

Энергетика. Автоматика

А.Н. Козлов, С.А. Ракутько

ОТКЛОНЕНИЯ СПЕКТРА ИСТОЧНИКОВ СВЕТА И ЭНЕРГОЕМКОСТЬ ПРОЦЕССА ОБЛУЧЕНИЯ РАСТЕНИЙ

The influence of greenhouse light sources radiation spectrum on power consumption of plant irradiation process is shown. It is noted that actions on provision of more exact match the radiation spectrum of used light sources to required values are energies saving ones.

Принцип строгой нормируемости всех параметров оптического излучения (ОИ) в промышленной световой технологии интенсивного выращивания культур подразумевает обеспечение соответствия реальных параметров применяемых источников света (ИС) заданным. Прежде всего это справедливо для спектральных параметров. Особое внимание к ним объясняется следующими факторами: специфичностью воздействия разноспектрального ОИ на растения; трудностью текущего контроля спектральных параметров в процессе эксплуатации ИС; отсутствием заводского контроля спектральных параметров ИС, в связи с чем в документации на них нет значений исходных параметров; статистическим разбросом параметров ИС, обусловленным особенностями технологии их изготовления; значительной зависимостью основных параметров ИС как от величины питающего напряжения, проявляющейся при отклонениях и колебаниях напряжения в сети, так и от эксплуатационных воздействий (времени наработки, климатических условий, режимов эксплуатации и т.д.).

Исследованиями установлено, что различные виды растений требуют различного спектрального состава излучения, причем оптимум выражен достаточно четко. В настоящее время в соответствии с действующими в отрасли методиками спектральный состав излучения характеризуется соотношением интенсивности излучения трех спектральных диапазонов $k_i, \%$: синего $k_{син}$ (400..500 нм), зеленого $k_{зел}$ (500..600 нм) и красного $k_{кп}$ (600..700 нм). Для некоторых светокультур найдены спектральные соотношения, обеспечивающие наилучшие результаты. Например: для огурца – $k_{син} : k_{зел} : k_{кп} = 17\% : 40\% : 43\%$, для томата – $k_{син} : k_{зел} : k_{кп} = 15\% : 17\% : 68\%$ (средние из приведенных в [4]).

Для оценки и сравнения эффективности воздействия разноспектрального излучения в условиях светокультуры нами был предложен критерий, позволяющий учесть как биологические особенности растений, так и реальные спектральные характеристики применяемых ИС [3]. Таким критерием предложено считать показатель, характеризующий близость спектрального состава излучения к требуемому (коэффициент отклонения спектра k_s)

$$K_s = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (k_i - k_{ин})^2}, \quad (1)$$

где k_i и $k_{ин}$ – соответственно действительная и нормируемая доли энергии потока излучения ИС в i -м спектральном диапазоне; n – количество контролируемых фотосинтетически активных спектральных диапазонов.

Равенство k_s нулю свидетельствует о соответствии

спектрального состава излучения заданному. С другой стороны, любые отклонения спектральных параметров от нормируемых приводят к увеличению значения k_s – тем больше, чем больше спектральные отклонения имеют место.

Покажем связь между коэффициентом отклонения спектра и энергоемкостью процесса облучения растений. Методологической основой анализа является метод конечных отношений (МКО), предложенный В.Н. Карповым [2].

В основе метода лежит характеристика любого этапа энерготехнологического процесса (ЭТП) в искусственной энергетической системе (ИЭС) потребителя величиной энергоемкости.

На каждом этапе преобразования энергии неизбежно возникают ее потери. Энергия Q_n , подаваемая на начало некоторого этапа ЭТП, преобразуется в энергию Q_k на выходе этапа и энергию потерь ΔQ . Закон сохранения энергии представляет собой исходное уравнение энергетического баланса элемента ИЭС

$$Q_n = \Delta Q + Q_k. \quad (2)$$

Обобщенным параметром, характеризующим эффективность преобразования энергии на некотором этапе является энергоемкость этапа ε – как отношение величины энергии на входе данного этапа к энергии на его выходе.

