

Оценка состояния и перспектив развития систем облучения в современных тепличных комплексах

В.М. ПЧЕЛИН, И.Е. МАКАРОВА

ООО «Рефлэкс», Москва

E-mail: info@reflux.ru

Аннотация

Проводится анализ системы искусственного облучения, применяемой в современных тепличных хозяйствах с использованием светокультуры, и даётся оценка перспектив внедрения облучателей со светодиодами в эту систему с учётом сроков окупаемости по сравнению с традиционными облучателями с зеркальными натриевыми лампами ВД.

Ключевые слова: тепличное облучение, светокультура, разрядные натриевые лампы, ДНаЗ, светодиоды, эффективные системы облучения, облучательные установки, окупаемость.

Промышленное овощеводство в защищённом грунте представляет собой один из ключевых сегментов агропромышленного комплекса отечественной экономики и в настоящее время переживает период бурного развития.

По данным Ассоциации «Теплицы России», общая площадь промышленных теплиц в стране достигает 2500 га, из которых более 500 га – с системами технологического облучения, обеспечивающего возможность круглогодичного выращивания овощей (рис. 1). Интенсивному стро-

ительству новых теплиц способствует высокий потребительский спрос населения на свежие овощи в период межсезонья и государственный запрет на импорт овощей тепличной группы в Россию. Программа развития сельского хозяйства России на 2013–2020 гг. включает в перечень приоритетных направлений финансирования проекты создания и развития тепличных хозяйств с применением искусственного облучения. Только за 2017 г. размер площадей под светокультурой увеличился в 1,5 раза.

В структуре тепличного производства с использованием светокультуры 60 % составляет культура огурца (30 % занимают томаты и 10 % – зеленные культуры), поскольку именно огурец наиболее чувствителен к изменению уровня облучения. В результате модернизации теплиц с помощью системы облучения показатели урожайности огурца вырастают с 40–50 до 120–150 кг/м². При этом основной прирост приходится на зимнее время, когда цены на свежие овощи максимально высоки.

Для нормального роста растений и достижения высоких показателей урожайности требуется значительный уровень освещённости: от 10 до

30 клк. По энергозатратам крупные тепличные комплексы сопоставимы с небольшими городами и посёлками. Свет от них виден на расстоянии многих десятков километров. Очевидно, что при такой потребляемой мощности затраты на электроэнергию составляют значительную часть себестоимости производимой продукции, доходя до 30–40 %. В связи с этим повышение эффективности источников излучения (ИИ) и оптических схем для облучателей стало одной из важнейших задач производителей облучательного оборудования для тепличной отрасли.

Более 20 лет назад в России тепличный комбинат (ТК) «Майский» (Казань) одним из первых начал выращивать огурцы с использованием искусственного освещения. Руководство комбината заинтересовали зеркальные натриевые лампы ВД (НЛВД) ДНаЗ *Reflux*, на тот момент только появившиеся на тепличном рынке. Лампы первой партии, показав хорошие результаты, стали основными ИИ для облучения растений на комбинате. Зеркальным НЛВД производства ООО «Рефлэкс» ТК «Майский» остаётся верен по сей день. Сегодня на нём установлено более 120000 облучателей с НЛВД ДНаЗ *Reflux* мощностью 600 Вт.

Следом за «Майским», оценив экономические выгоды, искусственное облучение начали внедрять и другие комбинаты. В процессе развития направления светокультуры сформировалась эффективная технология, основанная на использовании облучателей с НЛВД мощностью 600 и 1000 Вт, которую сегодня применяет абсолютное большинство тепличных хозяйств России и всего мира. С её помощью такие ведущие отечественные тепличные предприятия, как «ЛипецкАгро», «Выборжес», «Новосибирский», «Чурилово», ГУП РМ «Тепличный» и «Ярославский» собирают по 130–150 кг/м² огурца в год, а флагман тепличной отрасли ТК «Майский» – до 180 кг/м² (рис. 2).

