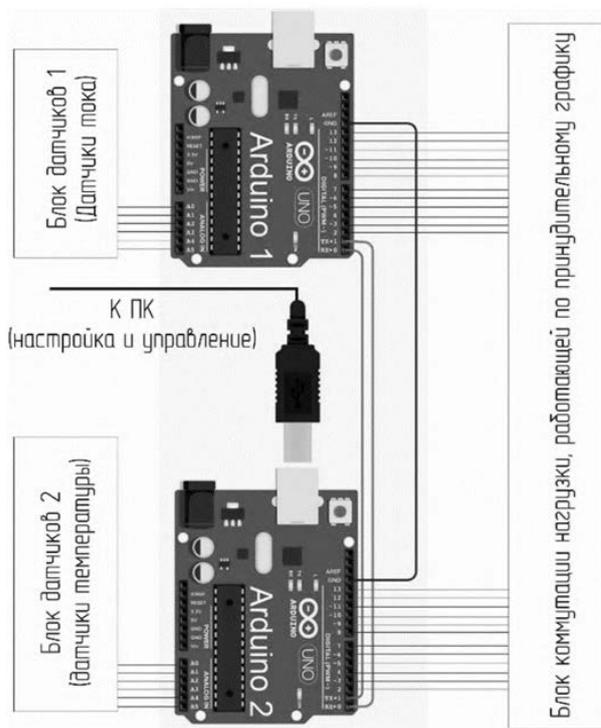


Рис. 4. Подключение ПК к схеме управления электроприемниками на базе микроконтроллеров Arduino Uno

Использование ПЛЭН в сочетании с предлагаемой системой управления температурными режимами отдельных помещений ИЖД позволит дополнительно снизить электропотребление на обогрев дома на 5-10%.

При использовании счетчика с тремя тарифами на потребленную электроэнергию (пиковый, базовый, ночной) электроводонагреватель целесообразно включать в ночное время, когда нагрузка в доме и тариф на электроэнергию минимальные.

Как показано нами ранее [1], использование аналогичных устройств интеллектуального управления электроприемниками сельских ИЖД позволяет повысить коэффициент заполнения графика нагрузки энергетического ввода СЖД до 0,62-0,84, следовательно, и коэффициент загрузки ТП, и подключить дополнительное количество сельских ИЖД к тем же сетям. Изме-

нение количества сельских ИЖД, подключаемых к типовым однострансформаторным подстанциям при использовании устройств интеллектуального управления электроприемниками, ис-

следовано нами и подробно описано в [1]. Например, к столбовой КТП мощностью 40 кВА подключить три дома вместо двух. Результаты исследований приведены в таблице.

Таблица

Количество сельских ИЖД, подключаемых к типовым однострансформаторным подстанциям [1]

| Мощность трансформаторной подстанции, S, кВА | Количество подключаемых домов | |
|--|-------------------------------|--|
| | свободный график работы | при использовании предлагаемого устройства интеллектуального управления электроприемниками |
| 25 | 1 | 2 |
| 40 | 2 | 3 |
| 63 | 3 | 4 |
| 100 | 6 | 7 |
| 160 | 10 | 12 |
| 250 | 18 | 20 |
| 400 | 30 | 34 |
| 630 | 49 | 54 |

Заключение и выводы

1. Разработанные блок-схема и принципиальная электрическая схема устройства интеллектуального управления электроприемниками сельского ИЖД на базе микроконтроллеров Arduino Uno с многоуровневым приоритетным управлением электроприемниками позволяют осуществлять симметрирование нагрузки на вводе в дом, а также выравнять суточный график нагрузки.

2. Использование устройств интеллектуального управления электроприемниками сельских ИЖД позволяет повысить коэффициент заполнения графика нагрузки энергетического ввода СЖД до 0,62-0,84, следовательно, и коэффициент загрузки ТП, и подключить дополнительное количество СЖД к тем же сетям. Например, к столбовой КТП мощностью 40 кВА подключить три дома вместо двух.

Библиографический список

1. К вопросу о повышении эффективности проектных решений при разработке внутренних электрических сетей сельских домовладений / А. В. Бастрон, Т. Н. Бастрон, А. В. Чебодаев [и др.]. – Текст: непосредственный // Вестник НГИЭИ. – 2022. – № 2 (129). – С. 41-55.

2. Бастрон, А. В. Исследование несимметричных режимов работы внутренних электрических сетей индивидуальных жилых домов в сельской местности / А. В. Бастрон, И. В. Наумов. – Текст: непосредственный // Вестник НГИЭИ. – 2022. – № 6. – С. 44-58.

3. К вопросу о повышении эффективности проектных решений сельских распределительных электрических сетей / А. В. Бастрон, Т. Н. Бастрон, А. В. Чебодаев [и др.]. – Текст: непосредственный // Вестник НГИЭИ. – 2024. – № 7 (158). – С. 57-70.

4. Николаис, С. Д. Обзор интернета вещей для умного дома: проблемы и решения / С. Д. Николаис, Ю. В. Мищенко, Д.А. Сухарь. – Текст: непосредственный // Университетская наука. – 2022. – № 2 (14). – С. 170-177.

5. Проектирование системы «Умный дом» для загородного дома с управлением и контролем за устройствами / А. С. Пустовойтов, Д. О. Павлов, М. А. Чернов. – Текст: непосредственный // Евразийское Научное Объединение. – 2020. – № 9-2 (67). – С. 139-141.