Величина энергоемкости определяется по формуле

$$\varepsilon = \frac{Q_k}{Q_n}. \quad (3)$$

Для облучательных установок передаваемая растениям лучистая энергия характеризуется величиной дозы $H_0, \text{Вт} \cdot \text{ч}/\text{м}^2$, определяемой как произведение создаваемой облученности $E_0, \text{Вт}/\text{м}^2$ и времени облучения $T, \text{ч}$.

$$H_0 = E_0 \cdot T. \quad (4)$$

При отсутствии данных о требуемом спектральном составе излучения для растений под облученностью понимается создаваемая интегральная облученность как поверхностная плотность энергии всего диапазона длин волн, генерируемых ИС. Для разноспектрального излучения нормируемыми величинами становятся дозы излучения $H_i, \text{Вт} \cdot \text{ч}/\text{м}^2$ в отдельных спектральных диапазонах:

$$H_i = E_i \cdot T, \quad (5)$$

где E_i – облученность в i -м спектральном диапазоне, $\text{Вт}/\text{м}^2$.

$$E_i = k_i \cdot E_0 \quad (6)$$

Однако, как правило, применяемые ИС имеют спектральный состав излучения, отличный от оптимального. Более того, анализ спектральных параметров промышленно выпускаемых ИС, представленных в таблице, показывает, что не существует ИС, спектр излучения которого точно соответствует указанным выше оптимальным для выращивания культур спектральным соотношениям.

Использование ИС со спектральным составом, не соответствующим оптимальному для облучаемых растений, ведет к дополнительным потерям, природа которых связана с необходимостью обеспечить требуемую дозу облучения в определенном «дефицитном» спектральном диапазоне, завывсив ее в других диапазонах на некоторую ве-

Спектральные характеристики ИС. Оценка эффективности применения ИС в светокультуре

Тип ИС	Спектр излучения, %			Энергоемкость для светокультур, отн.ед.		Компоновка ИС для светокультуры	
	$k_{син}$	$k_{зел}$	$k_{кп}$	огурца, $\epsilon_{ог}$	томата, $\epsilon_{том}$	огурца	томата
ДРЛФ400	26	56	18	2,4	3,8	х	
ЛОРИ1000	43	14	43	2,9	1,6		х
ДРФ1000	33	50	17	2,5	4,0	х	
ДНаТ400	7	56	37	2,4	2,1		х
ДРИ400-6	39	43	18	2,4	3,8	х	
ЛН	14	34	52	1,2	1,3	х	
ЛФР150	20	17	63	2,4	1,1		х
ДМГФ-1000 Э	20	40	40	1,1	1,7	х	

личину k_3 , которую можно назвать коэффициентом завышения:

$$k_3 = \text{MAX} \left\{ \frac{k_{ин}}{k_i} \right\}. \quad (7)$$

Требуемые дозы в i -х спектральных диапазонах

$$H_i^{треб} = H_0 \frac{k_{ин}}{100}. \quad (8)$$

Обеспечиваемые дозы в i -х спектральных диапазонах

$$H_i^{об} = k_3 \cdot H_0 \frac{k_i}{100}. \quad (9)$$

Интегральная обеспечиваемая доза

$$H^{об} = \sum_{i=1}^n H_i^{об}. \quad (10)$$

Избыточные дозы в i -х спектральных диапазонах

$$H_i^{изб} = H_i^{об} - H_i^{треб}. \quad (11)$$

Интегральная избыточная доза

$$H^{изб} = \sum_{i=1}^n H_i^{изб}. \quad (12)$$

В терминах МКО $Q_n = H^{об}$, $Q_k = H_0$ и $\Delta Q = H^{изб}$.

Опуская промежуточные вычисления, можно показать, что численное значение энергоемкости равно коэффициенту завышения, т.е.:

$$\epsilon = k_3. \quad (13)$$

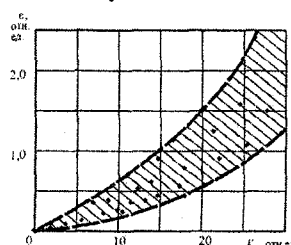


Рис. 1. Зависимость энергоемкости ϵ от величины коэффициента отклонения спектра K_3 .

При больших значениях K_3 наблюдаются большие значения ϵ .

В приведенной выше таблице также показаны вычисленные значения энергоемкости процесса облучения для культур огурцов и томатов и произведено отнесение дан-

ного ИС к светокультуре томатов или огурцов (т.е. компоновка облучательной установки), исходя из минимального значения обеспечиваемой энергоемкости.

ного ИС к светокультуре томатов или огурцов (т.е. компоновка облучательной установки), исходя из минимального значения обеспечиваемой энергоемкости.

