Научная статья
УДК 631.544.4:628.9:621.383.52:004.8
doi:10.35694/YARCX.2022.57.1.011

РАЗРАБОТКА ПРОГРАММЫ ДЛЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО УПРАВЛЕНИЯ ВАРИАЦИЯМИ ОСВЕЩЕНИЙ В ПРОМЫШЛЕННЫХ ТЕПЛИЦАХ В MASTERSCADA 4D

Ирина Марковна Соцкая[1], Роман Дмитриевич Адакин[2], Татьяна Николаевна Несиоловская[3], Максим Андреевич Ситчихин[4]
[1, 2, 4]Ярославская государственная сельскохозяйственная академия, Ярославль, Россия
[3]Ярославский государственный технический университет, Ярославль, Россия
[1]i.sockaya@yarcx.ru
[2]adakin@mail.ru, ORCID 0000-0003-3330-9787
[3]nesiolovskayatn@ystu.ru
[4]9710@student.yarcx.ru

Реферат. Цель работы – разработать программу управления вариациями освещения в промышленных теплицах (написать программный код на языке ST – Structured Text в соответствии с ГОСТ Р МЭК 61131-3-2016) в MasterSCADA 4D. Известно, что в процессе роста различных культур их потребности в освещённости и оттенках цвета меняются. Программа позволяет управлять яркостью светодиодов, длительностью свечения, цветом спектра светильника в зависимости от вида возделываемых культур в условиях промышленной теплицы. Программа рассчитана на управление светодиодными светильниками RGB или светодиодными лентами RGB, поскольку они могут менять свой цвет свечения. Светодиодные ленты можно размещать вплотную к растениям, тем самым компенсируя малую мощность светодиодов. Показано, что в белом цвете находится весь спектр цветов, но для культур яркость отдельных тонов, входящих в белый цвет, недостаточна. Предложено использовать при досвечивании основные светильники с белым свечением, а для усиления требуемых оттенков спектра – регулируемые светодиодные ленты RGB. Программа состоит из графических окон, в которых можно настраивать указанные параметры освещения под каждый вид культур, растущих модульно (секторами), обеспечивая тем самым оптимальные условия для их роста и развития. Кроме того, в программе есть возможность ввода коэффициентов, характеризующих длину волны каждого спектра цвета. Для наилучшего развития конкретного вида культуры можно разработать схему сопровождения роста индивидуально подобранными оттенками цветов.

Ключевые слова: *промышленные теплицы, досвечивание, автоматизированные системы управления освещением, программа на языке ST, MasterSCADA 4D, CodeSys*

DEVELOPMENT OF A PROGRAM FOR AUTOMATED CONTROL OF LIGHTING VARIATIONS IN INDUSTRIAL GREENHOUSES MASTERCADA 4D

Irina M. Sotskaya[1], Roman D. Adakin[2], Tatyana N. Nesiolovskaya[3], Maksim A. Sitchikhin[4]
[1, 2, 4]Yaroslavl State Agricultural Academy, Yaroslavl, Russia
[3]Yaroslavl State Technical University, Yaroslavl, Russia
[1]i.sockaya@yarcx.ru
[2]adakin@mail.ru, ORCID 0000-0003-3330-9787
[3]nesiolovskayatn@ystu.ru
[4]9710@student.yarcx.ru

Abstract. The purpose of the work is to develop a program for managing lighting variations in industrial greenhouses (write a program code in ST – Structured Text in accordance with GOST R IEC 61131-3-2016) in MasterSCADA 4D. It is known that during the growth of various crops, their needs for illumination and shades of color change. The program allows you to control the brightness of LEDs, the duration of the glow,

the color of the lamp spectrum depending on the type of crops cultivated in the industrial greenhouse. The program is designed to control RGB LED lamps or RGB LED strips, as they can change their glow color. LED strips can be placed close to plants, thereby compensating for the low power of LEDs. It is shown that in white there is the entire spectrum of colors, but for crops the brightness of individual tones included in white is insufficient. It is proposed to use the main lighting fixtures with white glow during illumination, and to enhance the required spectrum shades – adjustable RGB LED strips. The program consists of graphic windows in which you can adjust the specified lighting parameters for each type of crop growing modularly (in sectors), thereby providing optimal conditions for their growth and development. In addition, the program has the ability to enter coefficients characterizing the wavelength of each color spectrum. For the best development of a particular crop a scheme can be developed to accompany growth with individually selected shades of colors.

