

**УПРАВЛЕНИЕ АДАПТАЦИЕЙ ОВОЩНЫХ КУЛЬТУР
НИЗКОЭНЕРГЕТИЧЕСКИМИ ЭЛЕКТРИЧЕСКИМИ ПОТЕНЦИАЛАМИ
ПРИ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ОПТИМИЗАЦИИ
В УСЛОВИЯХ ЗАЩИЩЕННОГО ГРУНТА**

**Ю. Х. Шогенов, доктор технических наук
ФГБУ «Российская академия наук», г. Москва, Россия**

**А. В. Дубровин, доктор технических наук
ГБНУ «Всероссийский институт электрификации сельского
хозяйства», г. Москва, Россия
e-mail: dubrovin1953@mail.ru**

Аннотация. Внешнее управление градиентами биоэлектрических потенциалов (БЭП) растения приводит к расширению границ и повышению адаптационных возможностей растений, что снижает потери продукционного процесса при действии природно-климатических и других факторов стресса. Расчётная продуктивность растений при экономически оптимальной температуре окружающей среды теплицы, в условиях внешнего электрофизического воздействия на растения, позволяет вычислить инновационный прирост прибыли.

Ключевые слова: градиенты биоэлектрических потенциалов, автоматизация технологических процессов, экономически оптимальное управление, технико-экономический параметр, низкоэнергетические электрические потенциалы

Значительная часть физиологических процессов, происходящих в растениях, связана с электрическими явлениями. Благодаря различиям в функциональной жизнедеятельности тканей и органов, возникают градиенты биоэлектрических потенциалов (БЭП), физиологическое значение которых в настоящее время интенсивно изучается. Накоплен определенный экспериментальный материал, свидетельствующий об участии БЭП в морфогенетических процессах, перемещении веществ, электротонической передаче раздражений и регуляции процессов жизнедеятельности растений [1–3]. По принципу обратной связи, вероятно, можно влиять на эти процессы путем изменения естественных уровней градиентов БЭП внешними низкоэнергетическими электрическими потенциалами (НЭП) [4–6].

Цель исследований – управление адаптацией овощных культур низкоэнергетическими электрическими потенциалами.

Материалы и методика исследований. Для достижения поставленной цели вычисляется оптимальная, из условия равенства нулю

производной энергетических затрат на единицу продукции, температура воздуха в теплице, вычисляется оптимальная из условия равенства нулю производной от экономического критерия температура внутреннего воздуха теплицы. При этом известно управление экономической технологией в животноводстве и птицеводстве [7,8]. Недостатками многих подобных технических решений является отсутствие возможности управления процессом выращивания растений в теплице по экономическому (хозяйственному) признаку (критерию) в условиях внешнего управления БЭП растений.

В связи с этим, решается хозяйственно-технологическая задача [9] экономически оптимального управления технологическим процессом выращивания растений в защищенном грунте в условиях внешнего электрического воздействия на градиенты БЭП растений. Точной математической модели количественной связи продуктивности растений с многочисленными функционально влияющими на неё факторами среды [10,11] в настоящее время нами не обнаружено. В литературе опубликованы работы, свидетельствующие о природе и чувствительности взаимосвязи такого критерия функционального и интегрального показателя состояния растений, как градиенты БЭП растений с характеристиками внешних факторов [2,12,13].

Результаты исследований. На рис. 1 представлен результат воздействия на стебель растения градиентов внешних низкоэнергетических электрических потенциалов (НЭП) биологически-детерминированного уровня $БЭП_{иск}^{макс}$, при котором наблюдается максимальное повышение продуктивности растений, и который по значению больше естественного в условиях среды обитания, близких к продуктивно наилучшим (к технологически оптимальным) $БЭП_{ест}^{макс}$. В показанном примере значение $БЭП_{опт3}$, т.е. $БЭП_{иск}^{макс} > БЭП_{иск} = БЭП_{ест}^{макс} = БЭП_{опт3}$, В, – приводит к увеличению продуктивности до величины $Пр_{иск}$ ($БЭП_{иск}^{макс}$). Прибавка продуктивности растений за счёт воздействия на них низкоэнергетическими электрическими потенциалами (НЭП) весьма существенна, или близка (как минимум) к 20 % в близких к идеальным условиям среды обитания растений.

