

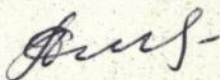
На правах рукописи

СИНЯВСКИЙ АЛЕКСАНДР ПРЬЕВИЧ

СИСТЕМА ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ ПРИГОТОВЛЕНИЯ
ПИТАТЕЛЬНОГО РАСТВОРА В ГИДРОПОННЫХ ТЕПЛИЦАХ

- 05.20.02 - электрификация сельскохозяйственного
производства
- 05.13.07 - автоматизация технологических процессов
и производств (по отрасли - сельскохозяй-
ственное производство)

А в т о р е ф е р а т
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук



Киев - 1992



00816361 (P)

Робота виконана в Інституті науково-дослідницькому
інституті механізації та електрифікації сільського господарства
(УНІММАСХ)

Научний керівник - доктор технічних наук,
професор Кистень Г.Є.

Офіційні опоненти: доктор технічних наук,
професор Грищенко А.З.

кандидат технічних наук,
старший науковий співробітник
Мартиненко А.И.

Ведуща організація - НПО "Квант" (г. Київ)

Захист состоится " 2 " ноября 1992 г. в 14 часов
на засіданні спеціалізованого ради К 120.71.02 в Українському
державному аграрному університеті (аудиторія 26 8-го учео-
ного корпусу).

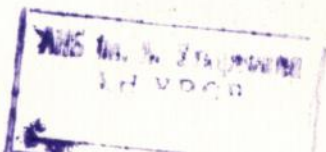
Прошу прийняти участь в обговоренні дисертації или ви-
слати Ваш отзыв на автореферат в двух екземплярах, заверенних
печатью Вашего учреждения, по адресу: 252041, Киев-41, ул. Гер-
оев Оборони, 15, сектор защиты диссертаций.

С дисертацією можна ознайомитися в бібліотеці аграрного
університету.

Автореферат розослан " 1 " октября 1992 г.

Учений секретарь
спеціалізованого ради
кандидат технічних наук,
доцент

Л.П. ТИЩЕНКО



ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. Интенсификация овощеводства защищенного грунта неразрывно связана с внедрением энергосберегающих гидропонных технологий, которые позволяют повысить урожайность овощных культур по сравнению с возделыванием их на почве на 25–30% при сокращении расхода воды и минеральных удобрений соответственно на 30% и 40%.

При беспочвенном выращивании все необходимые минеральные элементы растения получают из питательного раствора, поэтому отклонение его кислотности и концентрации от оптимальных значений приводит к нарушению поглощения растениями питательных веществ и воды, в результате чего снижается урожайность овощных культур и ухудшается качество продукции.

В настоящее время отсутствует система электрооборудования, обеспечивающая приготовление питательного раствора, отвечающего агротехническим требованиям. Контроль и корректирование состава питательного раствора на основании анализов, выполняемых агрохимической лабораторией, не позволяют осуществлять непрерывный контроль за кислотностью и концентрацией питательного раствора и производить своевременное их корректирование.

Цель и задачи исследования. Целью работы является разработка и обоснование параметров системы электрооборудования для приготовления питательного раствора, обеспечивающей поддержание кислотности и концентрации питательного раствора на оптимальном для каждой культуры уровне.

Для достижения этой цели были поставлены следующие задачи:

1. Теоретически и экспериментально исследовать зависимость удельной электропроводности питательного раствора от концентрации входящих в его состав солей.
2. Теоретически и экспериментально определить динамические характеристики смесительного резервуара как объекта управления.
3. Осуществить параметрический синтез систем автоматического регулирования кислотности и концентрации питательного раствора и определить оптимальные параметры настроек выбранного регулятора.
4. Обосновать структуру и разработать систему электрооборудования для приготовления питательного раствора с использованием микропроцессорной техники.

5. Разработать алгоритмическое и программное обеспечение системы электрооборудования.

6. Испытать в производственных условиях разработанную систему электрооборудования для приготовления питательного раствора и провести ее экономическую оценку.

Объект исследований. Объектом исследований являлся технологический процесс приготовления питательного раствора в блоке гидропонных теплиц.

Научная новизна. Получены аналитические зависимости удельной электропроводности питательного раствора от концентрации входящих в его состав солей. Исследованы зависимости параметров питательного раствора от подачи кислоты, концентрированных растворов удобрений и воды. Получены математическая модель их динамики в смесительном резервуаре, а также аналитические выражения для определения оптимальных параметров настроек релейно-импульсного регулятора для астатического объекта первого порядка с запаздыванием. Обоснованы параметры и структура системы электрооборудования для приготовления питательного раствора в блоке гидропонных теплиц.

Практическая ценность. Получены выражения для расчета параметров настроек релейно-импульсного регулятора для астатического объекта первого порядка с запаздыванием из условия минимума суммарного квадратического отклонения и абсолютной устойчивости системы, которые могут быть использованы в инженерной практике. Разработаны алгоритмическое и программное обеспечение управления процессом приготовления питательного раствора и корректирования его параметров, а также система электрооборудования, позволяющая поддерживать кислотность питательного раствора на заданном уровне с погрешностью не более 0,2 ед. рН, а концентрацию - 0,02 См/м.

Апробация работы. Основные положения работы обсуждены и одобрены на научно-технических конференциях: "Ресурсосберегающие технологии в сельском хозяйственном производстве" (Волгоград, 1988 г.), "Механизация и автоматизация технологических процессов в агропромышленном комплексе" (Новосибирск, 1989 г.), "Энергосберегающее электрооборудование для АПК" (Москва, 1990 г.), "Проблемы конструирования и технологии производства сельскохозяйственных машин" (Кировоград, 1991 г.) и научных конференциях профессорско-преподавательского состава УСХА "Научные достиже-

ния - делу перестройки" (Киев, 1989 г.), "Ученые сельскохозяйственных вузов - увеличению производства продовольствия в стране" (Киев, 1990 г.).

