

## СВЕТОДИОДНЫЙ СВЕТ ДЛЯ ТЕПЛИЦ

До сих пор в силу устоявшихся взглядов при проектировании тепличных комплексов многие проектные организации закладывают осветительные установки на базе натриевых ламп высокого давления (НЛВД). Недавно этот подход был оправдан, несмотря на то, что такие установки имеют целый ряд существенных недостатков. В настоящее время светодиодные установки (светильники + генерация) являются значительно более дешевыми, эффективными и лишенными недостатков НЛВД. Светодиодные установки полностью подтвердили свою эффективность на практике.

Существует несколько способов использования искусственного освещения для ускорения роста и увеличения периода роста коммерческих культур:

1. В качестве дополнения к естественному дневному свету для увеличения уровня фотосинтезной энергии с целью повышения интенсивности фотосинтеза и тем самым ускорением роста и повышением качества растений в теплицах (*дополнительное ассимиляционное освещение*).

2. Для управления световым периодом путем удлинения естественного светового дня при помощи искусственного освещения (*фотопериодическое освещение до 20 часов в сутки*).

3. Для полной замены дневного света искусственным освещением, позволяющей добиться максимального контроля за климатом (*выращивание без дневного света*).

Цель данной статьи – рассмотреть особенности применения светодиодных установок для дополнительного ассимиляционного освещения с элементами фотопериодического.

## ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ СВЕТОДИОДОВ В ТЕПЛИЦАХ

В 2010-х годах широкое практическое применение для тепличной досветки нашли натриевые лампы высокого давления (НЛВД). Это было обусловлено следующими факторами. На тот момент они обладали самым высоким фотосинтетическим фотонным потоком (ФФП) [1] на уровне около 1.7 мкмоль/Дж (1 Джоуль = 1Ватт x 1сек) и самой низкой ценой оборудования. Компромиссными недостатками, с которыми приходилось мириться исходя из экономических факторов, были и остаются:

- низкий энергетический КПД. Большая часть излучения испускается вне зоны фотосинтетической активной радиации (ФАР, 400-700 нанометров (по некоторым оценкам 320-750 нанометров));

- ущербный состав спектра. В области ФАР практически все излучение приходится на красную область спектра. Как результат, снижение качества продукции по сравнению с естественным освещением. В некоторых случаях для обеспечения полного цикла развития растений требовалось добавление источников света с синими составляющими света (гибридные установки с добавлением люминисцентных ламп, ДРиЗ и т.п). Для огурцов длительное облучение красным светом вообще становится

губительным. Гибридные (смешанные) осветительные установки имели значительно более высокую цену на оборудование и низкую надежность;

- быстрый спад уровня излучения с течением времени. Через каждые 10000 часов работы (2-3 года) для обеспечения нормального уровня излучения требуется групповая замена ламп [4, 5]. В течении этого периода для поддержания необходимого уровня излучения требуется плавное повышение световых энергетических затрат.

Следует отметить, что на начало 2010-х годов светодиодные источники света также обладали высоким и сопоставимым с НЛВД ФФП. Помимо этого они обладали высоким КПД, могли обеспечить состав спектра близкий к естественному освещению, не имели серьезных технических недостатков. Но в начале рассматриваемого периода цена светодиодных излучателей была непомерно высокой для целей тепличной досветки. Также на тот момент вопрос применения светодиодов в теплицах был слабо изучен.

Бурный рост светодиодной технологии привел к тому, что каждый последующий год ситуация менялась в корне. Так в 2012 году появились первые теплицы с гибридным освещением, где совместно с НЛВД применялись светодиоды для межрядной досветки [6]. А уже в 2015 широкое распространение (в основном за рубежом) получили теплицы с полностью светодиодной досветкой [4, 7-12] для всего ряда выращиваемых в теплицах культур (от салата до помидор). Эффективность по уровню ФФП используемых светодиодных светильников достигла 2.7 мкмоль/Дж - это существенно превышает аналогичный параметр для НЛВД.