Важно подчеркнуть, что использование облучательных установок (ОУ) с НЛВД в ТК не просто значительно повышает показатели урожайности, но и обеспечивает высокий уровень рентабельности, подтверждаемый экономическими показателями предприятий.



Рис. 1. Зимняя теплица с использованием системы искусственного облучения (тепличный комбинат «Майский», Казань)



Рис. 2. Светокультура огурца

Сегодня порядка 80 % ТК России используют высокоэффективные системы облучения на базе зеркальных НЛВД ДНаЗ *Reflux*, не имеющих мировых аналогов (рис. 3).

Благодаря своим конструктивным особенностям (отражатель – зеркалированная часть внутренней поверхности колбы специальной формы) НЛВД ДНаЗ *Reflux* при одинаковой установленной мощности создают более высокую облучённость по сравнению с обычными НЛВД. Форма колбы рассчитана таким образом, что отражённые лучи не попадают обратно на горелку. Это обеспечивает высокий КПД (более 95 %), стабильную световую отдачу и долгий срок службы НЛВД ДНаЗ *Reflux* (рис. 4).

Зеркальная НЛВД имеет широкую КСС в поперечной плоскости (рис. 4), что делает облучение «объёмным и равномерным». Именно такой тип облучения способствует хорошему росту и развитию растений. Это особенно актуально для высокорослых культур, таких как огурец и томат, так как при прохождении через ценоз интенсивность вертикально на-

Рис. 3. Облучатель и зеркальная натриевая лампа ВД ДНаЗ *Reflux*



правленного излучения резко падает, и каждый нижний лист получает в 5 раз меньше излучения, чем верхний. Учитывая направление роста и структуру листьев, наиболее эффективно для этих растений облучение, сочетающее в себе вертикально направленное верхнее излучение и боковое, равномерно и глубоко проникающее в ценоз. Расположенные над каждым междурядем зеркальные НЛВД с широкой КСС в поперечной плоскости создают облучение, при котором лучи падают не только сверху, но и сбоку на внешнюю поверхность листа под углом, близким к 90°, и не перегревают растение. В этом случае необходимость в междурядном облучении отпадает (рис. 5).

Зеркализованная внутренняя поверхность лампы сама по себе уже является отражателем, который, находясь в вакууме, не теряет своих свойств. Это позволяет избежать спада светового потока, вызванного окислением и запылением отражателя. В лампах ДНаЗ *Reflux/Ag* 600W/400V в качестве материала напыления используется серебро 99,9 пробы, кото-

рое обладает высоким коэффициентом отражения.

Благодаря использованию в облучателях ЭПРА с КПД не менее 96 % НЛВД ДНаЗ *Reflux* получили дополнительные преимущества.

Таким образом, в отечественных теплицах сегодня используются высокоэффективные ОУ, обеспечивающие высокий уровень урожайности и рентабельности предприятий. В их состав входят облучатели с ЭПРА и НЛВД (преимущественно зеркальными) с пассивной оптической системой, которые имеют световую отдачу до 150 лм/Вт, коэффициент эффективности излучения ($PPF/Вт$) 2 мкмоль/(с·Вт) и срок службы свыше 20000 ч.

Однако жизнь не стоит на месте и требует постоянного движения вперёд. Сегодня мы наблюдаем активный процесс поиска на рынке тепличного облучения новых эффективных ИИ. В конкурентную борьбу вступают СД-ИИ.