Keywords: *industrial greenhouses, lighting, automated lighting control systems, ST program, MasterSCADA 4D, CodeSyst*

Введение. В настоящее время в промышленных теплицах широко применяют досвечивание выращиваемых культур. В периоды года с коротким световым днём система досвечивания позволяет получать более высокие урожаи. В промышленных теплицах используют различные комбинации спектров освещения: белый с красным, красный с синим, красный с красным дальним. Регулировку яркости освещения производят путём перемещения светильника по высоте.

В Пензенском государственном аграрном университете разработана система, автоматически управляющая осветительным оборудованием в промышленных теплицах в зависимости от уровня естественной освещённости [1]. Она обоснована тем, что в промышленных теплицах используют большое количество светильников преимущественно марок ДНаТ мощностью около 600 Вт, приблизительно 4000–5000 шт. для теплицы площадью около 10 га, при этом за месяц электропотребление составляет около 3000 кВт·ч. Система позволяет экономить около 15% электроэнергии, что составляет больше одного миллиона рублей.

Т. М. Рогатовских, В. А. Кирина отмечают, что для каждой культуры в отдельности требуется определённое количество световой энергии в день, например, для томата – 1500 Дж [2]. Поступающая к культурам солнечная радиация различается по количеству в зависимости от световой зоны России и месяца года, соответственно, для каждой культуры необходимо восполнить этот недостаток. В весенне-летний период, наоборот, досвечивание не требуется, поскольку растения получают требуемое количество солнечной радиации естественным путём.

Для энергосбережения в промышленных теплицах предлагается устанавливать отражатели и применять прожекторы со сменной цветовой оптикой [3].

Энергосберегающая технология автоматизированного управления в осветительной сети должна быть построена на гибкой системе создания световых режимов, адаптированной к внешним переменным параметрам, а также включать в себя систему диагностирования эксплуатационных расходов и контроля качества работы сети [4].

Существующие функциональные особенности автоматической системы управления: автоматическое управление режимами работы инженерных систем; поддержание заданных параметров микроклимата; отображение необходимой информации на экране контроллера, монитора или мобильного устройства; контроль и диагностика состояния исполнительного оборудования; удалённое управление в личном кабинете; своевременное оповещение персонала о нештатных ситуациях [5].

К недостаткам в существующих системах досвечивания, по нашему мнению, можно отнести:

1. не используется автоматизированная регулировка продолжительности освещения в зависимости от вида культур;
2. не используется изменение яркости освещения светильников с помощью цифрового управления;
3. нет программы по управлению изменением цвета спектра светильника в зависимости от фазы созревания растения;
4. нет программы, обеспечивающей возможность введения коэффициентов, характеризующих диапазон цвета свечения светильника, определяемых и подстраиваемых опытным путём.

Вышеперечисленные недостатки позволяют нам сделать вывод о том, что существующие системы освещения и досвечивания не в полной мере обеспечивают формирование высокой урожайности тепличных культур, поскольку не доукомплектованы специализированным программным обеспечением.

Цель работы – разработать программу (программный код на языке ST – Structured Text), позволяющую регулировать яркость, длительность свечения светильников, управлять цветом спектра светильника в зависимости от вида возделываемых культур в промышленных теплицах.

Для выполнения поставленной цели были определены следующие задачи:

1. Разработать программный код на языке ST, реализующий функцию управления времени включения и выключения освещения для различных культур.

2. Разработать программный код на языке ST, реализующий функцию управления яркостью светильников.

3. Разработать программный код на языке ST, позволяющий вводить коэффициенты, отвечающие за длину световой волны, а, соответственно, и за цвет освещения. Коэффициенты в программе необходимо запоминать и иметь возможность редактировать, в зависимости от отклика растений в процессе роста и развития.

4. Проверить работоспособность программы.

Методы и материалы. Обозначим главные факторы, которые влияют на рост и развитие культур и которые следует учитывать при разработке программы:

– время (длительность) освещения в течение дня;

– яркость освещения;

– цвет освещения.

Обеспечение необходимой вариации этих трёх факторов в требуемых диапазонах для каждой культуры в отдельности будет способствовать росту урожайности и повышению качества продукции.

