

## **Введение**

Создание условий социально-экономической стабильности в обществе предполагает необходимость формирования достаточных объемов и рациональной структуры продовольственных ресурсов. Важная роль в решении этой задачи принадлежит круглогодичному обеспечению населения высококачественной и разнообразной овощной продукцией в соответствии с физиологически обоснованными нормами.

Значительная часть территории Беларуси находится в зоне умеренного климата с коротким, не всегда теплым летом и холодной зимой. Эти условия ограничивают возможности овощеводов, затрудняя возделывание широкого ассортимента овощей и декоративных растений в открытом грунте. Вот почему защищенный грунт – серьезное подспорье; он позволяет иметь на протяжении круглого года свежие овощи, получать рассаду овощных и цветочных культур для их выращивания в открытом грунте.

По состоянию на 1 февраля 2011 года площадь наиболее крупных зимних теплиц в республике составляла 221,5 га, из них под выращивание овощных культур было занято 210,4 га (по информации Министерства сельского хозяйства и продовольствия).

В промышленных тепличных комплексах, ориентированных на все-сезонное круглогодичное выращивание сельскохозяйственной продукции, существует следующая потребность в различных источниках энергии:

- тепловая энергия для обогрева –  $2 \div 4 \text{ МВм/га}$ ;
- электрическая энергия для системы досвечивания –  $1 \div 3 \text{ МВм/га}$ ;
- производство  $\text{CO}_2$  (эквивалент при сжигании газа) –  $0,5 \div 1 \text{ МВм/га}$  [1].

В условиях постоянного удорожания топливно-энергетических ресурсов стоит задача снижения удельных энергетических затрат на обогрев помещений защищенного грунта.

## **Основная часть**

Использование теплиц без обогревательных систем в условиях Республики Беларусь довольно ограничено, даже без учета отопления в холодные зимние месяцы. Начиная отапливать теплицу в апреле, овощевод продлевает сезонные работы более чем на три месяца. В этом случае уже в мае можно высаживать рассаду в открытом грунте, теплице или парнике и ожидать первых урожаев в июне, после чего останется время для второ-

го или даже третьего урожая той или иной культуры. В отоплении нуждаются даже теплицы из самых лучших изолирующих материалов, предназначенных только для поддержания температуры выше нуля.

Существует множество способов обогрева теплиц, охватить их все в рамках статьи не представляется возможным, поэтому рассмотрим самые распространенные в промышленном отоплении, сравнительный анализ которых приведен в таблице 60.

*Таблица 60 – Сравнительный анализ способов обогрева*

<b>Способ обогрева</b>	<b>Преимущества</b>	<b>Недостатки</b>
Водяной	<ul style="list-style-type: none"> <li>– бесшумность;</li> <li>– равномерное распределение тепла;</li> <li>– относительно невысокая эксплуатационная стоимость;</li> <li>– легкость обслуживания;</li> <li>– возможность регулировки</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– высокая инерционность;</li> <li>– значительное гидростатическое давление;</li> <li>– существенные капитальные затраты;</li> <li>– большие теплопотери</li> </ul>
Воздушный	<ul style="list-style-type: none"> <li>– отсутствие рисков замораживания;</li> <li>– тепловая экономичность;</li> <li>– малая инерционность</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– шум;</li> <li>– подвижность воздуха (наличие сквозняков)</li> </ul>
Электрический	<ul style="list-style-type: none"> <li>– бесшумность;</li> <li>– невысокие капитальные затраты;</li> <li>– широкая возможность регулировки</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– дороговизна энергоносителя;</li> <li>– использование во влажной среде может быть небезопасно</li> </ul>
Газовый	<ul style="list-style-type: none"> <li>– бесшумность;</li> <li>– мобильность;</li> <li>– попутное выделение CO<sub>2</sub> (в пределах санитарных норм);</li> <li>– низкая материалоемкость;</li> <li>– малая инерционность;</li> <li>– локальный обогрев;</li> <li>– сокращение теплопотерь;</li> <li>– простота в монтаже и обслуживании</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– сложность регулировки</li> </ul>

Для обогрева теплиц чаще всего используются классические водогрейные системы (котел, батареи). С экономической точки зрения такие системы недостаточно себя оправдывают, так как они неспособны быстро реагировать на резкие смены температуры, а также расходуют много энергии на прогрев всего объема помещения [2, 3].

При водяном отоплении нагретая вода течет по трубам, повышая температуру воздуха. Минус в том, что по законам физики теплый воздух поднимается вверх, оставляя почву холодной. Это неэкономно с точки зрения расходования энергии и бесполезно для растений, особенно для выращиваемой рассады.