Это показано на рис. 1 самыми верхними тремя кривыми линиями продуктивности $У_{иск}^{макс}$, $Ф_{иск}^{макс}$, $Х_{иск}^{макс}$. При этом, в уже напряженном электрическом режиме $БЭП_{иск}^{макс}$ и в почти идеальных условиях среды, приросты продуктивности в теоретически наилучшей совокупности условий теплицы являются наивысшими для растения данного вида и возраста и равны друг другу: $+ΔУ_{иск}^{макс} = +ΔФ_{иск}^{макс} = +ΔХ_{иск}^{макс}$. Чем более условия обитания отличаются от близких к идеальным, тем меньшими будут при $БЭП_{иск}^{макс}$ соответствующие приросты продуктивности по сравнению с вариантами при $БЭП_{ест}^{макс}$. Это также показано уменьшающимися соответствующими приростами продуктивности $+ΔУ_{иск}^{макс} = +ΔФ_{иск}^{макс} = +ΔХ_{иск}^{макс} > +ΔУ_{иск}^{мин} > +ΔФ_{иск}^{мин} > +ΔХ_{иск}^{мин}$. Чем сильнее условия обитания растений отличаются от идеальных значений, тем сильнее максимальные уровни градиентов БЭП способствуют

повышению продуктивности растений в сходных условиях без дополнительного воздействия НЭП, т.е. при $BЭП_{иск} = 0$ В. Повышается резистентность (сопротивляемость) растения к отрицательному воздействию на него неблагоприятных факторов окружающей среды.

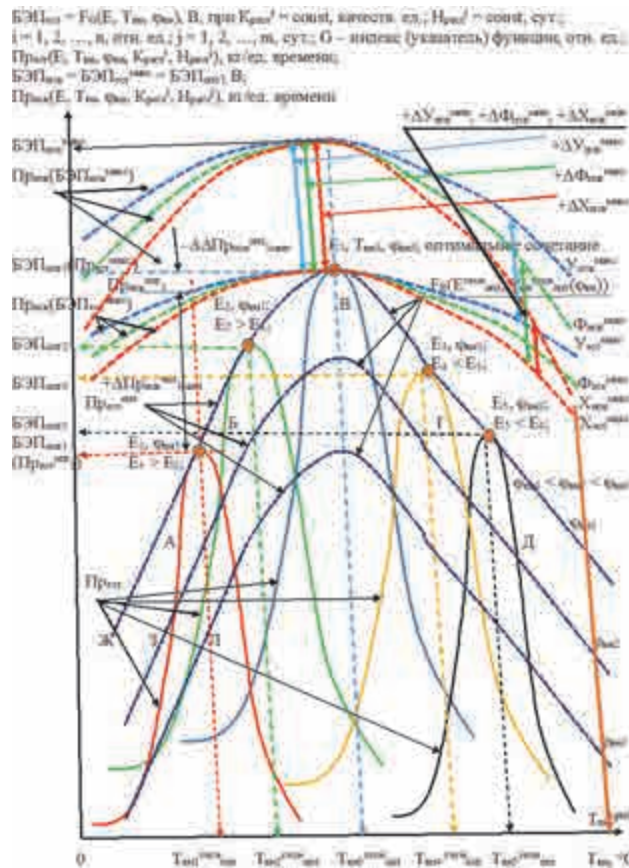


Рис. 1. Результат воздействия на стебель растения градиентов внешних низкоэнергетических электрических потенциалов биологически-детерминированного уровня $BЭП_{иск}^{макс}$, при котором наблюдается максимальное повышение продуктивности растений и который по значению больше естественного в условиях среды обитания, близких к продуктивно наилучшим (к технологически оптимальным) $BЭП_{ест}^{макс}$

Однако, при $BЭП_{иск}^{макс}$ имеет место и дополнительное снижение продуктивности растений по сравнению с её соответствующим значением в данных условиях окружающей среды при оптимальных уровнях градиентов БЭП, т.е. при $BЭП_{ест}^{макс}$ (кривые линии $Y_{иск}^{макс}$, $\Phi_{иск}^{макс}$, $X_{иск}^{макс}$ по сравнению с $Y_{ест}^{макс}$, $\Phi_{ест}^{макс}$, $X_{ест}^{макс}$). При воздействии НЭП максимального уровня на градиенты $BЭП_{иск}^{макс}$ растение испытывает, наряду с неблагоприятными факторами среды, чрезмерные перегрузки по сравнению со случаем $BЭП_{ест}^{макс}$. Например, при температуре внутреннего воздуха, близкой к $T_{вн}^{крит}$, верхние линии на рис. 1 пересекаются и меняются местами по положениям. Это означает, что при повышенной электрической нагрузке на растение, по сравнению с

естественной электрической нагрузкой, его продуктивность и резистентность (сопротивляемость) падают из-за чрезмерного его внутреннего физиологического напряжения, да ещё и неблагоприятных условиях среды обитания. Также ведёт себя растение, снижая свои возможности при подаче на него $БЭП_{иск} > БЭП_{иск}^{макс}$, т.е. при чрезмерных, и потому нежелательных, уровнях искусственных БЭП. Система верхних трёх выпуклых парабол сужается по оси абсцисс и снижается по оси ординат, не меняя технологически или экономически оптимального своего положения по значению $T_{вн3}^{техн\ опт}$.