Известно, что растения делятся на растения длинного светового дня (10–14 часов) и короткого (8–10 часов) [6]. В связи с этим растениям длинного светового дня требуется освещения намного больше по времени, чем растениям короткого светового дня. Поэтому первый пункт в нашей программе учитывает временной фактор для различных растений (рис. 1).

Важную роль играет количество и периодичность освещённости. Для плодоносящих растений нужно больше солнца, чем для зеленных культур. В случае нехватки солнечного света программа включает освещение на требуемый период. Причём культурам необходим отдых без света 5–6 часов.

Эффективность освещения может быть определена по формуле YPF (Yield Photon Flux – выход потока фотонов) [7]:

$$YPF = \frac{\eta}{100} \cdot \left[1{,}15 + \frac{35 \cdot Ra - 2360}{CCT}\right], \text{мкмоль/Дж}, \quad (1)$$

где η – световая отдача, лм/Вт; *Ra* – общий индекс цветопередачи; *CCT* – коррелированная цветовая температура в градусах Кельвина.

LER (Luminaire Efficacy Rating) – рейтинг эффективности светильника. Параметр LER (лм/Вт) имеет ту же размерность, что и световая отдача η (лм/Вт), характеризующая светильник, но обо-

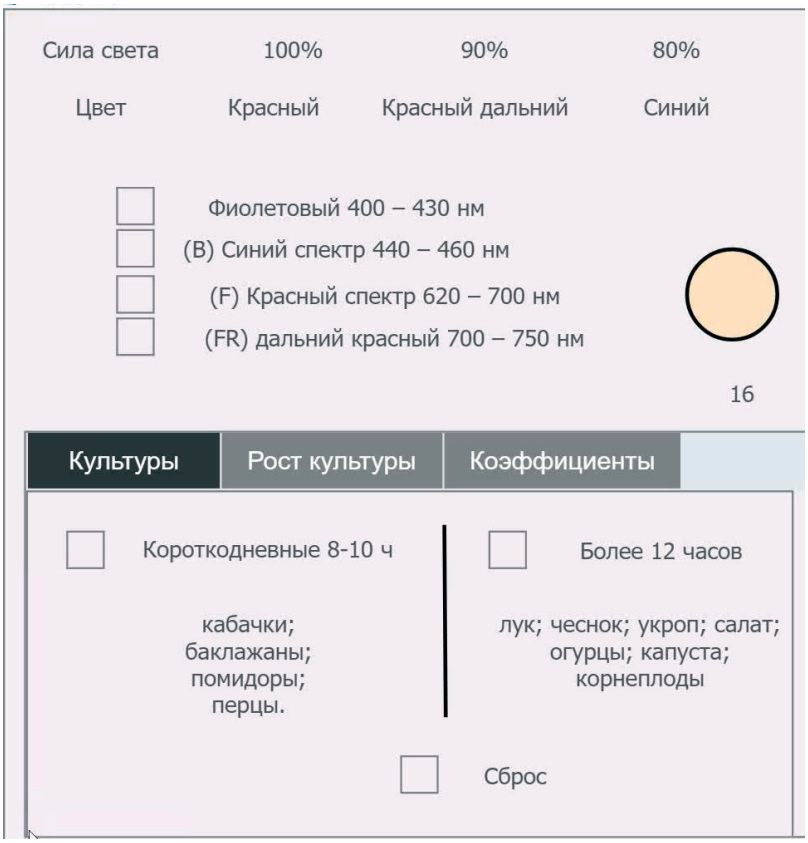

Рисунок 1 – Окно программы с выбором длины светового дня

значает световой поток в люменах, соответствующий одному ватту радиометрической мощности излучения.

LER слабо зависит от коррелированной цветовой температуры (КЦТ) и имеет значимый разброс при фиксированной цветопередаче *Ra* [8].

Зная величину LER (рис. 2), можно посчитать радиометрическую мощность свечения по формуле (2):

$$W = F / LER, \text{ Вт}, \quad (2)$$

где F – световой поток, лм [5].

Из графика (рис. 2) видно, что более эффективные светильники следует выбирать со значением Ra > 85, поскольку в этом случае значения LER будут минимальны. Тогда в формуле (2) получаем меньшее значение в знаменателе, что даёт большее значение мощности свечения W.

Результаты исследований. Разработанная нами программа позволяет регулировать яркость светильников за счёт использования стандартных блоков – инкрементов.