В системах воздушного отопления используют отопительно-вентиляционные агрегаты, которые устанавливают на фундаментных основаниях, крепят к строительным конструкциям и на индивидуальных опорах. Раздачу воздуха осуществляют с сосредоточенным выпуском в верхнюю зону во избежание подсыхания растений и по перфорированному полиэтиленовому рукаву с равномерной подачей по длине. Полиэтиленовые рукава, как правило, размещают в нижней зоне теплиц для создания равномерного температурного поля. Недостатком данного вида отопления является возможность возникновения сквозняков, что приводит к опасности заболевания обслуживающего персонала и, что не менее важно, плохо влияет на растения (большинство из них не переносит сквозняков).

Электрическое отопление осуществляется электрокалориферами и нагревательными проводами. Электрокалориферы используются аналогично системам воздушного отопления для обогрева воздуха внутри теплиц. Нагревательные провода применяют для обогрева почвы, размещая их в грунте на глубине 400–500 мм под рядками растений или равномерно по всей площади с шагом 1 м, обеспечивающим равномерное температурное поле. Использование электрических обогревателей во влажных помещениях, каким является теплица, может быть небезопасно.

Газовое отопление осуществляется путем установки газовых калориферов и непосредственного сжигания газа в теплицах в инжекционных и инфракрасных горелках. Этот вид обогрева является в данный момент самым неисследованным. В газовых калориферах за счет сжигания газа нагревается воздух, предварительно смешивается с рециркуляционным или наружным воздухом и путем сосредоточенной подачи или по перфорированному полиэтиленовому рукаву подается в теплицу аналогично системам воздушного отопления. Инжекционные и инфракрасные горелки устанавливают равномерно по площади или периметру внутри теплиц таким образом, чтобы была обеспечена возможность свободного их обслуживания.

Для использования инфракрасных излучательных установок создаются благоприятные экономические условия в переходный период: в начале и в конце зимы. В это время радиаторы центрального отопления работают с низким КПД, плохо регулируются, что приводит в большинстве случаев к перегреву помещений. Инфракрасные излучательные установки работают в подобных условиях значительно экономичнее. КПД такой установки всегда очень высок, поскольку ее можно в любое время приспособить к предъявляемым требованиям. Особенно важны эти свойства излучательных установок при внезапных переменах погоды.

Использование излучательной установки экономически выгодно при дополнительном обогреве. Достаточный нагрев помещения гарантирован также при внезапно наступившем резком похолодании, доволь-

но часто случающемся в наших климатических условиях. Установка же центрального отопления экономически оправдывает себя только при стабильных условиях погоды.

Расходы на содержание и уход за газовыми установками лучистого обогрева очень малы, на ремонт – также незначительны. Выходящие из строя излучатели можно легко заменять. Таким образом, экономичность лучистого обогрева помещений очевидна. Разумеется, решение об использовании лучистого обогрева должно основываться на возможности обеспечения установки соответствующим видом энергии. Электрическая энергия дорогая и, как правило, имеется только в ограниченном количестве, поэтому в большинстве случаев необходимо использовать природный или сжиженный газ. Практически во всех крупных тепличных хозяйствах имеется подвод природного газа, если же хозяйство небольшое, проще использовать сжиженный газ.

Ниже приведен расчет эффективности системы локального инфракрасного обогрева по сравнению с классической водогрейной.

### Результаты исследований

#### *Исходные данные:*

площадь теплицы

$$S_{\text{пола}} = 360 \text{ м}^2;$$

высота расчетная (2-скатная крыша высотой 1,6 м)

$$H = H_{\text{стен}} + \frac{H_{\text{крыши}}}{2} = 5,8 \text{ м};$$

высота подвески горелки над полом

$$h = 3 \text{ м};$$

ширина зоны обогрева

$$a = 4 \text{ м};$$

длина (суммарная) зоны обогрева

$$b = 24 \text{ м};$$

температура в зоне роста растений равна нормативной температуре комфорта растений:

$$t_{\text{н}} = 18 \text{ }^\circ\text{C}.$$

Требуется найти общую мощность системы лучистого обогрева по сравнению с классической.

#### *Расчет:*

общий объем помещения составляет:

$$V_{\text{общ}} = S_{\text{пола}} \cdot H = 2088 \text{ м}^3;$$

общая площадь поверхности (пол, стены и крыши) составляет:

$$S_{\text{общ}} = S_{\text{пола}} + S_{\text{стен}} + S_{\text{крыши}} = 1142 \text{ м}^2.$$

В математическом выражении общая тепловая мощность, требуемая для поддержания температуры внутри объема (отдаваемая объемом в стационарном состоянии), будет пропорциональна этому объему:

$$N = n \cdot V_{\text{общ}},$$

где  $n$  ( $Bm/m^3$ ) – некоторый нормативный коэффициент [4].