Известны исследования зависимости спектрального состава излучения от величины питающего напряжения (без учета времени наработки ламп) [1]. Нами был исследован характер изменения спектрального состава излучения ламп ДРИ-2000 как при отклонениях питающего напряжения, так и в процессе эксплуатации ламп [5]. Лампы испытывались в селекционном комплексе Всесоюзного института растениеводства (г. Павловск).

На рис. 2 показан характер изменения интенсивности основных спектральных линий ламп ДРИ-2000 при отклонениях питающего напряжения. Значения напряжения питания заданы относительной величиной

$$K_U = U_n / U_n, \quad (14)$$

где U_n – текущее значение напряжения питания, В.; U_n – номинальное значение напряжения питания для ламп данного типа, В.

В начале эксплуатации лампы (время наработки $T_{экспл.} = 100$ ч) для линий добавок натрия и скандия (474, 510, 589 нм) характерно следование отклонениям напряжения при весьма широком диапазоне изменения их интенсивности (до $\pm 40\%$ от номинального значения в пределах отклонения напряжения $\pm 5\%$). У старых ламп (время наработки $T_{экспл.} = 4000$ ч) при тех же условиях электрического питания отклонения интенсивности излучения линий добавок наблюдаются в существенно меньшем диапазоне ($\pm 20\%$). Интенсивность излучения линий ртути (405, 435, 546 нм) у новых ламп при малых снижениях напряжения питания возрастает, достигает максимума при напряжении, близком к 0,95 от номинального значения, а затем падает. У старых ламп аналогичные изменения происходят в большем диапазоне значений.

Анализ проведенных теоретических и экспериментальных исследований позволяет сделать следующие выводы.

1. Для применяемых в светокультуре ИС характерно существенное отличие спектральных параметров выпускаемых промышленностью ламп от параметров, оптимальных для облучаемых растений.

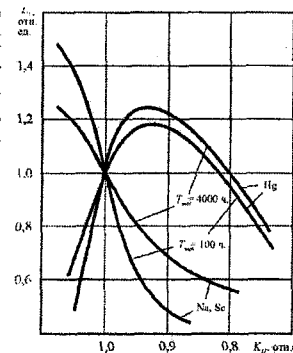


Рис. 2. Изменение интенсивности основных спектральных линий лампы ДРИ-2000 при отклонениях напряжения питания для ламп с различным временем наработки $T_{экспл.}$

2. В процессе эксплуатации ИС происходят значительные изменения интенсивности отдельных спектральных линий в потоке излучения. Существенны отличия в реакции отдельных спектральных линий излучения ламп с различным временем наработки на отклонения величины питающего напряжения.

3. Различия в характеристиках излучения отдельных спектральных линий при старении ламп и отклонениях напряжения питания приводят к изменению интенсивности физиологически значимых зон излучения. Компенсация этих изменений из-за старения ламп не может быть произведена путем изменения величины напряжения питания.

4. Реальным путем учета различий и изменений спектральных характеристик ламп по причине старения, отклонений величины питающего напряжения и технологического разброса параметров является компоновка групп ламп с близкими параметрами для совместной эксплуатации в одной ОУ.

5. Из выявленной взаимосвязи коэффициента отклонения спектра и энергоемкости процесса облучения растений следует, что мероприятия по обеспечению более

точного соответствия спектрального состава применяемых ИС требуемым значениям следует считать энергосберегающими.

6. Эксплуатационное энергосбережение в облучательных установках возможно путем нормализации параметров радиационной среды теплицы, основанной на определении реальных параметров ИС в процессе их аттестации.

1. Гулин С.В., Мельник В.В., Саакян А.З. Взаимосвязь спектральных и электрических параметров газоразрядных ламп при регулировании питания // Проблемы сельскохозяйственной светотехники. – Л., 1991. – С. 44-50.
2. Карпов В.Н. Энергосбережение: метод конечных отношений. – СПб., 2005.
3. Пат. 2053644 РФ, МПК⁶ А01G9/24, А01G31/02. Способ искусственного облучения растений в процессе выращивания / Ракутько С.А.; заявитель и патентообладатель. – №93008935/15; заявл. 17.02.93; опубл. 10.02.96.
4. Прикупец Л.Б., Тихомиров А.А. Оптимизация спектра излучения при выращивании овощей в условиях интенсивной светокультуры // Светотехника. – 1992. – № 3. – С. 5-7.
5. Ракутько С.А. Повышение эффективности использования тепличных облучательных установок на основе аттестации газоразрядных ламп: Автореф. дис. ...канд. техн. наук. – СПбГАУ, 1992.