6. Арыков, Л. Д. Системы «Умный дом», обзор технологий для создания энергоэффективных и автоматизированных домов / Л. Д. Арыков. – Текст: непосредственный // Завалишинские чтения'24: сборник докладов XIX Международной конференции по электромеханике и робототехнике, Санкт-Петербург, 16-17 апреля 2024 года. – Санкт-Петербург, 2024. – С. 27-30.

7. Наумов, И. В. О снижении потерь и повышении качества электроэнергии в электрических сетях индивидуальных домовладений / И. В. Наумов, С. В. Подъячих. – Текст: непосредственный // Электротехнологии и электрооборудование в АПК. – 2024. – Т. 71, № 4 (57). – С. 19-30.

8. Гусаров, В. А. Исследование показателей качества электрической энергии на вводе жилого

го индивидуального дома / В. А. Гусаров, С. В. Подъячих. – Текст: непосредственный // Научные исследования студентов в решении актуальных проблем АПК: материалы Всероссийской студенческой научно-практической конференции, п. Молодежный, 20-21 февраля 2025 года – п. Молодежный, 2025. – С. 812-816.

9. Mahapatra, Bandana, Nayyar, Anand. (2022). Home energy management system (HEMS): concept, architecture, infrastructure, challenges and energy management schemes. *Energy Systems*. 13. DOI: 10.1007/s12667-019-00364-w.

10. Ijala, Abdullahi, Idowu-Bismark, Bode, Jemitola, Paul, et al. (2024). Artificial neural network-based home energy management system for smart homes. *Computer and Telecommunication Engineering*. 2. 2372. DOI: 10.54517/cte.v2i1.2372.

References

1. Bastron A.V., Bastron T.N., Chebodaev A.V., Naumov I.V., Podyachikh S.V. K voprosu o povyshenii effektivnosti proektnykh resheniy pri razrabotke vnutrennikh elektricheskikh setey selskikh domovladieniy // Vestnik NGIEI. 2022. No. 2 (129). S. 41–55.

2. Bastron A.V., Naumov I.V. Issledovanie nesimmetrichnykh rezhimov raboty vnutrennikh elektricheskikh setey individualnykh zhilykh domov v selskoy mestnosti // Vestnik NGIEI. 2022. No. 6. S. 44–58.

3. Bastron A.V., Bastron T.N., Chebodaev A.V., Naumov I.V., Podyachikh S.V. K voprosu o povyshenii effektivnosti proektnykh resheniy selskikh raspredelitelnykh elektricheskikh setey // Vestnik NGIEI. 2024. No. 7 (158). S. 57–70.

4. Nikolais S.D., Mishchenko Yu.V., Sukhar D.A. Obzor interneta veshchey dlya umnogo

doma: problemy i resheniya // Universitetskaya nauka. 2022. No. 2 (14). S. 170-177.

5. Pustovoytov A.S., Pavlov D.O., Chernov M.A., Zemlyanskiy L.O., Aleksandrov N.V. Proektirovanie sistemy “Umnyy dom” dlya zagorodnogo doma s upravleniem i kontrolem za ustroystvami // Evraziyskoe Nauchnoe Obединenie. 2020. No. 9-2 (67). S. 139-141.

6. Arykov L.D. Sistemy “Umnyy dom”, obzor tekhnologiy dlya sozdaniya energoeffektivnykh i avtomatizirovannykh domov // Zavalishinskiye chteniya 24. Sbornik dokladov XIX Mezhdunarodnoy konferentsii po elektromekhanike i robototekhnike. Sankt-Peterburg, 2024. S. 27-30.

7. Naumov I.V., Podyachikh S.V. O snizhenii poter i povyshenii kachestva elektroenergii v elektricheskikh setyakh individualnykh domovladieniy // Elektrotekhnologii i elektrooborudovanie v APK. 2024. T. 71. No. 4 (57). S. 19-30.

8. Gusarov V.A., Podyachikh S.V. Issledovanie pokazateley kachestva elektricheskoy energii na vvode zhilogo individualnogo doma // Nauchnye issledovaniya studentov v reshenii aktualnykh problem APK. Materialy Vserossiyskoy studencheskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii. p. Molodezhnyy, 2025. S. 812-816.

9. Mahapatra, Bandana, Nayyar, Anand. (2022). Home energy management system (HEMS): concept, architecture, infrastructure, challenges and energy management schemes. *Energy Systems*. 13. DOI: 10.1007/s12667-019-00364-w.

10. Ijala, Abdullahi, Idowu-Bismark, Bode, Jemitola, Paul, et al. (2024). Artificial neural network-based home energy management system for smart homes. *Computer and Telecommunication Engineering*. 2. 2372. DOI: 10.54517/cte.v2i1.2372.



УДК 004.001

DOI: 10.53083/1996-4277-2026-256-2-70-78

М.Ю. Карелина, А.А. Акулов, В.Д. Кутков, Д.С. Талдыкин

M.Yu. Karelina, A.A. Akulov, V.D. Kutkov, D.S. Taldykin

РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ ТЕХНИЧЕСКОГО ЗРЕНИЯ ДЛЯ ОЦЕНКИ СОСТОЯНИЯ ТЕПЛИЧНЫХ КУЛЬТУР

DEVELOPMENT OF A VISION SYSTEM TO EVALUATE GREENHOUSE CROP CONDITION

Ключевые слова: техническое зрение, мониторинг теплиц, сегментация растительности, спектральные индексы, анализ текстуры GLCM, фенотипирование растений.

Keywords: machine vision, greenhouse monitoring, vegetation segmentation, spectral indexes, GLCM texture analysis, plant phenotyping.