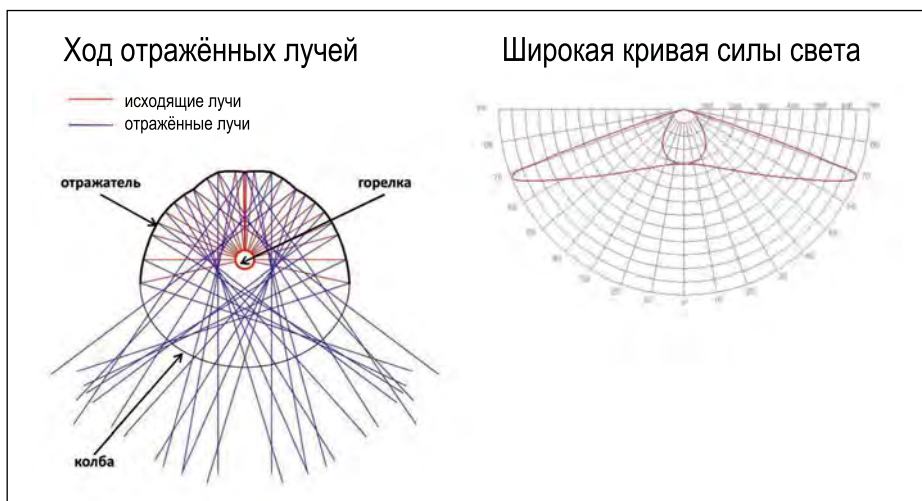


Рис. 4. Оптическая схема лампы ДНаЗ *Reflux*



Рис. 5. Лампы ДНаЗ *Reflux* в теплице

Внедрение последних представляет собой многосторонний процесс, в котором продвижение продукции на потребительский рынок идёт рука об руку с развитием её технических характеристик и снижением себестоимости. Логично, что первыми на новые технологии положительно реагируют именно те сферы экономики, где очевидна финансовая выгода от их применения.

По теории жизненного цикла продукта, завоевание рынка происходит поэтапно: вывод на рынок, внедрение, рост, зрелость, насыщение и упадок (рис. 6).

Из рис. 6 видно, что развитие СД-ИИ в трёх обозначенных направлениях применения сейчас находится на разных стадиях, что в немалой степени зависит от конкурентоспособности «традиционных» ИИ, вытесняемых СД-ИИ. Наиболее успешно этот процесс идёт там, где заменяются энергетически неэффективные ИИ: лампы накаливания в бытовом или лампы «ДРЛ» в уличном освещении. Но в области тепличного облучения, где требуется в буквальном смысле море света, у СД-ИИ очень сильный соперник – НЛВД, по соответствующим характеристикам практически не уступающие СД-ИИ, но на порядок более дешёвые.

На данный момент в области тепличного облучения СД-ИИ проходят начальную стадию вывода на рынок, которая характеризуется многочисленными экспериментами и очень высокой степенью неопределённости результатов. На этом этапе сложно проследить экономическую выгоду. Продукт стоит дорого в связи с постоянной модернизацией и малым объёмом производства, и активно идёт работа по улучшению светотехнических характеристик и адаптации его к запросам рынка. Именно эти процессы сегодня и наблюдаются в области тепличного облучения.

Производители СД предлагают разные варианты облучателей с ними, обещая значительную экономию электроэнергии, либо прирост урожая, либо и то, и другое. Многие тепличные хозяйства, проявляя интерес к облучению этими ИИ, проводят локальные эксперименты, которые пока не дают убедительных результатов (рис. 7).

Учитывая большой интерес к развитию СД-направления в тепличной



Рис. 6. Этапы внедрения светодиодов по направлениям



Рис. 7. Облучатели со светодиодами для выращивания растений

отрасли, ниже приведена попытка оценить перспективы внедрения СД-ИИ путём сравнения сроков окупаемости затрат на организацию искусственного облучения с помощью ОУ с НЛВД («традиционных») и ОУ с СД.

Очевидно, ввиду отсутствия объективных экономических результатов использования облучателей с СД в промышленных масштабах в настоящее время возможны лишь расчётные оценки, исходя из обобщённых данных на основе экспертных оценок.

Итак, рассмотрим случай, когда руководство современного тепличного хозяйства принимает решение о внедрении системы искусственного облучения растений для повышения рентабельности выращивания огурца в зимне-весенний период.