Результаты исследований различных организаций [4, 7-12] в части использования светодиодной досветки хотя и различаются в численных показателях (это связано с различием используемого оборудования и временем проведения экспериментов), но четко подтверждают целый ряд преимуществ светодиодных источников света:

- улучшение качества продукции. Логично, что растения в силу своего эволюционного развития приспособлены лучшим образом к естественному солнечному свету. Современные *белые светодиоды* способны излучать в области ФАР свет, близкий по спектральному составу к солнечному. При этом возможна регуляция в определенных пределах пропорционального состава синих, зеленых и красных спектральных составляющих;

- увеличение урожайности. Растения развиваются быстрее, достигая товарного состояния за более короткое время. Тем самым повышается выход товарной продукции с 1 м<sup>2</sup>;

- значительное снижение электропотребления (30-60%). Как следствие имеет место быть значительная экономия не только на цене за электричество, но и на снижении затрат на инфраструктуру генерирующих мощностей, на снижении потерь в токопроводящих сетях;

- снижение потребления воды. Возможно снижение транспирации растений, что в свою очередь приводит к существенной экономии тепловой энергии [8];

- никаких ограничений из-за лучистого тепла (инфракрасного излучения) [4]. НЛВД в силу высокого уровня инфракрасного излучения создавали чувствительный градиент температур между поверхностью листа и окружающим воздухом. Существовала трудноопределяемая зависимость температурного режима от светового режима. В

отличии от НЛВД светодиоды обеспечивают отдельный независимый контроль за уровнем ФФП и тепла. Отсутствует риск перегрева растений от осветительной установки [11]. Поддержание необходимого превышения уровня облучения над уровнем компенсационной точки для конкретного вида культуры становится более простым и менее затратным. Низкий уровень инфракрасного излучения обеспечивает высокую гибкость в регуляции условий облучения – возможность увеличения длительности периода облучения, изменения расстояния между облучателем и растительной массой и т.п.

Результаты исследований позволяют сделать следующие выводы и выделить некоторые соотношения:

- в одинаковых условиях для получения одинакового объема урожая от светодиодной досветки требуется меньший уровень ФФП (в 1.4-1.8 раз). Во многом это обусловлено тем, что энергия фотонов зависит от длины волны. В синей области спектра энергия фотонов больше чем в красной. Разница энергий на границах ФАР составляет 2 раза;

- межрядная досветка в сочетании со светильниками верхнего света с широкой кривой силы света (КСС) практически не дает положительного эффекта. Так например, в [8] для досветки томатов применялся верхний светодиодный свет мощностью 104 мкмоль/м<sup>2</sup>хсек в сочетании с межрядной светодиодной досветкой мощностью 106 мкмоль/м<sup>2</sup>хсек. Причем межрядная досветка использовалась в течении нескольких часов каждое утро в течении всего лета, за исключением очень жарких дней. Такой вид досветки может быть с успехом заменен светодиодными светильниками только верхнего света с широкой КСС и мощностью 130 мкмоль/м<sup>2</sup>хсек. Это существенным образом упрощает и удешевляет осветительную установку;

- определяющим параметром эффективности осветительной установки является «интеграл дневного света» (DLI) [13]. Он означает какое количество фотонов попадает на 1 м<sup>2</sup> выращиваемой культуры в течении дня (моль/м<sup>2</sup>/день). Этот параметр зависит как от мощности установки, так и от длительности ее работы, что очень важно для формирования тактики использования осветительной установки.