Программа MasterSCADA 4D передаёт установочные значения яркости на заранее настроенный OPC-server, а он, в свою очередь, на контроллер mega-2650. С широтно-импульсной модуляции (ШИМ) выхода контроллера значение подаётся на

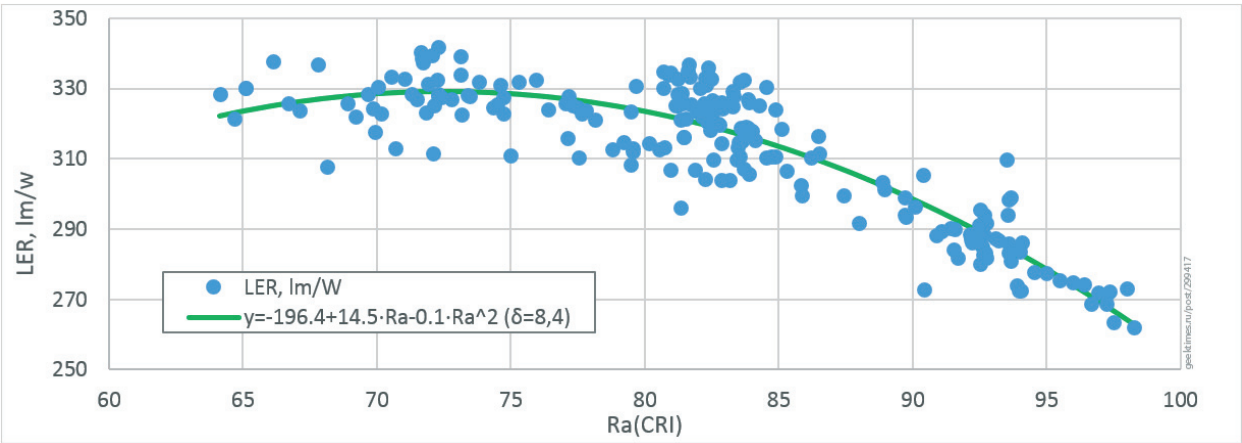

Рисунок 2 – Зависимость LER белого светодиодного света от общего индекса цветопередачи

микросхему-диммер, которая определяет нулевое значение переменного тока как базовое отсчётное время и позволяет срезать часть синусоиды, регулируя тем самым плавно мощность, подаваемую на светильник. В случае использования светодиодных светильников режима RGB (рис. 3), можно регулировать оттенки цветов через специальные микросхемы. На микросхему подаётся управляющий ШИМ-сигнал с контроллера, и параллельно также на входы микросхемы подаётся мощное

Рисунок 3 – Досвечивание розовым цветом

питание для большого количества светильников. Регулирование происходит посредством изменения выдаваемой величины напряжения с питающих выводов микросхемы на требуемый светодиод со своим цветом.

В случае, когда в теплице выращиваются модульно различные культуры с разной фазой созревания, имеет смысл настроить светильники на соответствующий спектр цвета. Программа позволяет выполнить требуемые настройки освещения для каждой зоны индивидуально (рис. 4).

Рассмотрим вопрос использования светильников с различными цветами свечения, или с различной длиной световой волны. В промышленных

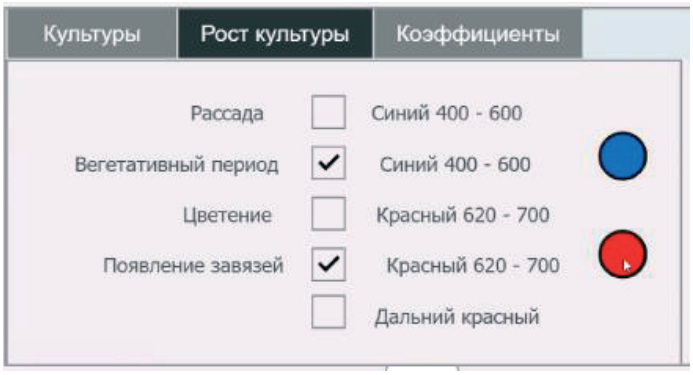

Рисунок 4 – Выбор цвета светодиода в зависимости от фазы созревания культуры

теплицах используют светильники с белым цветом либо комбинированные – с белым и красно-синим цветами. Обратимся к рисунку 5, на котором показан весь спектр цветов, присутствующих в белом цвете. Видим, что цвета распределяются по яркости неравномерно, большую яркость свечения имеет синий цвет, а красный – меньшую.