Технология светокультуры позволяет увеличить показатели урожайности в зимний период в среднем на 60 кг с 1 м² (площади теплицы) в год. Соответственно, при цене 80 руб. за 1 кг продукции предполагаемый дополнительный доход предприятия может составить 4800 руб. с 1 м².

Как правило, для достижения названных показателей урожайности необходимы облучённость порядка 200 Вт/м² или плотность фотосинтетического потока фотонов (PPF) поряд-

ка 300 мкмоль/(м²·с). Их обеспечивает облучатель ЖСП 25 с ЭПРА, укомплектованный лампой ДНаЗ *Reflux/Ag 600W/400V*. Стоимость оборудования на 1 м² в данном случае составляет 2500 руб., поскольку одна ОУ с лампой ДНаЗ (цена данной ОУ – 7500 руб.) облучает участок площадью 3 м².

Для сравнения возьмём комплект облучателей серии «*GreenPower LED*», используемых для верхнего облучения и межрядного облучения компании *Philips*. По данным изготовителя, облучатели «*GreenPower LED*» на 25 % превосходят по фотосинтетическому потоку фотонов (PPF) облучатели с НЛВД. При этом стоимость комплекта этих облучателей на 1 м² теплицы по среднерыночным оценкам – порядка 25000 руб.

Если стоимость электроэнергии при питании от электростанций на базе ГПУ с учётом амортизации и эксплуатационных затрат составляет 2,5 руб./кВт·ч и наработка в год составляет 4000 ч, то получаются следующие цифры ежегодных удельных затрат на электроэнергию:

- для облучателя с ДНаЗ *Reflux/Ag 600/400*: $200 \text{ Вт/м}^2 \cdot 2,5 \text{ руб./кВт} \cdot \text{ч} \cdot 4000 \text{ ч} = 2000 \text{ руб./м}^2$;