## ТАКТИКА ПРИМЕНЕНИЯ СВЕТОДИОДОВ В ТЕПЛИЦАХ

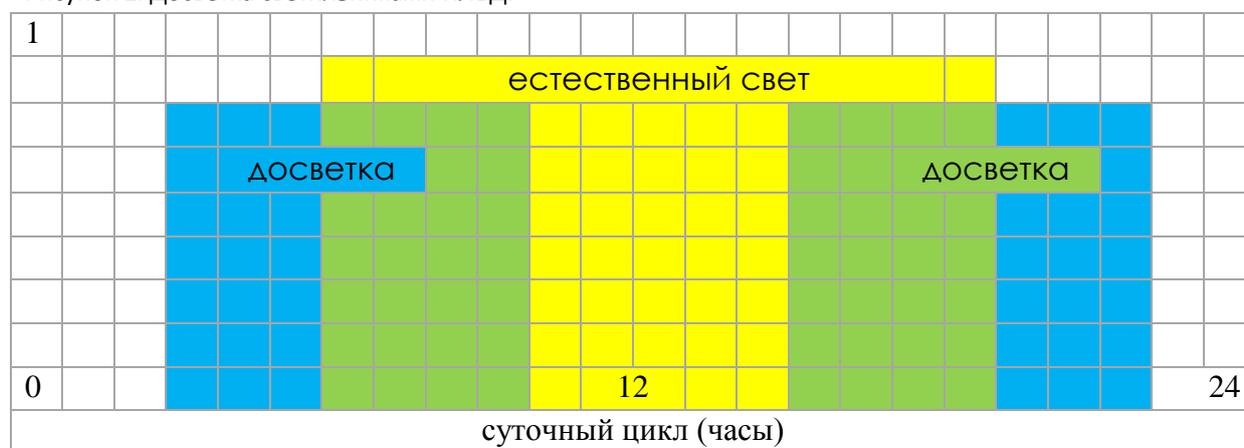
Для процесса фотосинтеза помимо обеспечения требуемого уровня DLI необходимо посуточное чередование дня и ночи, т.е. растения не могут подвергаться облучению в течении 24 часов в сутки. Для различных растений максимальный период облучения различен. Также есть ограничения по максимальному (совокупному с естественным) уровню облучения. Его величина зависит от различных факторов окружающей среды. В частности, есть четкая зависимость этого параметра от температуры. При формировании тактики облучения конкретного вида растений необходимо учитывать все выше обозначенные факторы.

Особенности технологии НЛВД диктовали следующий способ применения осветительных установок. Предлагалось использование как можно более мощных светильников, включение которых приходилось на утренние и вечерние часы (см.

рисунок 1). При этом рекомендовались следующие уровни дополнительного освещения:

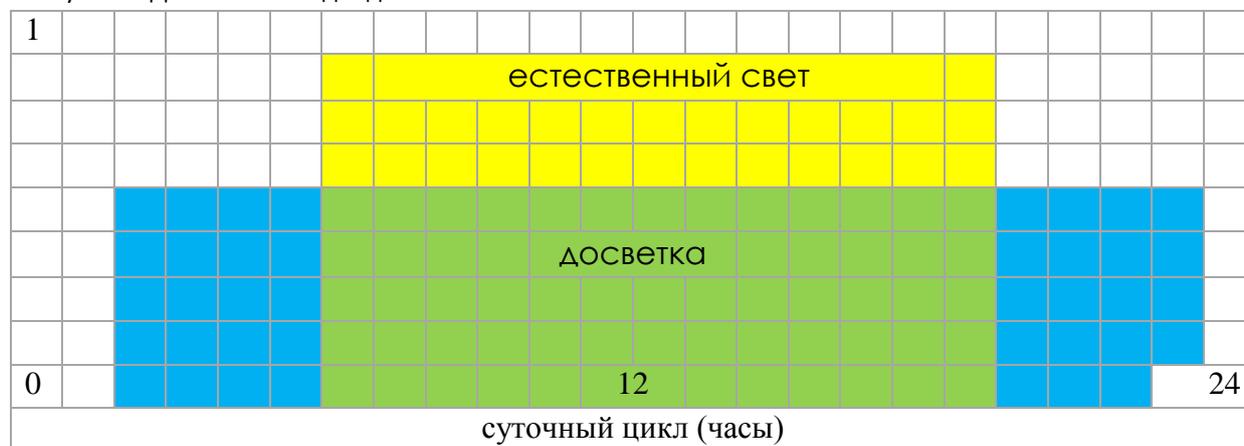
- 15÷30 мкмоль для улучшения качества, ухода за урожаем и ограниченного повышения продуктивности;
- 30÷45 мкмоль для рассады, роста и продуктивности горшочных растений;
- 40÷100 мкмоль для круглогодичного роста, например, для хризантем или роз, а также для многоуровневого выращивания растений;
- 100÷200 мкмоль для выращивания растений с высокой требовательностью к освещению (овощеводство, например – томаты и огурцы);
- 100÷800 мкмоль для выращивания растений только лишь под искусственным освещением (например, в вегетационных камерах).

Рисунок 1. Досветка светильниками НЛВД.



Светодиодные светильники обладают гораздо большей эффективностью, низким тепловыделением и качественным составом спектра. Такое принципиальное изменение осветительных установок позволяет применить более эффективный способ досветки – непрерывное с утра до вечера облучение меньшей мощностью в сочетании с максимально допустимым фотосинтезным периодом (см. рисунок 2). Конечный результат – достижение необходимого уровня DLI меньшими затратами.