На рис. 2 приведена иллюстрация экономичного выращивания растений в теплице с внешним воздействием НЭП на градиенты БЭП растений: $T_{вн}$ – температура внутреннего воздуха в теплице, °С; $T_{нар}$ – температура наружного воздуха, °С; БЭП – биологический электрический потенциал растения по высоте его стебля, от земли до его вершины, В; $БЭП_{ест}$ – естественные уровни БЭП растений в данных условиях окружающей среды, В; $+ΔБЭП_{иск}$ – приращение градиентов БЭП внешними НЭП, В; $Пр$ – продуктивность растений, кг/ед. времени; $+ΔПр_{иск}$ – приращение продуктивности растений за счёт действия искусственной величины « $+ΔБЭП_{иск}$ », кг/ед. времени; $Ц_p$ – стоимость произведённой растительной продукции в ценах её реализации, руб./ед. времени; $+ΔЦ_p_{иск}$ – прирост стоимости произведённой растительной продукции в ценах её реализации за счёт действия искусственной величины « $+ΔБЭП_{иск}$ », руб./ед. времени; $P_{обогр}$ – мощность обогрева теплицы, кВт; $Z_{эн}$ – затраты энергии на обогрев теплицы, кВт-ч; C – стоимость затрат только энергии на общий обогрев теплицы, руб./ед. времени; $П = Ц_p - C$ – расчётная прибыль с учётом стоимости затрат только энергии на общий обогрев теплицы, руб./ед. времени; $+ΔП$ – прирост расчётной прибыли с учётом затрат только энергии на общий обогрев теплицы за счёт действия искусственной величины « $+ΔБЭП_{иск}$ », руб./ед. времени; $T_{вн}^{техн\ опт}$ – технологически наилучшая (оптимальная) температура внутреннего воздуха в теплице (температурный режим наивысшей продуктивности растений), °С; $T_{вн}^{экон\ опт1} | T_{нар1}$ – экономически (хозяйственно) наилучшая (оптимальная) температура внутреннего воздуха в теплице (температурный режим наивысшей прибыли от выращивания растений) при более низкой температуре наружного воздуха $T_{нар1}$, °С; $T_{вн}^{экон\ опт2} | T_{нар2}$ – экономически (хозяйственно) наилучшая (оптимальная) температура внутреннего воздуха в теплице (температурный режим наивысшей прибыли от выращивания растений) при менее низкой температуре наружного воздуха $T_{нар2}$, °С; $T_{нар1} < T_{нар2}$, °С.

БЭП, В; БЭП_{ест}, В; +ΔБЭП_{иск}, В; Пр, кг/ед. времени; +ΔПр_{иск}, кг/ед. времени;
 Ц_р, руб/ед. времени; +ΔЦ_{риск}, руб/ед. времени; Р_{обогр}, кВт; Э_{эл}, кВт>ч;
 С, руб/ед. времени; П = Ц_р - С, руб/ед. времени; +ΔП, руб/ед. времени

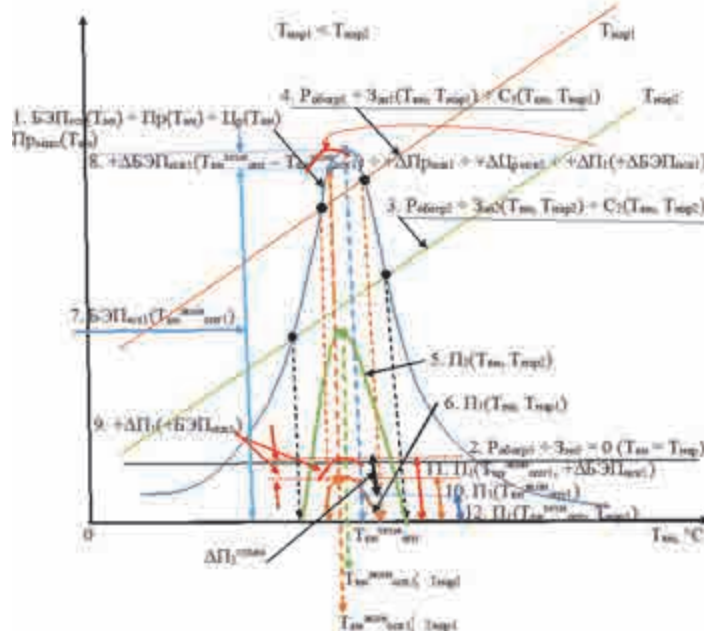


Рис. 2. Иллюстрация экономической оптимизации в теплице с искусственным электрическим воздействием на градиенты БЭП растений

С ростом температуры внутреннего воздуха $T_{вн}$ сначала растёт, а затем снижаются естественные уровни градиентов БЭП растений $БЭП_{ест}(T_{вн})$. Существует такое значение температуры среды (воздуха теплицы) в указанном диапазоне температур воздуха, при всех прочих равных воздействиях, при котором биологические процессы роста растения наиболее активны и соответствующий им БЭП растения имеет экстремальное значение [7]. Уровни градиентов БЭП растения могут характеризовать продуктивность растения, естественно, с определённым коэффициентом пересчёта (пропорциональности). Подача на стебель растения максимального электрического потенциала $БЭП_{иск}^{макс}$, при котором повышение продуктивности растений максимально, и который по значению больше естественного в условиях среды обитания (рис. 1), близких к наилучшим (к технологически оптимальным) $БЭП_{ест}^{макс}$, в показанном примере значению $БЭП_{опт3}$, т.е. $БЭП_{иск}^{макс} > БЭП_{иск} = БЭП_{ест}^{макс} = БЭП_{опт3}$, В, – приводит к увеличению продуктивности до величины $Пр_{иск}(БЭП_{иск}^{макс})$. Это показано на рис. 1 самыми верхними тремя кривыми линиями продуктивности $У_{иск}^{макс}$, $Ф_{иск}^{макс}$, $Х_{иск}^{макс}$.