На разных фазах своего развития растения поглощают требуемые им спектры цвета, а ненужные игнорируют. Причём эти потребности в оттенках спектра изменяются во времени. Однако в белом цвете одного светильника яркость различных оттенков цветов недостаточна, это видно при сравнении двух рисунков – 5 и 6. Так, например,

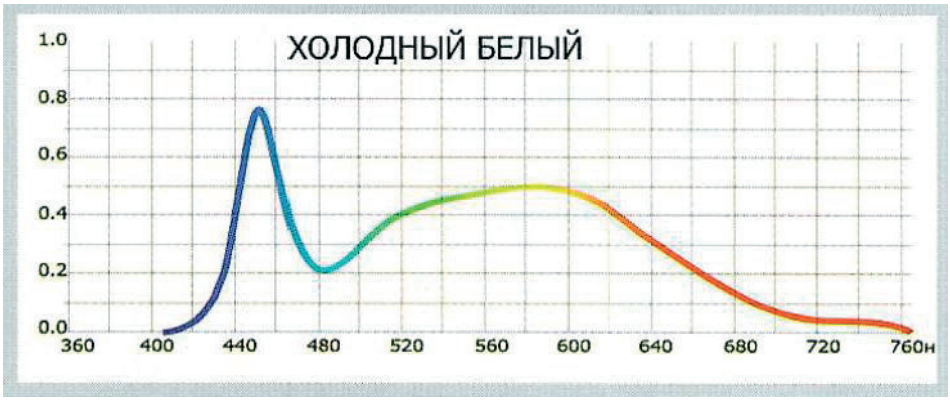

Рисунок 5 – Диаграмма спектра белового цвета

на рисунке 5 красный спектр 650 нм, являющийся составной частью белого цвета, составляет 0,2 ед., а на рисунке 6 красный спектр 650 нм представлен отдельным светильником с высокой яркостью и составляет 1 ед.

На графике рисунка 6 видим совмещение яркости свечения двух светильников – белого и красного спектров. В результате красный спектр преобладает, что говорит о необходимости устанавливать дополнительные светильники либо белый светильник, но большей яркости, обеспечивающей требуемую силу свечения красных и синих тонов, входящих в этот спектр. В основном все светильники выделяют тепло, и чем больше их мощность, тем больше тепла они выделяют. Поэтому вблизи с растениями их использовать не рекомендуется, так как они могут навредить стеблям и листьям высокой температурой. Лучше всего в этом плане подходят светодиодные светильники или ленты. Они не выделяют тепла, и их можно размещать практически вплотную к растениям (рис. 3), использовать в качестве дополнительных