Рисунок 2. Досветка светодиодными светильниками.



**Важный вывод.** Светодиодные осветительные установки не только могут, но и должны иметь по сравнению с НЛВД гораздо меньшее энергопотребление. Этот постулат, в свою очередь, приводит к следующему выводу: применение светодиодов значительно снижает стоимость всей осветительной установки. Качество продукции при этом будет выгодно отличаться в лучшую сторону.

В тепличных комплексах, где уже установлены НЛВД, эффективным дополнением может оказаться применение светодиодной межрядной досветки. Соответственно пересмотр тактики облучения может дать значительный экономический эффект.

ООО «ЭНОВА Лайт» ([www.enova-l.ru](http://www.enova-l.ru)) предлагает своим потенциальным покупателям как основное светодиодное оборудование с различными уровнями излучения, так и оборудование для межрядной досветки. Учитываются специальные требования заказчика. Конструкция светильников допускает возможность плавной регулировки уровня излучения различными методами. Однако, менее затратным и не менее эффективным методом регулировки облученности растений является модуляция периода искусственного освещения в суточном цикле. Возможен заказ светильников с различными спектрами, которые имеют различный пропорциональный состав красных, зеленых и голубых областей спектра.

На текущий момент ООО «ЭНОВА Лайт» провело оптимизацию своих тепличных светильников серии ЭЛ-008МТ. В состав этой серии вошли светильники с номинальными мощностями от 60 до 240 Вт.:

Табл. 1. Техничко-экономические характеристики светильников серии ЭЛ-008М.

Наименование параметра	ЭЛ-008М-60	ЭЛ-008М-120	ЭЛ-008М-180	ЭЛ-008М-240
Номинальное напряжение питания, В.	220 В, 50/60 Гц			
Номинальная потребляемая мощность, Вт.	60	120	180	240
Номинальная эффективность, мкмоль/Дж.	3.0			
Номинальный уровень ФФП*, мкмоль/сек.	180	360	540	720
Номинальная фотосинтезная мощность излучения (ФМИ), Вт	36	72	108	144
Цветовая температура, К.	2700÷5000			
Степень защиты	IP65/IP67			
Диапазон рабочих температур, С <sup>0</sup>	-40 ÷ +40			
Габариты, мм.	250x300x100	500x300x100	750x300x100	1000x300x100
Вес, кг.	1.1	2.1	3.1	4.1
Цена, руб (при величине заказа ≥ 1000 шт).	4500	9000	13500	18000
Цена 1 Вт ФМИ, руб.	125			

\*ФФП – фотосинтетический фотонный поток.

Номенклатурный состав серии ЭЛ-008МТ позволяет при проектировании теплиц обеспечить требуемую равномерность засветки растений для различных высот подвески светильников.

Помимо серии ЭЛ-008МТ доступны к заказу модели светильников для межрядной досветки, технико-экономические характеристики которой аналогичны ЭЛ-008МТ с соответствующим конструктивным исполнением.

## СРАВНИТЕЛЬНЫЙ ЭКОНОМИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ

При расчетах экономической эффективности от применения светодиодных установок следует учитывать не только цены на светильники и экономию электроэнергии за счет пониженного энергопотребления светодиодов. В расчет необходимо включать стоимость генерации (в частности, стоимость газотурбинной установки). Это справедливо, поскольку светодиодные установки потребляют значительно меньшие мощности и, соответственно, мощность электрогенераторов также требуется значительно меньше. Учет этого факта приводит к существенной экономии средств при развертывании теплиц с нулевого цикла.

Проведем сравнительный экономический анализ четырех осветительных установок на следующем примере [3]. Исходные параметры:

- общая расчетная площадь 20 га. Размер стандартных секций 6.4м x 81м (518.4 м<sup>2</sup>);

- получение электрической и тепловой энергии с помощью газотурбинной установки. Цена установки мощностью от 5 до 15 МВт – 50000 руб/кВт, мощностью 20-30 МВт – 40000 руб/кВт. Себестоимость 1 кВт электроэнергии 1.5 руб;