При этом в уже напряженном электрическом режиме $БЭП_{иск}^{макс}$ и в почти идеальных условиях среды прорасты продуктивности в теоретически наилучшей совокупности условий теплицы являются биологически детерминированными для растения данного вида и возраста и равны друг другу: $+ΔУ_{иск}^{макс} = +ΔФ_{иск}^{макс} = +ΔХ_{иск}^{макс}$. Чем

сильнее условия среды обитания отличаются от оптимальных, тем менее при $BЭП_{иск}^{макс}$ соответствующие приросты продуктивности по сравнению с вариантами при $BЭП_{ест}^{макс}$. Это показано на фигуре 1 уменьшающимися соответствующими приростами продуктивности $+ΔU_{иск}^{макс} = +ΔΦ_{иск}^{макс} = +ΔX_{иск}^{макс} > +ΔU_{иск}^{мин} > +ΔΦ_{иск}^{мин} > +ΔX_{иск}^{мин}$. Чем более условия среды обитания растений отличаются от близких к идеальным, тем сильнее максимальный электрический потенциал повышает продуктивность растений в сходных условиях без искусственного электрофизического воздействия, т.е. при $BЭП_{иск} = 0$ В. Повышается резистентность (сопротивляемость) растения к отрицательному воздействию на него неблагоприятных факторов среды обитания.

Однако, при $BЭП_{иск}^{макс}$ имеет место и дополнительное снижение продуктивности растений, по сравнению с её соответствующим значением в данных условиях окружающей среды при воздействии наилучшего значения естественного потенциала, т.е. при $BЭП_{ест}^{макс}$ (кривые линии $U_{иск}^{макс}$, $Φ_{иск}^{макс}$, $X_{иск}^{макс}$ по сравнению с $U_{ест}^{макс}$, $Φ_{ест}^{макс}$, $X_{ест}^{макс}$). Это снижение продуктивности также вполне естественно, поскольку при наивысшем электрофизическом воздействии $BЭП_{иск}^{макс}$ растение испытывает, наряду с неблагоприятными факторами среды, чрезмерные перегрузки по сравнению со случаем $BЭП_{ест}^{макс}$.

Например, при температуре внутреннего воздуха, близкой к $T_{вн}^{крит}$, линии продуктивности цвета на рис. 1 пересекаются и меняются местами по положениям. Это означает, что при повышенной электрической нагрузке на растение, по сравнению с естественной электрической нагрузкой на растение, его продуктивность и резистентность (сопротивляемость) падают из-за чрезмерного его внутреннего физиологического напряжения, да ещё и неблагоприятных условий среды обитания. Также ведёт себя растение, снижая свои возможности при подаче на него $BЭП_{иск} > BЭП_{иск}^{макс}$, т.е. при чрезмерных, и потому совершенно не допустимых, уровнях НЭП.

Система верхних трёх выпуклых парабол сужается по оси абсцисс и снижается по оси ординат, не меняя технологически или экономически оптимального своего положения по значению $T_{вн3}^{техн\ опт}$. Чем более неблагоприятным является воздействие параметра среды на растение, тем более падает продуктивность растения (переход с кривой линии $U_{ест}^{макс}$ на линию $Φ_{ест}^{макс}$, с линии $Φ_{ест}^{макс}$ на линию $X_{ест}^{макс}$). Например, если температура внутреннего воздуха в теплице снизилась со значения $T_{вн3}^{техн\ опт}$ до значения $T_{вн1}^{техн\ опт}$, то продуктивность упала от $Pr_{ест}^{макс}$, как минимум, до $Pr_{ест}^{опт1}$. Это произойдёт, если компенсирующие управления другими управляемыми параметрами привели к максимально достижимой продуктивности в новых условиях с пониженной температурой воздуха.

Если же управление другими параметрами среды не происходит при снижении температуры, то продуктивность упадёт ещё больше. Таким образом, внешнее воздействие на БЭП растения в приведённом примере приводит к повышению продуктивности на величину $+ΔPr_{иск}^{опт1\ мин}$ и более. Продуктивность растений $Pr_{иск}^{опт1}$, достигаемая с помощью

электрофизического воздействия на растения в этих неблагоприятных условиях, снижается по сравнению с генетически возможной ($Pr_{ест}^{макс}$) всего лишь на величину $-\Delta\Delta Pr_{иск}^{опт} 1_{мин}$, а не на гораздо большую величину $(Pr_{ест}^{макс}) - (Pr_{ест}^{опт} 1) = +\Delta Pr_{иск}^{опт} 1_{мин} + |-\Delta\Delta Pr_{иск}^{опт} 1_{мин}| = \Delta Pr_{иск}^{опт} 1_{мин} + \Delta\Delta Pr_{иск}^{опт} 1_{мин}$.