Я.В. Кривохижа, Л.Я. Джунковская

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ СРЕДСТВ КОМПЕНСАЦИИ РЕАКТИВНОЙ МОЩНОСТИ НА ОСНОВЕ СИСТЕМНОГО ПОДХОДА

Comparative analysis of means to recovery reactive power viewed systems approach.

Спад промышленного производства в нашей стране в предыдущие годы привел к временной не востребоваемости систем компенсации реактивной мощности (КРМ) ввиду малого потребления полной мощности простаивающими предприятиями. Одновременно с этим происходили следующие процессы: существующие КРМ устаревали и выходили из строя, ставшая нередкой неполная удельная нагрузка промышленного оборудования привела к понижению доли активной мощности в полной и соответственно к понижению коэффициента активной мощности ($\cos \phi$). Ввод в работу оборудования после капитальных ремонтов (электродвигатели, трансформаторы и т.п.), работа в две смены вместо четырех – все это привело к повышенному поступлению в сеть реактивной энергии. На современном этапе, с ростом таких сфер производства как пищевая, перерабатывающая, горно-обогатительная промышленность, первичная металлообработка, добыча и переработка нефти и газа, вновь проявляется интерес к КРМ, который обуславливается рядом объективных факторов как административного, так и технического характера.

При исследовании реактивной мощности в электрических сетях следует отметить разделение потоков этой мощности в сетях высокого (ВН), среднего (СН) и низкого (НН) напряжения ввиду особенностей выработки и транспортировки в них активной и реактивной мощности. Однако оптимальное решение существующей проблемы КРМ одновременно на всех сетевых уровнях напряжений позволяет не только обеспечить наиболее эффективный режим работы электрических сетей, но и уменьшить приведенные затраты на их сооружение и эксплуатацию. Поэтому выбор компенсирующих устройств (КУ) и их оптимальное распределение между отдельными потребителями необходимо осуществлять с точки зрения системного подхода к решению задач КРМ как в части охвата электрической системы в целом, так и в плане привязки теоретических аспектов к особенностям практического внедре-

ния результатов [1]. Таким образом, цель данной работы – сравнительный анализ существующих средств КРМ, применяемых на различных сетевых уровнях, и их технических характеристик с точки зрения системного подхода к решению задач КРМ. Для реализации этой цели были определены следующие задачи:

произвести классификацию компенсирующих устройств, применяемых на различных уровнях напряжения; на основе сравнительного анализа технических характеристик рассматриваемых компенсирующих устройств предложить рекомендации по выбору и типу КУ в зависимости от вида сети и особенностей ее функционирования.

Суммарная потребляемая энергосистемой реактивная мощность в режиме наибольших нагрузок при нормальных условиях работы сети, как правило, превышает суммарную установленную активную мощность генераторов электростанций, имеющих ограничение возможности снабжения предприятий реактивной мощностью. Потребление реактивной мощности, пульсирующей с двойной частотой между источниками питания и электроприемниками, сопровождается увеличением тока, что приводит к дополнительным затратам на увеличение сечений проводников сетей и мощностей трансформаторов, создавая дополнительные потери электроэнергии. Кроме того, потери напряжения увеличиваются за счет реактивной составляющей, пропорциональной реактивной нагрузке и индуктивному сопротивлению, что понижает качество электроэнергии по уровню напряжения. Это вызывает неблагоприятные последствия, связанные с выходом из строя оборудования из-за повреждения изоляции, повышенными потерями электроэнергии от короны на проводах линий, увеличением уровня помех в каналах связи, необходимостью отключения линий электропередачи (ЛЭП) для уменьшения общей зарядной мощности линий и потреблением реактивной мощности генераторами электростанций. Для сохранения нормальных уровней напряжения при максимальной нагрузке необходимы соблюдение баланса реактивных мощностей и снижение потребления реактивной мощности предприятиями от энергосистемы, что обуславливает применение устройств КРМ [2].

Для уменьшения перепадов реактивной мощности по электрическим сетям компенсирующие устройства устанавливаются в непосредственной близости от мест ее потребления или генерации. На рынок сегодня выставле-