- 1-я установка: на базе светильников с электронным ПРА ЖСП 64-600-002P/380В с лампами ДНаЗ супер/Reflux S 600/400В. Обслуживаемая площадь одним светильником 4.9 м<sup>2</sup>, потребляемая мощность 630 Вт, широкая КСС, уровень ФФП новой лампы 1120 мкмоль/сек (228 мкмоль/м<sup>2</sup>хсек), эффективность 1.77 мкмоль/Дж, цена 7774 руб (в том числе цена лампы 1809 руб);

- 2-я установка: на базе светодиодных светильников ЭЛ-008М-240 от ООО «ЭНОВА Лайт». Обслуживаемая площадь одним светильником 4.9 м<sup>2</sup>, потребляемая мощность 240 Вт, широкая КСС, уровень ФФП 720 мкмоль/сек (145 мкмоль/м<sup>2</sup>хсек), эффективность 3.0 мкмоль/Дж, цена 18000 руб;

- 3-я установка: на базе светодиодных светильников ЭЛ-008М-180 от ООО «ЭНОВА Лайт». Обслуживаемая площадь одним светильником 4.9 м<sup>2</sup>, потребляемая мощность 180 Вт, широкая КСС, уровень ФФП 540 мкмоль/сек (110 мкмоль/м<sup>2</sup>хсек), эффективность 3.0 мкмоль/Дж, цена 13500 руб.

Результаты анализа приведены в табл. 2:

Табл. 2. Сравнительный анализ осветительных установок\*.

Наименование параметра	1-я установка НЛВД (228 мкмоль/м <sup>2</sup> хсек)	2-я установка LED (145 мкмоль/м <sup>2</sup> хсек)	3-я установка LED (110 мкмоль/м <sup>2</sup> хсек)
1. Количество светильников (шт)	40816	40816	40816
2. Суммарная потребляемая мощность (кВт)	25714	9796	7347
3. Мощность/цена ТЭС (МВт/млн. руб.)	31/1240	11/550	9/450
4. Суммарная цена светильников (млн. руб)	317.3	734.7	551
5. Цена осветительной системы (светильники+ТЭС, млн. руб)	1557.3	1284.7	1001
6. Снижение затрат по сравнению с 1-ой установкой (млн. руб)	-	272.6 (на 17.5%)	556.3 (на 35.7%)
<b>Снижение затрат на электроэнергию во время эксплуатации</b>			
7. Суммарное потребление при длительности досветки 5000 часов в год (13.7 часов в сутки) (МВт*ч)/цена (млн. руб)	128570/192.9	48980/73.8	36735/55.1

Наименование параметра	1-я установка НЛВД (228 мкмоль/м <sup>2</sup> хсек)	2-я установка LED (145 мкмоль/м <sup>2</sup> хсек)	3-я установка LED (110 мкмоль/м <sup>2</sup> хсек)
8. Суммарное потребление при длительности досветки 6935 часов в год (19.0 часов в сутки) (МВт*ч) /цена (млн. руб)	178327/267.5	67935/101.9	50951/76.4
9. Суммарное потребление при длительности досветки 7300 часов в год (20.0 часов в сутки) (МВт*ч) /цена (млн. руб)	187712/281.6	71511/107.3	53633/80.5
10.Снижение затрат по сравнению с 1-ой установкой при длительности досветки 5000/6935/7300 часов в год (млн. руб)	-	119.1/165.6/174.3	137.8/191.1/201.1
11.-----//----- за 2 года (млн.руб)	-	238.2/331.2/348.6	275.6/382.2/402.2
12.-----//----- за 3 года (млн.руб)	-	357.3/496.8/522.9	413.4/573.3/603.3
13.Цена ламп при групповой замене ламп (млн. руб)	73.8 По истечении 10000 часов наработки	-	-

\*Пояснения к таблице №2:

- в строке 1 указано количество светильников, необходимое для покрытия 20 га теплиц;
- в строке 2 указана общая потребляемая мощность светильников, ук. в строке 1;
- в строке 3 указана требуемая мощность электроустановки и ее цена;
- в строке 4 указана цена светильников, указанных в строке 1;
- в строке 5 указана суммарная цена всех светильников и электроустановки (стр.4+стр.3);
- **ВАЖНО!** В строке 6 указано насколько светодиодная установка дешевле установки на НЛВД;
- строки 7-9 содержат информацию о потреблении установок при различной длительности досветки и цене за год;
  - строки 10-12 содержат информацию о снижении затрат при внедрении светодиодов за 1,2 и 3 года соответственно.