Далее необходимо умножить полученную продуктивность растений в условиях действия НЭП при экономически оптимальной температуре внутреннего воздуха в теплице на региональную рыночную удельную цену выращиваемых культур и получить искомую стоимость продукции в ценах её реализации. Соответственно, вычисляется инновационный прирост прибыли 9. $+\Delta P_1(+БЭП_{иск1})$, показывающий экономическую эффективность процесса только за счёт электрофизического воздействия на растения (рис. 1). Вместе с прибылью, за счёт только экономически наилучшего управления режимом обогрева теплицы 10. $P_1(T_{вн}^{экон} опт1)$, этот инновационный прирост прибыли в сумме даёт результирующую прибыль 11. $P_1(T_{вн}^{экон} опт1, +БЭП_{иск1})$ (рис. 2). Точно такой же оптимум имеет температурная зависимость продуктивности растений $Pr(T_{вн})$.

Соответствующий вид имеет температурная зависимость стоимости выращиваемой продукции в ценах её реализации $C_p(T_{вн})$, равная произведению продуктивности растений и её удельной цены. Одинаковый вид этих совпадающих зависимостей на рис. 2 обозначен как 1. $БЭП_{ест}(T_{вн}) \div Pr(T_{вн}) \div C_p(T_{вн})$. Мощность обогрева $P_{обогр3}$ и затраты энергии на обогрев теплицы $Z_{эн3}$ при равных температурах её внутреннего $T_{вн}$ и наружного $T_{нар}$ воздуха, при $T_{вн} = T_{нар}$, равны нулю. На рис. 2 линия мощности обогрева и затрат на обогрев теплицы показана не совпадающей с осью абсцисс, а для наглядности показана параллельной оси абсцисс и обозначена как 2. $P_{обогр3} \div Z_{эн3} = 0 (T_{вн} = T_{нар})$. Физический смысл такого варианта также существует: постоянный обогрев нужен для компенсации потерь теплоты из помещения теплицы через пол помещения теплицы.

Если температура наружного воздуха $T_{нар2}$ ниже температуры внутреннего воздуха $T_{вн}$, то с ростом $T_{вн}$ растёт мощность обогрева $P_{обогр2}$, растут затраты энергии на обогрев $Z_{эн2}$, растёт стоимость затрат энергии на обогрев: 3. $P_{обогр2} \div Z_{эн2}(T_{вн}, T_{нар2}) \div C_2(T_{вн}, T_{нар2})$. Зависимость роста линейная, так как тепловые потери помещения теплицы прямо пропорционально зависят от разности указанных температур. При очень низкой температуре наружного воздуха $T_{нар1}$, или при условии $T_{нар1} < T_{нар2}$, прямая линия смещается: 4. $P_{обогр1} \div Z_{эн1}(T_{вн}, T_{нар1}) \div C_1(T_{вн}, T_{нар1})$. Для получения температурной зависимости величины прибыли растениеводства в теплице при $T_{нар2}$ надо из температурной зависимости стоимости выращиваемой продукции в ценах её реализации $C_p(T_{вн})$ вычесть температурную зависимость стоимости затрат энергии на обогрев $C_2(T_{вн}, T_{нар2})$. Разность на рис. 2: 5. $P_2(T_{вн}, T_{нар2})$. Так же на рис. 2 получается график прибыли при $T_{нар1}$: 6. $P_1(T_{вн}, T_{нар1})$.

При экономически оптимальной температуре $T_{вн}^{экон} опт1$, соответствующей низкой температуре наружного воздуха $T_{нар1}$, растения имеют биоэлектрический потенциал $БЭП_{ест1}$: 7. $БЭП_{ест1}(T_{вн}^{экон} опт1)$. Если

повысить его до максимального значения ($\text{БЭП}_{\text{ест}1} + \Delta\text{БЭП}_{\text{иск}1}$), соответствующего режиму наивысшей продуктивности растений $\text{Пр}_{\text{макс}}$ ($T_{\text{вн}}$), то следует ожидать достоверного повышения продуктивности практически до этого наивысшего значения. Воздействие электрическим напряжением на растение позволяет, по рис. 2, искусственным образом повысить его биоэлектрический потенциал на $+\Delta\text{БЭП}_{\text{иск}1}$, продуктивность растений на $+\Delta\text{Пр}_{\text{иск}1}$, увеличить стоимость выращиваемой продукции на $+\Delta\text{Ц}_{\text{риск}1}$, соответственно повысить прибыль на $+\Delta\text{П}_1:8. +\Delta\text{БЭП}_{\text{иск}1}(T_{\text{вн}}^{\text{техн}}_{\text{опт}} - T_{\text{вн}}^{\text{экон}}_{\text{опт}1}) \div +\Delta\text{Пр}_{\text{иск}1} \div +\Delta\text{Ц}_{\text{риск}1} \div +\Delta\text{П}_1(+\Delta\text{БЭП}_{\text{иск}1})$.