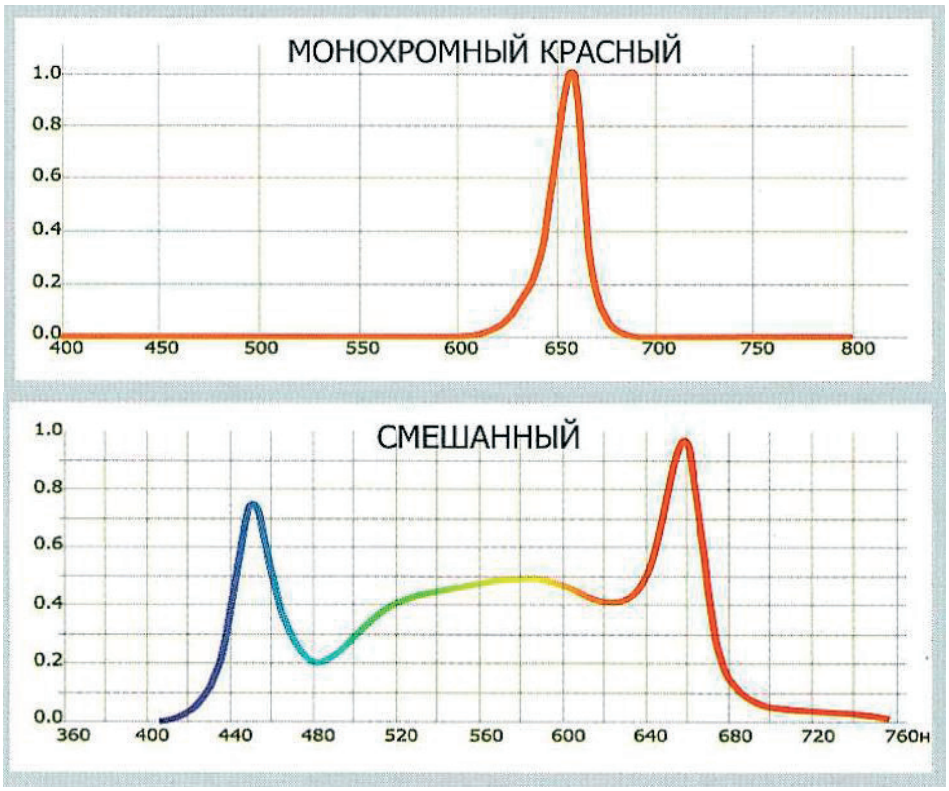

Рисунок 6 – Спектр красного цвета и спектр красного, наложенного на белый цвет

светильников для досвечивания при наличии в теплице основных светильников с мощным ярким свечением белого цвета, рисунок 7.

Белый цвет содержит весь цветовой спектр, но яркость отдельных тонов, входящих в белый цвет, недостаточна для выращиваемых культур, поэтому разработанная программа позволяет регулировать усиление необходимых оттенков спектра светодиодными лентами RGB.

В разработанной нами программе существует также возможность изменять коэффициенты длины световых волн – красного к дальнему красному (R/FR) и красного к синему (R/B), рисунок 8. Каждый цвет находится в определённом диапазоне длины волн, и выбор двух значений в диапазонах длин волны позволяет корректировать эффективность светодиодных светильников, используемых в промышленных теплицах.

Рисунок 7 – Освещение теплицы белыми светильниками

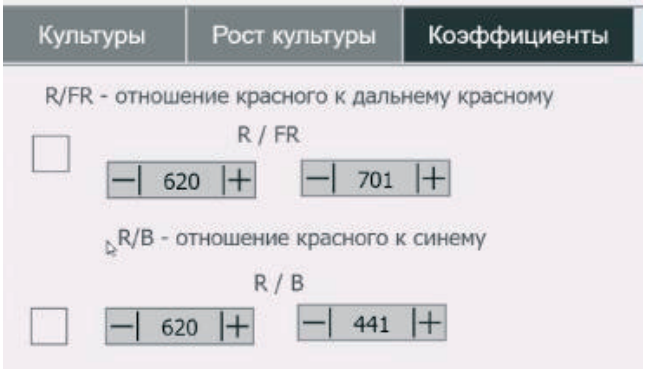

Рисунок 8 – Окно программы для выбора коэффициентов освещения

Так, например, синий спектр 440–460 нм способствует росту корневой системы и листьев, повышает фотосинтез выращиваемых в теплице культур; красный спектр 620–700 нм стимулирует выработку углеводов и их дальнейшую транспортировку, что приводит к быстрому развитию плодов или цветоносов; и др. [9]. Варьируя коэффициентами, отвечающими за цветовой диапазон, можно достичь хороших результатов роста растений и плодов. Значения коэффициентов необходимо подбирать экспериментально для каждой культуры в отдельности, что становится возможным благодаря разработанной программе. Вся программа помещена в блок FBD (рис. 9), в котором сосредоточен код в несколько страниц на языке Structured Text (ST). Язык программирования ST (ГОСТ Р МЭК 61131-3-2016) используется в большинстве контроллеров ведущих мировых брендов.

Программа была проверена на работоспособность в рамках управления вариациями освещений объектов в среде MasterSCADA 4D, в режиме Run-Time [10].