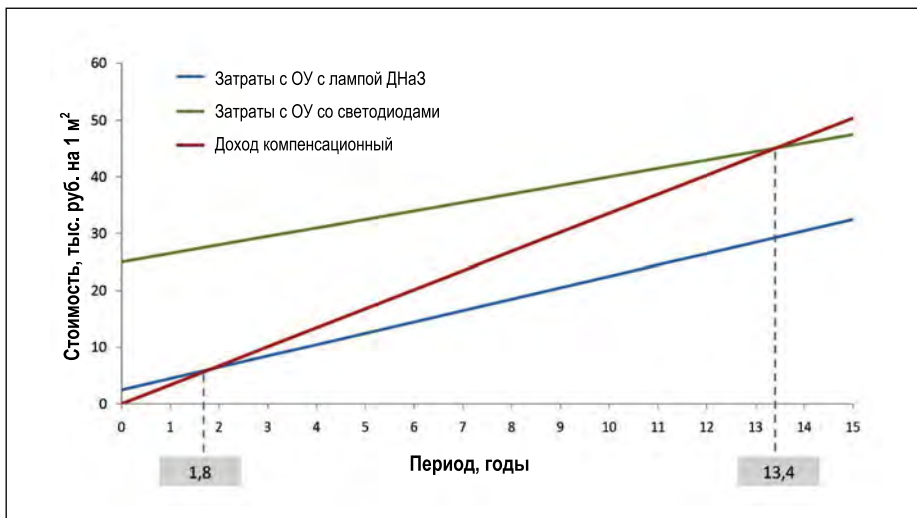


Рис. 8. Оценка срока окупаемости облучательных установок в тепличном облучении

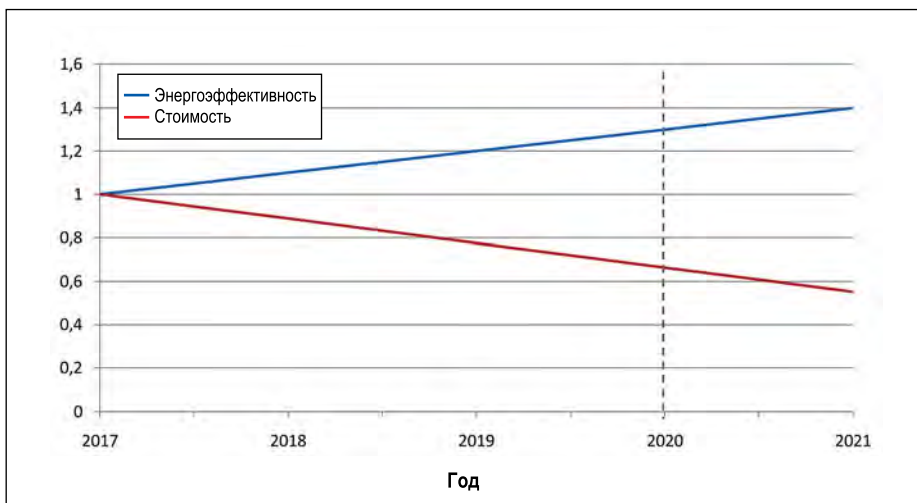


Рис. 9. Оценка относительной динамики изменения показателей облучательных установок со светодиодами в тепличном облучении

- для облучателя *Philips «Green-Power LED»*: $2000 \text{ руб./м}^2 \cdot 0,75 = 1500 \text{ руб./м}^2$.

Предположим, что порядка 30 % полученного от внедрения светокультуры дополнительного дохода покрывают издержки на себестоимость продукции, не связанные с организацией облучения. В этом случае на компенсацию капитальных затрат и затраченной электроэнергии приходится 70 %, что составляет 3360 руб./м² в год. Назовём эту часть дохода «доход компенсационный» ($D_{\text{комп}}$).

Затраты на облучение определяются капитальными затратами на приобретение оборудования и стоимостью электроэнергии. В данном расчёте, для простоты, не учитываются замена ламп ДНаЗ и спад потока излучения облучателя с СД, а также стоимости монтажа и расходных материалов для установки световых

точек (как примерно равные в обоих случаях).

Окупаемость проекта наступает тогда, когда капитальные и эксплуатационные затраты на организацию искусственного облучения в теплице компенсируются накопленным за определённый период дополнительным («компенсационным») доходом $D_{\text{комп}}$:

$$K + \mathcal{E} \cdot T_{\text{окуп}} = D_{\text{комп}} \cdot T_{\text{окуп}}$$

где K – капитальные затраты на оборудование; \mathcal{E} – стоимость затрат на электроэнергию в год; $T_{\text{окуп}}$ – срок окупаемости затрат, лет.

Отсюда следует:

$$T_{\text{окуп}} = K / (D_{\text{комп}} - \mathcal{E}), \quad (1)$$

и с учётом указанных выше значений K , $D_{\text{комп}}$ и \mathcal{E} имеем:

- для установки с лампой ДНаЗ *Reflux/Ag 600/400* $T_{\text{окуп}} = 2500 \text{ руб./}$ ($3360 \text{ руб./год} - 2000 \text{ руб./год}$) = 1,8 лет;

- для установки *Philips «Green-Power LED»* $T_{\text{окуп}} = 25000 \text{ руб./}$ ($3360 \text{ руб./год} - 1500 \text{ руб./год}$) = 13,4 лет.

Очевидно, столь большая разница в $T_{\text{окуп}}$ (рис. 8) сильно задерживает приход ОУ с СД в тепличные хозяйства.

Однако СД для тепличного облучения продолжают развиваться, и в ближайшие годы можно ожидать значительное падение их стоимости и повышение энергоэффективности, что позволит сократить количество ОУ с СД и снизить годовое потребление электроэнергии.

Предположим, что снижение себестоимости и рост энергоэффективности будут проходить, как показано на рис. 9. То есть через 3 года цена облучателей с СД снизится в 1,5 раза, а энергоэффективность возрастёт в 1,3 раза, что, по предварительным оценкам, позволит экономить до 30 % электроэнергии (в этом случае она будет стоить порядка 1000 руб. на 1 м²).