Эта прибавка прибыли $+\Delta\text{П}_1$ перенесена вниз по рис. 2: 9. $+\Delta\text{П}_1(+\Delta\text{БЭП}_{\text{иск}1})$ для сложения с прибылью в результате экономической оптимизации режима обогрева теплицы 10. $\text{П}_1(T_{\text{вн}}^{\text{экон}}_{\text{опт}1})$ при низкой температуре наружного воздуха $T_{\text{нар}1}$. Результат суммирования 11. $\text{П}_1(T_{\text{вн}}^{\text{экон}}_{\text{опт}1}, +\Delta\text{БЭП}_{\text{иск}1})$ показывает максимальную прибыль тепличного растениеводства, складывающуюся из результатов экономической оптимизации режима обогрева теплицы и внешним воздействием НЭП на градиенты БЭП растений при низкой температуре наружного воздуха $T_{\text{нар}1}$. При традиционном в сельском хозяйстве управлении по технологическому критерию, то есть, по максимальной продуктивности растений, при технологически оптимальной температуре внутреннего воздуха $T_{\text{вн}}^{\text{техн}}_{\text{опт}}$ и при низкой температуре наружного воздуха $T_{\text{нар}1}$ получается величина прибыли: 12. $\text{П}_1(T_{\text{вн}}^{\text{техн}}_{\text{опт}}, T_{\text{нар}1})$.

Экономический (хозяйственный) выигрыш при предлагаемом способе хозяйственно наилучшего управления, с искусственным электрофизическим воздействием на естественный БЭП растений определённого вида и возраста и при низкой температуре наружного воздуха $T_{\text{нар}1}$, составляет: $\Delta\text{П}_1^{\text{сумм}} = [11. \text{П}_1(T_{\text{вн}}^{\text{экон}}_{\text{опт}1}, +\Delta\text{БЭП}_{\text{иск}1}, T_{\text{нар}1}) - 12. \text{П}_1(T_{\text{вн}}^{\text{техн}}_{\text{опт}}, T_{\text{нар}1})]$. При этом результатом является также повышение резистентности (сопротивляемости растений), их адаптационных возможностей в условиях действия НЭП, повышение точности управления из-за учёта температуры наружного воздуха.

При наличии математических моделей продуктивности растений данного вида и определённого возраста в естественных условиях среды обитания, и при наличии внешнего электрического воздействия на градиенты БЭП растений, можно вычислить численные значения указанных выше величин. Затем умножить полученную продуктивность растений при экономически оптимальной температуре внутреннего воздуха в теплице на региональную рыночную удельную цену выращиваемых растений и получить искомую стоимость продукции в ценах её реализации. Соответственно, вычисляется инновационный прирост прибыли 9. $+\Delta\text{П}_1(+\Delta\text{БЭП}_{\text{иск}1})$, показывающий экономическую эффективность процесса только за счёт воздействия на БЭП растения внешними НЭП (рис. 2). Вместе с прибылью, за счёт только экономически наилучшего управления режимом обогрева теплицы 10. $\text{П}_1(T_{\text{вн}}^{\text{экон}}_{\text{опт}1})$, этот инновационный прирост прибыли в сумме даёт результирующую прибыль 11. $\text{П}_1(T_{\text{вн}}^{\text{экон}}_{\text{опт}1}, +\Delta\text{БЭП}_{\text{иск}1})$ (рис. 3).

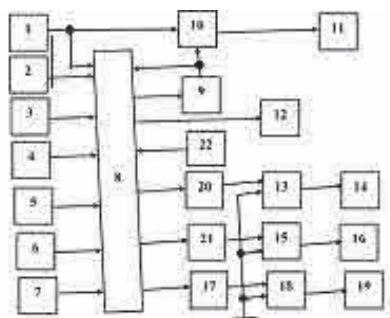


Рис. 3. Функциональная схема устройства экономичного выращивания растений в закрытом грунте в условиях регулирования внешними низкоэнергетическими электрическими потенциалами градиентов БЭП растений:

1 – датчик температуры внутреннего воздуха $T_{вн}$; 2 – датчик относительной влажности внутреннего воздуха; 3 – датчик температуры наружного воздуха $T_{нар}$; 4 – датчик относительной влажности наружного воздуха; 5 – датчик облучённости; 6 – датчик скорости движения наружного воздуха или скорости ветра; 7 – блок задатчиков времени, имитированного сигнала температуры внутреннего воздуха, сигналов развёртки в технологическом диапазоне температуры внутреннего воздуха, значений коэффициентов и констант математических моделей продуктивности и теплообмена теплицы с окружающей средой; 8 – вычислительный блок; 9 – первый блок управления или первый формирователь экономически оптимального значения температуры внутреннего воздуха, или первый оптимизатор; 10 – первый регулятор температуры внутреннего воздуха $T_{в}$; 11 – обогреватель; 12 – блок индикации технических, технологических и экономических параметров и характеристик процесса выращивания растений в теплице; 13 – регулятор относительной влажности внутреннего воздуха; 14 – исполнительный элемент системы увлажнения или увлажнитель воздуха; 15 – регулятор облучённости растений; 16 – исполнительный элемент системы облучения или осветительные приборы, или лампы; 17 – формирователь искусственного электрического наивысшего значения БЭП растений данного вида и возраста при близких к оптимальным условиям среды обитания; 18 – второй регулятор напряжения искусственного биологического электрического потенциала или искусственно созданного внешнего электрического отрицательного потенциала, приложенного к вершине растения по отношению к грунту; 19 – входное электрическое сопротивление стеблей растений теплицы, верхушки которых механически закреплены на прочных электропроводящих шпалерах и электрически присоединены к ним; 20 – формирователь экономически оптимального значения относительной влажности внутреннего воздуха, или второй оптимизатор; 21 – формирователь экономически оптимального значения облучённости растений, или третий оптимизатор; 22 – датчик направления ветра

Датчик направления ветра 22 даёт информацию о наветренной поверхности теплицы с повышенным теплосъёмом. В соответствии с рис.1, рис. 2 и рис. 3, происходит экономически оптимальное управление

процессом обогрева теплицы при воздействии на градиенты БЭП растений. С выхода блока управления 9 сигнал экономически оптимальной температуры внутреннего воздуха также поступает на четвертый вход вычислительного блока 8, в результате чего вычисляются, при этой температуре, прибавка продуктивности растений, приращение стоимости произведённой растительной продукции в ценах её реализации, прирост расчётной прибыли с учётом затрат только энергии на общий обогрев теплицы, за счёт действия сформированного сигнала разности БЭП. Эта величина внешнего электрического отрицательного потенциала, приложенного к вершине растения по отношению к его основанию, формируется на втором выходе вычислительного блока 8 и подаётся на инвертирующий вход второго регулятора напряжения 18. Имеется возможность подстраивать три регулируемых параметра микроклимата теплицы (температура и влажность внутреннего воздуха, освещённость растений) в технологически наилучшее их сочетание.

Выводы

Рост продуктивности растений дополнительно стимулируется внешними НЭП, которые на 20–30 % повышают градиенты БЭП вдоль продольной оси растений искусственным путем. При этом значения градиентов БЭП которого в условиях среды обитания, близких к технологически наилучшим, повышены на 20–30 %. Предельно возрастает именно *экономическая* эффективность процессов экономически оптимального, экономичного обогрева теплицы с искусственным внешним воздействием НЭП на градиенты БЭП растений в отрасли промышленного тепличного растениеводства.

Список литературы

1. Медведев С. С. Механизмы формирования и физиологическая роль полярности в растениях / С. С. Медведев // Физиология растений. – 2012. – Т. 59. – № 4. – С. 502–514.
2. Vasil'ev V. A., Garkusha I. V., Petrov V. A., Romanovskii Yu. M., Shogenov Yu. Kh. Light induced electrical activity of green plants // Biophysics. – 2003. – Vol. 48. – № 4. – P. 662–671.
3. Luis A. Gurovich. Electrophysiology of Woody Plants. Publisher InTech., 2012. – 25 pp.
4. А. с. 1639496 СССР. Способ стимуляции роста растений. А 01 G 7/00. Московская сельскохозяйственная академия им. К. А. Тимирязева / Н. Н. Третьяков, Л. Г. Прищеп, Ю. Х. Шогенов, К. И. Каменская, А. И. Лузик. – № 4419902/15 ; заявл. 01.04.1988 ; опубл. 07.04.1991, Бюл. №13.
5. А. с. 1558341 СССР. Способ определения режимов электростимуляции растений. А 01 G 7/04. Московская сельскохозяйственная академия им. К. А. Тимирязева / К. И. Каменская, Н. Н. Третьяков, Ю. Х. Шогенов. – № 4398273/30-13 ; заявл. 28.03.1988 ; опубл. 23.04.1990 г., Бюл. № 15.
6. Shogenov Yu. Kh., Mironova E. A., Moiseenkova V. Yu., Romanovsky Yu. M. Effect of monochromatic electromagnetic irradiation in the wavelength range of

330-3390 nm on plant bioelectric activity // Russian Journal of Plant Physiology. – 1999. – Vol. 46. – № 5. – P. 697–703.

7. Патент 2300194 РФ. Способ управления экономичной обогревательной технологией в животноводстве и птицеводстве и устройство для его осуществления / А. В. Дубровин и др. ; патентообладатель Государственное научное учреждение Всероссийский научно-исследовательский институт электрификации сельского хозяйства. – 2007, Бюл. № 16.