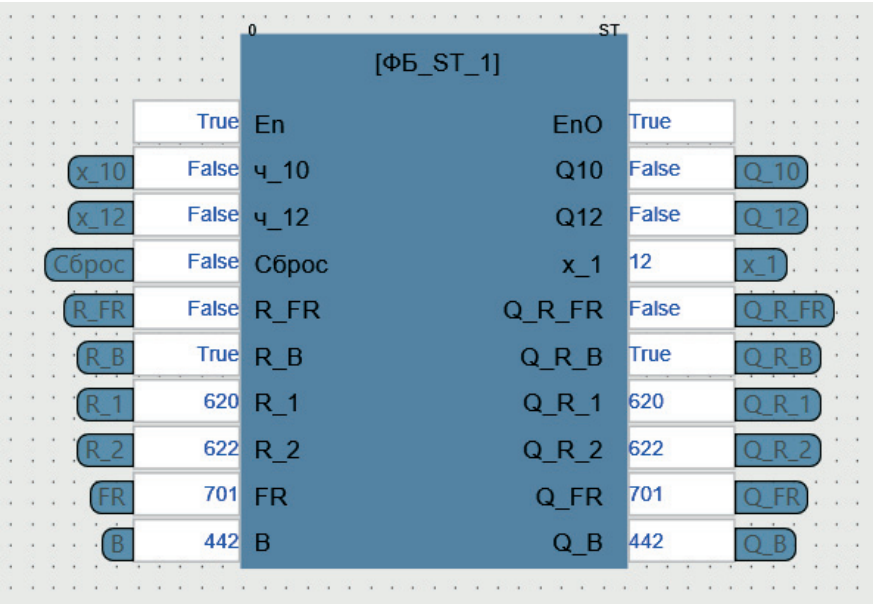

Рисунок 9 – Блок программы в формате языка FBD

Вывод. Разработана программа по управлению освещением и досвечиванием культур в промышленных теплицах. Программа позволяет управлять временем светового дня и отдыха растений, яркостью свечения и цветовым оттенком свечения, то есть длиной световой волны. С помощью данной программы осуществляется подбор коэффициентов, отвечающих за цвет свечения светодиодных светильников, что способствует повышению урожайности тепличных культур и качеству получаемой продукции.

Список источников

1. Ассонова, М. Л. Энергосберегающие технологии для систем освещения промышленных теплиц / М. Л. Ассонова. – Текст : непосредственный // Новые информационные технологии в автоматизированных системах. – 2014. – № 17. – С. 456–459. – ISSN 2227-0973.
2. Рогатовских, Т. М. Сравнительный анализ технологии досвечивания тепличных культур, с применением натриевых ламп и комбинированной технологии (натриевые + светодиодные лампы) / Т. М. Рогатовских, В. А. Кирина. – Текст : электронный // Аллея науки. – 2019. – Т. 3, № 12 (39). – С. 255–259. – eISSN 2587-6244. – URL: https://www.elibrary.ru/download/elibrary_42517196_66873147.pdf (дата обращения: 22.01.2022).
3. Антуфьев, И. А. Энергосберегающая фабрика-теплица для интенсивного растениеводства / И. А. Антуфьев. – Текст : электронный // Вестник ВИЭСХ. – 2012. – № 3 (8). – С. 36–39. – ISSN 2304-5868.
4. Ключка, Е. П. Применение энергосберегающих устройств и технологий в промышленном тепличном производстве / Е. П. Ключка. – Текст : электронный // Инновации в сельском хозяйстве. – 2017. – № 3 (24). – С. 83–90.
5. Силуянов, И. Автоматизация для тепличного бизнеса / И. Силуянов. – Текст : электронный // Автоматизация и производство. – 2020. – № 2 (51). С. 22–24. – URL: https://owen.ru/uploads/248/aip_51-alls2-22-24.pdf (дата обращения: 18.01.2022).
6. Освещение теплицы светодиодными лампами: особенности и преимущества, виды и способы монтажа своими руками. – URL: https://toolprokat43.ru/sistemy-osveshcheniya/led-osveshchenie-v-teplicy.html (дата обращения: 10.02.2022). – Текст : электронный.
7. Освещение растений белыми светодиодами. – URL: https://habr.com/ru/post/406663/ (дата обращения: 10.02.2022). – Текст : электронный.
8. Оценить PPFD при освещении растения белыми светодиодами просто. – URL: https://habr.com/ru/post/411099/ (дата обращения: 10.02.2022). – Текст : электронный.
9. Два основных эффекта светодиода дальнего красного цвета с длиной волны 730 нм на рост растений. – URL: https://brandhub.su/blog/sovety-pokupatelyam/vazhno-dva-osnovnykh-effekta-svetodioda-dalnego-krasnogo-tsveta-s-dlinoy-volny-730-nm-na-rost-rasten/ (дата обращения: 15.12.2021). – Текст : электронный.
10. Освещение промышленных теплиц – URL: https://www.youtube.com/watch?v=6wzUAgPHNzA (дата обращения: 15.12.2021). – Текст : электронный.