## ПРАВИЛЬНЫЙ ВЫБОР

Как правило, при покупке светодиодных светильников заказчики уделяют внимание в основном цене, потребляемой и полезной излучаемой мощности. Такие характеристики как, срок службы до 10 лет и гарантия до 5 лет стали уже классическими и воспринимаются как само собой разумеющееся. На самом деле большинство производителей только декларируют такие значения и не обеспечивают их на практике. Подавляющее число светильников страдают такими недостатками, как низкая надежность и срок службы источников питания, перегрев светодиодов и плохая герметичность оптического блока.

С чем это связано. Типовые схемные решения источников питания содержат в своем составе компоненты, срок службы которых в силу технологии их производства достаточно мал (1, 2, максимум 3 года в зависимости от условий эксплуатации). Отсутствие должного расчета тепловых режимов работы светодиодов во всем диапазоне рабочих температур, попытка сэкономить на комплектующих приводит, как

правило, к перегреву светодиодов. Перегрев светодиодов резко снижает срок их службы или приводит к выходу их из строя.

С момента запуска проекта по производству светодиодных осветительных систем высокого качества ООО «ЭНОВА Лайт» применяет свои оригинальные разработки. Организация производства, технические решения, используемые компоненты и материалы в совокупности обеспечивают длительный срок службы, надежность и удобство эксплуатации наших светильников. Наши светильники обладают устойчивостью к разрушительным высоковольтным всплескам напряжения, которые возникают в момент включения НЛВД. Т.е., они хорошо подходят для использования в системах гибридного освещения совместно с лампами высокого давления.

Специалисты ООО «ЭНОВА Лайт» проводят постоянный мониторинг всех аспектов отрасли, обеспечивают постоянство уровня опережающих разработок.

**Результат** – отличное соотношение цена/качество продукции, ее конкурентная способность по отношению к Российским и зарубежным аналогам.

### Список литературы (источники высылаем по запросу)

1. Выращивая вашу прибыль. Освещение теплиц, PHILIPS, 2013 г.
2. Оценка интенсивности искусственного освещения светодиодного облучателя на листовой салат в защищенном грунте, научный журнал КубГАУ, №102(08), 2014 г.
3. Повышение эффективности светокультуры на салатных линиях благодаря использованию светильников с лампами Reflux (на базе ЗАО «Агрокомбинат «Московский»), Ассоциация «Теплицы России»-интернет ресурс, 2014 г.
4. Philips GreenPower LED toplighting, 2015 г.
5. Основные направления повышения эффективности тепличных облучательных установок, ООО «Рефлекс», 2013 г.
6. Первая в мире действующая теплица на светодиодах, PHILIPS, 2012 г.
7. New highly efficient LED toplight range including a specific design for North American UL and CSA standards, news of PHILIPS, 2015 г.
8. Trial at GreenQ Improvement Centre a great success, news of PHILIPS, 2015 г.
9. Higher yields, improved quality and better climate control with LED solutions, news of PHILIPS, 2015 г.
10. Floriculture customers confirm competitive advantages of propagating and growing crops with Philips LED toplighting, news of PHILIPS, 2015 г.
11. Desmet goes from 45  $\mu\text{mol}$  using HPS to 80  $\mu\text{mol}$  using only LED, news of PHILIPS, 2015 г.
12. Cucumber trial proves 100% LED lighting is most cost-effective way to grow in winter, news of PHILIPS, 2015 г.
13. Philips LED Lighting in horticulture, PHILIPS, 2014 г.
14. Газотурбинные установки, [www.manbw.ru](http://www.manbw.ru), 2015 г.
15. АтомСвет ВЮ (тепличные СДС), АтомСвет, 2012 г.
16. Отчет о НИР «сравнительное исследование источников искусственного досвечивания при выращивании сельскохозяйственных культур», РГАУ-МСХА имени К. А. Тимирязева, 2012 г.

17. Заключение по результатам НИР «сравнительное исследование источников искусственного досвечивания при выращивании сельскохозяйственных культур», РГАУ-МСХА имени К. А. Тимирязева, 2012 г.

**А. П. Гавриленко** – Ген. директор ООО «ЭНОВА Лайт»

344114, г. Ростов-на-Дону, ул. Орбитальная 78/2, к.249.  
Телефон: (863)-298-3603, +7-918-558-3603.  
info@enova-l.ru