Уровень новых капитальных затрат с учётом улучшенных характеристик СД можно оценить по формуле

$$K_{\text{нов}} = K_{\text{баз}} / (1,5 \cdot 1,3),$$

где $K_{\text{нов}}$ – капитальные затраты с учётом повышения параметров СД (через 3 года); $K_{\text{баз}}$ – капитальные затраты на сегодняшний день.

Согласно этому и сказанному выше, $K_{\text{нов}} = 25000 \text{ руб./}$ ($1,5 \cdot 1,3$) = 12820 руб.

Таким образом, капитальные затраты на обеспечение облучения с помощью СД, спустя 3 года, снизятся почти вдвое (рис. 10).

Используя эти данные, можно оценить новый срок окупаемости затрат $T_{\text{окуп-н}}$, с учётом возросших параметров СД, по формуле (аналогичной формуле (1))

$$T_{\text{окуп-н}} = K_{\text{нов}} / (D_{\text{комп}} - \mathcal{E}_{\text{нов}}),$$

где $\mathcal{E}_{\text{нов}}$ – затраты на электроэнергию в год с учётом повышения параметров СД (через 3 года):

$$\begin{aligned} T_{\text{окуп-н}} &= 12800 \text{ руб./} \\ & (3360 \text{ руб./год} - 1000 \text{ руб./год}) = \\ & = 5,4 \text{ лет.} \end{aligned}$$

Из рис. 10 видно, что оборудование с СД, установленное на 3 года позже, окупится вдвое быстрее и значительно раньше, чем более дорогое и менее эффективное, купленное сейчас.

Кто готов «броситься в омут с головой», рискует оказаться в проигрышном положении по сравнению с конкурентами, поскольку, «заморозив» сейчас большие деньги в оборудовании с высоким сроком окупаемости, он не получит тех результатов, которые будут реально достижимы на 3–5 лет позже. А учитывая необходимость не просто окупить ОУ, но и получить прибыль, говорить об экономической выгоде от использования СД можно только тогда, когда срок окупаемости ОУ с СД станет значительно меньше.

В настоящее время для тепличных хозяйств масштабное внедрение облучателей с СД несёт в себе неоправданные экономические риски. Но если желание стать пионером в этой области столь велико, что вы готовы тратить время и силы на эксперименты, то наиболее оправдан путь постепенного внедрения этих облучателей в тепличное хозяйство. При этом производитель оборудования с СД в любом случае должен взять на себя все финансовые риски и возместить понесённые затраты, если таковые возникнут. Если в результате будет получен прирост урожайности, и экономическая выгода будет очевидна, тогда со временем можно поэтапно увеличивать площади, на которых используются СД.

При наличии реальных положительных результатов производитель облучательного оборудования с СД будет заинтересован максимально расширить рынок сбыта. Соответственно, решившееся на такой эксперимент тепличное хозяйство получит небольшой прирост урожайности при больших рисках и трудозатратах, а его конкуренты через год-другой смогут использовать уже апробированную технологию без дополнительных затрат и усилий. Кроме того, за это время появится новая, усовершенствованная модель облучателя с СД вдвое энергоэффективнее и существенно дешевле. Её и приобретут конкуренты, сэкономя на оборудовании и обогнав «первопроходцев» по показателям урожайности и энергоэффективности (рис. 10).