Плотность теплового потока тепла, теряемого в процессе теплопередачи через стены (поверхность) помещения общей площадью  $S_{\text{общ}}$  в окружающую среду, будет равна

$$q_{\text{потерь}} = k(t_{\text{н}} - t_{\text{окр}}),$$

где  $k$  ( $Bm/m^2K$ ) – коэффициент теплопередачи через стену.

Плотность нагревающего теплового потока, падающего на внутреннюю поверхность стен, будет равна:

$$q_{\text{нагр}} = \frac{N}{S_{\text{общ}}} = \frac{n \cdot V_{\text{общ}}}{S_{\text{общ}}} = \left[ \frac{Bm}{m^2} \right].$$

Хорошо видно, что чем больше помещение, тем больший тепловой поток будет падать на ограничивающую его поверхность, а значит, оно будет лучше обогреваться, так как интенсивность теплоотвода от стен и пола в окружающую среду при неизменной температуре внутри помещения будет неизменна. Причем надо обратить внимание на то, что плотность теплового потока пропорциональна при прочих равных условиях тому или иному линейному размеру помещения.

Понятно, что воздух в помещении должен хорошо перемешиваться, чтобы его температура везде по объему была постоянной.

Поэтому с ростом объема помещения удельную величину мощности, идущую на его обогрев (отопление), нужно уменьшать.

По нормативам для небольших помещений, характеризующихся высотой потолка до 3 м для любой площади пола, т.е. для стен с небольшой площадью, нормативная мощность, требуемая для отопления 1 м<sup>3</sup> помещения, составляет  $n = 0,1$   $\kappa Bm/m^3$ ; а для больших – с высотой потолка свыше 3 м – для любой площади пола для стен с большой площадью  $n = 0,04-0,05$   $\kappa Bm/m^3$ .

Тогда общая тепловая мощность, требуемая для поддержания в помещении объемом  $V$  заданной нормативной температуры ( $t = 18$  °C), будет равна (в данном случае по минимуму):

$$N = n \cdot V_{\text{общ}} = 83,5 \kappa Bm.$$

Это мощность тепловой догрейной системы водяного отопления.

Найдем удельную плотность теплового потока, приходящуюся на 1 м<sup>2</sup> общей площади:

$$q_{\text{нагр}} = \frac{N}{S_{\text{общ}}} = 0,073 \frac{\kappa Bm}{m^2} = 73 \frac{Bm}{m^2}.$$

При замене водогрейной системы (котла) на инфракрасную обогревать нужно будет не всю теплицу с общей площадью поверхности стен, крыши и пола  $S_{\text{общ}} = 1142 \text{ м}^2$ , а только ее часть (некоторую интересующую часть поверхности пола площадью  $s = (\text{в данном случае}) = a \cdot b = 96 \text{ м}^2$ ).

Инфракрасная горелка кроме конвективной составляющей (отдаваемой) тепловой мощности имеет, благодаря ее специальной конструкции, также лучистую составляющую от раскаленной поверхности:

$$N_{\text{горелка}} = N_{\text{конвект}} + N_{\text{луч}}.$$

Тепловая мощность, отдаваемая горелкой с инфракрасным излучением:

$$N_{\text{луч}} = \eta \cdot N_{\text{горелки}},$$

где  $\eta = 0,38$  – лучистый КПД горелки.

Тогда

$$N_{\text{конвект}} = (1 - \eta)N_{\text{горелка}}.$$

Удельная плотность общего теплового потока, исходящего от инфракрасной горелки и падающего на интересующую часть поверхности пола площадью  $s$ :

$$q_{\text{гор}} = q_{\text{конв}} + q_{\text{луч}} = \frac{N_{\text{конв}}}{S_{\text{общ}}} + \frac{N_{\text{луч}}}{s} \cdot \psi,$$

где  $\psi$  – угловой коэффициент излучения, показывающий, какая доля излучения горелки падает на данную часть поверхности пола площадью  $s$ .