8. Дубровин А. В. Автоматизация технологических процессов обогрева в птицеводстве / А. В. Дубровин. – М. : ФГБНУ ВИЭСХ, 2014. – 336 с.

9. Дубровин А. В. Основы автоматического управления технологическими процессами в птицеводстве по экономическому критерию / А. В. Дубровин. – М. : ФГБНУ ВИЭСХ, 2014. – 544 с.

10. Современные проблемы изучения и сохранения биосферы. Том 3. Проблемы восстановления и сохранения систем биосферы / Солнцева Н. П., Федоров В. М., Рубин А. Б. и др. ; под ред. Н. В. Красногорской. – Санкт-Петербург : Гидрометеиздат, 1992. – 356 с.

11. А. с. № 886835 СССР. Способ регулирования факторов внешней среды при выращивании растений и устройство для его осуществления. А 01 G 7/00. / А. С. Дорошек, И. А. Рыбин ; Уральский Ордена Трудового Красного Знамени государственный университет им. А. М. Горького. – № 2724185/15 ; заявл. 14.02.1979 ; опубл. 07.12.1981, Бюл. № 45.

12. Шогенов Ю. Х. Математическая модель биоэлектрической полярности высшего растения / Ю. Х. Шогенов // НТБ ВИМ. – 1992. – Вып. 85. – С. 33–37.

13. Бородин И. Ф. Адаптация растений к локальному монохроматическому электромагнитному излучению / И. Ф. Бородин, Ю. Х. Шогенов, Ю. М. Романовский // Доклады Россельхозакадемии. – 1999. – № 6. – С. 46–49.

КЕРУВАННЯ АДАПТАЦІЄЮ ОВОЧЕВИХ КУЛЬТУР НИЗЬКОЕНЕРГЕТИЧНИМИ ЕЛЕКТРИЧНИМИ ПОТЕНЦІАЛАМИ ПРИ ЕКОНОМІЧНІЙ ОПТИМІЗАЦІЇ В УМОВАХ ЗАХИЩЕНОГО ҐРУНТУ

Ю. Х. Шогенов, О. В. Дубровін

Анотація. *Зовнішнє керування градієнтами біоелектричних потенціалів (БЕП) рослини призводить до розширення кордонів і підвищення адаптаційних можливостей рослин, що знижує втрати продукційного процесу при дії при-родно-кліматичних та інших факторів стресу. Розрахункова продуктивність рослин за економічно оптимальної температури навколишнього середовища теплиці в умовах зовнішнього електрофізичного впливу на рослини дає змогу обчислити інноваційний приріст прибутку.*

Ключові слова: *градієнти біоелектричних потенціалів, автоматизація технологічних процесів, економічно оптимальне управління, техніко-економічний параметр, низькоенергетичні електричні потенціали*

MANAGE ADAPTATION OF VEGETABLE CROPS LOW-ENERGY ELECTRIC POTENTIALS AT ECONOMIC OPTIMIZATION IN CONDITIONS OF PROTECTED GROUND

Y. Shogenov, A. Dubrovin

Annotation. *External control of gradients of bioelectric potentials (BEP) plants leads to an expansion of borders and increase the adaptive capacity of plants, which reduces the loss of the production process under the influence of climatic and other stresses. Estimated productivity of plants at cost-optimal ambient conditions in greenhouses external electrophysical effects on plants allows us to calculate an innovative profit growth.*

Key words: *gradients of bioelectric potentials, process automation, cost optimal control, techno-economic parameter, low-energy electric potentials*

УДК 631.358.42

РУХ ПОТОКУ СИПКОГО МАТЕРІАЛУ ПОВЕРХНЕЮ РОБОЧОГО ОРГАНУ З ПЛОСКИМИ ЛОПАТКАМИ

*М. Б. Клендій, О. М. Клендій, кандидати технічних наук
ВП НУБіП України «Бережанський агротехнічний інститут»
e-mail: pklen_@i.ua*

Анотація. *Для збільшення довжини технологічної магістралі гвинтового конвеєра запропоновано використати перевантажувальний патрубок. Встановлено залежності для визначення кінематичних параметрів руху потоку матеріалу в гвинтовому конвеєрі з лопатевим робочим органом, а також виведено залежності для визначення потужності транспортування сипкого матеріалу.*

Ключові слова: *гвинтовий конвеєр, перевантажувальний патрубок, лопатевий робочий орган, сипкий матеріал, потік матеріалу*

Застосування в гнучких гвинтових конвеєрах перевантажувальних патрубків з центральним приводом технологічних магістралей дає змогу суттєво підвищити експлуатаційну надійність таких засобів механізації. Однак існуючі конструкції перевантажувальних патрубків не повною мірою задовольняють експлуатаційні вимоги. Основними їх недоліками є підвищені енерговитрати, а також підвищене пошкодження сипкого

© М. Б. Клендій, О. М. Клендій, 2016