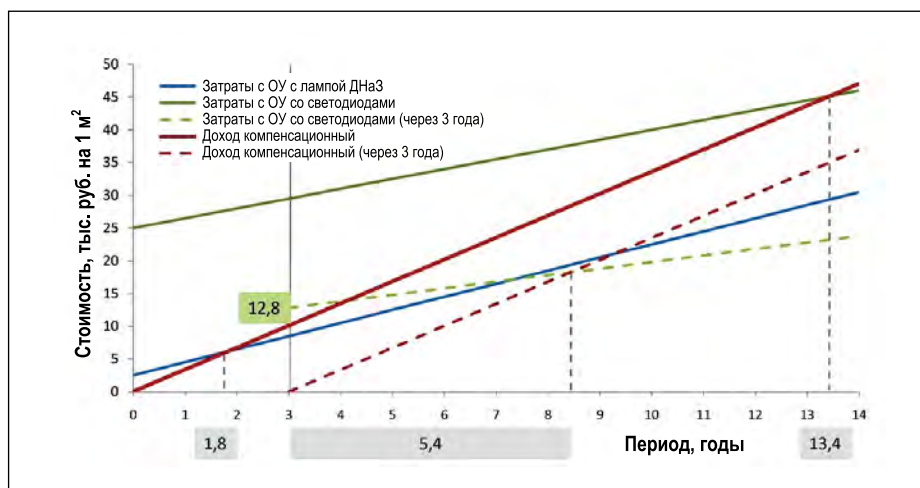


Рис. 10. Оценка сроков окупаемости облучательных установок в тепличном облучении с учётом динамики изменения параметров светодиодов

Финансирование подобных глобальных экспериментов могут позволить себе либо крупные производители оборудования с СД, либо государственные инвесторы, готовые продвигать этот продукт и вкладывать «длинные» деньги во внедрение СД в тепличное облучение.

Подводя итоги изложенного в данной статье, отметим, что:

- На процесс внедрения светодиодов в тепличное облучение существенное влияние оказывает наличие сильного конкурента в виде облучателей с НЛВД (в частности, с высокоэффективными лампами ДНаЗ *Reflux/Ag*), технические характеристики которых не уступают облучателям с СД при стоимости на порядок ниже. При этом сравнительная оценка сроков окупаемости ОУ свидетельствует не в пользу ОУ с СД.

- Очевидно, при нынешнем уровне цен и технических характеристик облучателей с СД заменять ими облучатели с НЛВД для верхнего облучения преждевременно. Можно рассмотреть варианты дополнительного межрядного облучения (дооблучения) при верхнем излучении НЛВД, например, для томата (что в любом случае повышает капитальные затраты, не гарантируя весомой прибавки урожая) или использования СД для выращивания пряных трав, салатов и других растений с коротким периодом вегетации, а также рассады разного типа при стеллажной культуре.

- Облучатели с СД имеют хорошую перспективу с точки зрения эффективности и срока службы. Но для того, чтобы они стали конкурентоспособными на тепличном рынке, необходимо повысить их рентабельность

за счёт дополнительного повышения энергоэффективности и значительного удешевления, а также разработать и апробировать технологию их применения. Сегодня в данном направлении ведётся активная работа, что позволяет прогнозировать появление первых серьёзных результатов в течение ближайших 3–5 лет. До этого времени внедрение СД в промышленных масштабах в тепличное облучение напоминает игру в казино, когда на кон ставится жизнеспособность бизнеса, а теоретическая возможность выигрыша не превышает 10 %.



Пчелин Владимир Михайлович, кандидат техн. наук. Генеральный директор ООО «Рефлекс». Окончил МЭИ по специальности «Светотехника и источники света». Генеральный директор ООО «Рефлекс». С 1985 г. представляет Россию в Отделении 4 МКО. В 1986 г. разработал НЛВД с зеркальным отражателем – ДНаЗ *Reflux*

директор ООО «Рефлекс». С 1985 г. представляет Россию в Отделении 4 МКО. В 1986 г. разработал НЛВД с зеркальным отражателем – ДНаЗ *Reflux*



Макарова Ирина Евгеньевна, маркетолог и преподаватель-филолог. Окончила Российский Институт Маркетинга (на базе ГУУ и Университета прикладных наук *Inholland* (Нидерланды)) и филологический факультет МГОПУ им. М.А. Шолохова. Руководитель отдела маркетинга ООО «Рефлекс»

и филологический факультет МГОПУ им. М.А. Шолохова. Руководитель отдела маркетинга ООО «Рефлекс»