Далее

$$q_{\text{гор}} = \frac{(1-\eta) \cdot N_{\text{гор}}}{S_{\text{общ}}} + \frac{\eta \cdot N_{\text{гор}}}{s} \cdot \psi = N_{\text{гор}} \left( \frac{1-\eta}{S_{\text{общ}}} + \frac{\eta \cdot N_{\text{гор}}}{s} \right).$$

Согласно теории и методологии расчета систем, обменивающихся лучистой тепловой энергией, коэффициент  $\psi$  для точечного источника, обогревающего полосу шириной  $a$  и длиной  $b$ , равен [5]:

$$x = \frac{a}{2h}; \quad y = \frac{b}{2h},$$

где  $h$  – высота подвеса горелки над полом.

$$\psi = \frac{4}{2\pi} \left( \frac{x}{\sqrt{1+x^2}} \arctg \frac{y}{\sqrt{1+x^2}} + \frac{y}{\sqrt{1+y^2}} \arctg \frac{x}{\sqrt{1+y^2}} \right).$$

$$\psi = 0,5513.$$

Следовательно,

$$q_{\text{гор}} = N_{\text{гор}} \left( \frac{1 - 0,38}{1142} + \frac{0,38 \cdot 0,5513}{96} \right) = 0,00272 N_{\text{гор}}.$$

Для поддержания температуры в рабочей зоне на прежнем уровне необходимо, чтобы

$$q_{\text{гор}} = q_{\text{нагр}} = 0,073 \frac{\text{кВт}}{\text{м}^2}.$$

Найдем требуемую общую мощность горелок:

$$N_{\text{гор}} = \frac{q_{\text{гор}}}{0,00272} = 27 \text{ кВт.}$$

Выигрыш в установленной мощности составит:

$$\Delta N = N - N_{\text{гор}} = 56,5 \text{ кВт.}$$

Выигрыш в расходе газа составит:

$$\Delta G = \frac{\Delta N}{Q_{\text{г}}} = \frac{56,5 \text{ кВт}}{3500 \frac{\text{кДж}}{\text{м}^3}} = 5,81 \frac{\text{м}^3}{\text{ч}}.$$

При длительности отопительного сезона 6 месяцев в году и коэффициенте загрузки 0,5 годовая экономия газа составит:

$$\Delta G = 5,81 \frac{\text{м}^3}{\text{ч}} \cdot 24 \frac{\text{ч}}{\text{сут.}} \cdot 30 \frac{\text{сут.}}{\text{мес.}} \cdot 6 \frac{\text{мес.}}{\text{год}} \cdot 0,5 = 12553 \frac{\text{м}^3}{\text{год}}.$$

При цене газа  $C = 277$  долл. США за  $1000 \text{ м}^3$  годовая экономия газа в денежном выражении составит:

$$\text{Э} = \frac{C \cdot \Delta G}{1000} = \frac{277 \cdot 12553}{1000} = 3478 \frac{\text{долл. США}}{\text{год}} \approx 29 \frac{\text{млн руб.}}{\text{год}}$$

при курсе 8350 руб./1 долл. США.

Расчет показал, что система лучистого обогрева весенних теплиц инфракрасными газовыми горелками обеспечивает годовую экономию 29 млн руб. по сравнению с классической водяной системой обогрева [3].

На базе ГНУ «Институт тепло- и массообмена им. А.В. Лыкова НАН Беларуси» совместно с УО «БГАТУ» разработан универсальный инфракрасный газовый теплоизлучатель ТИГ-1 (рисунок 158), предназначенный для локального обогрева объектов в помещениях сельскохозяйственного назначения (теплицах, машинно-тракторных ремонтных мастерских, ангарах, складских помещениях, цехах по переработке продукции, а также животноводческих и птицеводческих фермах).

Теплоизлучатель (рисунок 158) включает: инфракрасную горелку 1; фильтр газа 2; блок автоматики 3; пульт управления 4.

В состав инфракрасной горелки входят: корпус 5; инжектор 6; рекуператор 7 (на рисунке не показан); сопло 8 (сменный комплект); излучающий элемент 9.

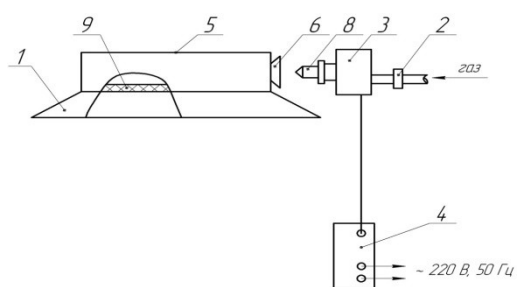


Рисунок 158 – Принципиальная схема теплоизлучателя ТИГ-1

Разработанные теплоизлучатели образуют типоразмерный ряд из 4 наименований их номинальных мощностей: 1,85; 3,65; 7,3; 14,5 кВт, обладают повышенной ветроустойчивостью и могут быть использованы для обогрева теплиц со смещенными сроками посадки овощных культур, а также при выращивании рассады для дальнейшей высадки в открытый грунт. Возможен обогрев растений даже на открытом воздухе.