References

1. Assonova, M. L. Jenergosberegajushhie tehnologii dlja sistem osveshhenija promyshlennyh teplic / M. L. Assonova. – Tekst : neposredstvennyj // Novye informacionnye tehnologii v avtomatizirovannyh sistemah. – 2014. – № 17. – S. 456–459. – ISSN 2227-0973.
2. Rogatovskikh, T. M. Sravnitel'nyj analiz tehnologii dosvechivanija teplichnyh kul'tur, s primeneniem natrievyh lamp i kombinirovannoj tehnologii (natrievye + svetodiodnye lampy) / T. M. Rogatovskikh, V. A. Kirina. – Tekst : jelektronnyj // Alleja nauki. – 2019. – T. 3, № 12 (39). – S. 255–259. – eISSN 2587-6244. – URL: https://www.elibrary.ru/download/elibrary_42517196_66873147.pdf (data obrashhenija: 22.01.2022).
3. Antuf'ev, I. A. Jenergosberegajushhaja fabrika-teplica dlja intensivnogo rastenievodstva / I. A. Antuf'ev. – Tekst : jelektronnyj // Vestnik VIJeSH. – 2012. – № 3 (8). – S. 36–39. – ISSN 2304-5868.
4. Klyuchka, E. P. Primenenie jenergosberegajushhih ustrojstv i tehnologij v promyshlennom teplichnom proizvodstve / E. P. Klyuchka. – Tekst : jelektronnyj // Innovacii v sel'skom hozjajstve. – 2017. – № 3 (24). – S. 83–90.
5. Siluyanov, I. Avtomatizacija dlja teplichnogo biznesa / I. Siluyanov. – Tekst : jelektronnyj // Avtomatizacija i proizvodstvo. – 2020. – № 2 (51). S. 22–24. – URL: https://owen.ru/uploads/248/aip_51-alls2-22-24.pdf (data obrashhenija: 18.01.2022).
6. Osveshhenie teplicy svetodiodnymi lampami: osobennosti i preimushhestva, vidy i sposoby montazha svoimi rukami. – URL: https://toolprokat43.ru/sistemy-osveshcheniya/led-osveshchenie-v-teplicy.html (data obrashhenija: 10.02.2022). – Tekst : jelektronnyj.
7. Osveshhenie rastenij belymi svetodiodami. – URL: https://habr.com/ru/post/406663/ (data obrashhenija: 10.02.2022). – Tekst : jelektronnyj.
8. Ocenit' PPFD pri osveshhenii rastenija belymi svetodiodami prosto. – URL: https://habr.com/ru/post/411099/ (data obrashhenija: 10.02.2022). – Tekst : jelektronnyj.
9. Dva osnovnyh jeffekta svetodioda dal'nego krasnogo cveta s dlinoj volny 730 nm na rost rastenij. – URL: https://brandhub.su/blog/sovety-pokupatelyam/vazhno-dva-osnovnykh-effekta-svetodioda-dalnego-krasnogo-tsveta-s-dlinoy-volny-730-nm-na-rost-rasten/ (data obrashhenija: 15.12.2021). – Tekst : jelektronnyj.
10. Osveshhenie promyshlennyh teplic – URL: https://www.youtube.com/watch?v=6wzUAgPHNzA (data obrashhenija: 15.12.2021). – Tekst : jelektronnyj.

Сведения об авторах

Ирина Марковна Соцкая – кандидат технических наук, доцент, заведующая кафедрой технического сервиса, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Ярославская государственная сельскохозяйственная академия», spin-код: 9559-1004.

Роман Дмитриевич Адакин – доцент кафедры технического сервиса, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Ярославская государственная сельскохозяйственная академия», spin-код: 2792-4702.

Татьяна Николаевна Несиоловская – доктор технических наук, профессор кафедры управления предприятием, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Ярославский государственный технический университет», spin-код: 2060-3887

Максим Андреевич Ситчихин – обучающийся инженерного факультета, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Ярославская государственная сельскохозяйственная академия».

Information about the authors

Irina M. Sotskaya – Candidate of Technical Sciences, Docent, Head of the Department of Technical Service, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Yaroslavl State Agricultural Academy", spin-code: 9559-1004.

Roman D. Adakin – Associate Professor of the Department of Technical Service, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Yaroslavl State Agricultural Academy", spin-code: 2792-4702.

Tatyana N. Nesiolovskaya – Doctor of Technical Science, Professor of the Department of Enterprise Management, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Yaroslavl State Technical University", spin-code: 2060-3887.

Maksim A. Sitchikhin – student of the Faculty of Engineering, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Yaroslavl State Agricultural Academy".

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.
Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.