Разработанный теплоизлучатель функционирует как на природном или сжиженном газе, так и на генераторном газе, получаемом в газогенераторе, работающем на местных видах топлива и горючих отходах (на древесине, торфе, льнокостре, соломе и др.).

В апреле 2009 года были проведены приемочные испытания универсальных инфракрасных газовых теплоизлучателей ТИГ-1 мощностью 1,85; 3,65; 7,3; 14,5 кВт. По результатам приемочных испытаний опытные образцы инфракрасных газовых теплоизлучателей ТИГ-1, предназначенные для использования в них в качестве топлива природного газа по ГОСТ 5542–87, сжиженного газа по ГОСТ 20448–90, соответствуют требованиям технической документации на воздухонагреватели в объеме требований, предъявляемых к качеству продукции, обеспечивающих ее безопасность, в частности содержание CO в продуктах сгорания в 5 раз меньше допустимого значения, NO<sub>x</sub> – в 2,5 раза. Комиссией рекомендована постановка теплоизлучателей ТИГ-1,85 на производство.

### Заключение

Конструктивной разработкой и технологией инфракрасного обогрева в течение более пятидесяти лет занимаются во многих странах мира, создано множество оригинального оборудования для реализации такого способа обогрева, и, как показывает опыт, этот метод является одним из наиболее энергосберегающих и экологичных, но ни одна из ведущих организаций в данной отрасли не дает никаких сведений о параметрах такого обогрева применительно к теплицам. В то же время, как показывают исследования, не существует объективных причин, не позволяющих применять инфракрасный газовый обогрев для отопления сооружений защищенного грунта.

16.08.12

### Литература

1. Рыков, А.Н. Комплексное управление микроклиматом теплиц, котельными и оборудованием электроснабжения / А.Н. Рыков // Теплицы.ру – промышленные теплицы, тепличные технологии [Электронный ресурс]. – Минск, 2012. – Режим доступа: <http://www.greenhouses.ru/upravlenie-mikroklimate-teplic>. – Дата доступа 25.09.2012.
2. Теплицы и тепличные хозяйства: справ. / Под ред. Г.Г. Шишко. – Киев: Урожай, 1993. – 421 с.



3. Справочник по теплоснабжению сельского хозяйства / Л.С. Герасимович [и др.]. – Минск: Ураджай, 1993. – 368 с.
4. Исаченко, В.П. Теплопередача / В.П. Исаченко, В.А. Осипова, А.С. Сукомел; ред. В.И. Кушнырев. – М.: Энергия, 1975. – 478 с.
5. Зигель, Р. Теплообмен излучением / Р. Зигель, Дж. Хауэлл; пер. с англ. под ред. д-ра техн. наук Б.А. Хрусталева. – М.: Изд-во «Мир», 1975. – 936 с.

УДК 63: 331.45

**А.И. Федорчук, В.Г. Андруш**

*(УО «БГАТУ»,*

*г. Минск, Республика Беларусь)*

**К ОЦЕНКЕ**

**ПРОГНОЗИРОВАНИЯ**

**БЕЗОПАСНОСТИ ТРУДА В**

**СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ**

**ОТРАСЛИ**

### **Введение**

Сельскохозяйственные машины и агрегаты (вместе с обрабатываемой средой) представляют собой сложные динамические системы. Входные воздействия и выходные переменные являются, как правило, случайными процессами. В соответствии с рассматриваемой проблемой отнесем к ним показатели состояния безопасности труда. В настоящее время эта особенность систем управления (в том числе систем обеспечения безопасности труда) при проектировании сельскохозяйственной техники и разработке нормативов ее безопасной эксплуатации учитывается не в полной мере [1, 2]. Это, на наш взгляд, может являться одной из причин, объясняющей высокий уровень производственного травматизма и производственно-обусловленной заболеваемости работников АПК.

### **Объекты и методы исследований**

Объектом исследований являются компоненты производственного травматизма операторов сельскохозяйственной техники, которые в совокупности с окружающей средой являются сложной динамической системой.

При исследовании состояния безопасности труда с оценкой ожидаемого числа травм на конкретном объекте использованы методы статистической динамики. Исходными данными являются состав работников и число травм, наблюдаемых на данном объекте в течение заданного периода.

### **Результаты исследований**

Для характеристики состояния травматизма на производстве в настоящее время используются следующие методы: статистический, монографический, эргономический и экономический. Статистический метод, включающий групповой и топографический разделы, основан на анализе статистического материала по травматизму. С помощью этого