Реализация результатов исследований. По результатам исследований разработана система электрооборудования узла приготовления питательного раствора блока зимних гидропонных теплиц площадью 5 га, которая прошла производственную проверку и внедрена в тепличном совхозе "Киевская овощная фабрика". Результаты проведенных исследований переданы в проектный институт "Оргзагпропромсельстрой" для использования в проектах гидропонных теплиц.

Публикация результатов исследований. По результатам исследований опубликовано 8 печатных работ общим объемом 1,2 печатного листа, в которых изложены основные положения диссертации.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, пяти глав, основных выводов, списка использованной литературы и приложений.

Работа содержит 122 страницы машинописного текста, 46 рисунков, 18 приложений. Список использованной литературы включает 122 наименования, в том числе 31 на иностранных языках.

Содержание работы.

В первой главе "Анализ современного состояния электрификации и автоматизации приготовления питательного раствора в гидропонных теплицах" произведен анализ существующих технологий гидропонного выращивания растений, приведены классификации гидропонных установок, рассмотрены вопросы влияния кислотности и концентрации питательного раствора на рост и развитие растений и сформулированы требования, предъявляемые к питательным растворам. Выполнен анализ оборудования для приготовления питательного раствора и технических средств для контроля и регулирования его параметров.

Установлено, что в овощеводстве защищенного грунта наиболее перспективными являются технологии, основанные на малобъемной гидропонике с многократным использованием питательного раствора. При выращивании овощных культур по этим технологиям необходимо строго контролировать концентрацию и реакцию (рН) питательного раствора и поддерживать их в оптимальных пределах, так как они

в значительной степени влияют на поглощение растениями воды и минеральных элементов.

Обоснованию оптимальных режимов минерального питания растений при беспочвенном выращивании посвящены работы Э.А.Алиева, Е.Н.Базыриной, Г.С.Давтяна, Н.П.Родникова, Г.И.Тараканова, В.А.Чеснокова и других авторов. Проблемы разработки технологического оборудования для беспочвенного выращивания растений, электрификации и автоматизации гидропонных установок рассмотрены в работах Р.А.Акопяна, Б.В.Латенка, В.Н.Липова, А.И.Лузика, Е.И.Мельникова, Л.Г.Прищепа, В.Н.Судаченка и др.

Анализ технических средств для гидропонного выращивания растений показал, что наиболее качественное приготовление питательного раствора обеспечивают растворные узлы со смесительной емкостью, куда поступает вода, концентрированные растворы удобрений и кислоты.

При многократном использовании питательный раствор применяется длительное время, в связи с чем изменяются его параметры, что вызывает необходимость периодически проводить их корректирование. Применяемое в некоторых установках объемное дозирование концентрированных растворов удобрений и кислоты пропорционально добавляемой воде без учета параметров питательного раствора, находящегося в смесительном резервуаре, приводит к нарушению соотношения между минеральными элементами в растворе. Контроль и корректирование состава питательного раствора на основании химических анализов, выполняемых один раз в неделю, также не обеспечивает поддержание кислотности и концентрации питательного раствора на оптимальном уровне. Поэтому необходимо обосновать способ непрерывного контроля параметров питательного раствора, разработать и исследовать систему электрооборудования, позволяющую обеспечить их автоматическое регулирование.

Проведенный анализ технических средств для приготовления питательного раствора и исследований в этой области позволил сформулировать задачи, решаемые в диссертационной работе.

Во второй главе "Обоснования способов контроля и исследование измерительных преобразователей кислотности и концентрации раствора" изложены результаты теоретических и экспериментальных исследований зависимости удельной электропроводности питательного раствора от концентрации входящих в его состав солей, обоснованы конструктивные параметры первичных преобразователей pH-мет-

ров и концентратометров, определены их статические и динамические характеристики и приведена методика калибровки при измерениях концентрации и кислотности питательного раствора в гидронежных теплицах.

Питательный раствор является многокомпонентным раствором, состоящим из солей и удобрений, которые относятся к сильным электролитам. Для них необходимо учитывать силы взаимодействия частиц растворенного вещества между собой, а также с молекулами растворителя.

На основании рассмотрения прохождения электрического тока через растворы электролитов получено выражение для их удельной электропроводности:

$$\kappa = \sum_{i=1}^k f_{\lambda_i} \rho_i \alpha_i \lambda_i^{\circ} C_i, \quad (1)$$

где f_{λ_i} - коэффициент электропроводности, учитывающий силы молекулярного взаимодействия, ρ_i - произведение стехиометрического коэффициента реакции электролитической диссоциации на заряд иона, α_i - степень электролитической диссоциации, λ_i° - подвижность ионов, C_i - концентрация электролита в растворе.

Питательные растворы характеризуются низкой концентрацией и небольшой диапазоном изменения концентраций отдельных элементов. Поэтому можно считать величины α_i и f_{λ_i} постоянными, а выражение для удельной электропроводности записать в виде

$$\kappa = \kappa_0 + \sum_{i=1}^k B_i C_i, \quad (2)$$

где κ_0 - удельная электропроводность воды; B_i - коэффициент, характеризующий химические свойства соли.

Так как степень электролитической диссоциации α_i и коэффициент электропроводности f_{λ_i} аналитически определить невозможно для подавляющего большинства растворов электролитов, для определения коэффициентов B_i и проверки адекватности выражения (2) были проведены факторные эксперименты 2^{5-2} и 2^{6-3} для двух составов растворов, применяемых при гравийной и мелкообъемной гидропонике. В качестве влияющих факторов приняты концентрации солей, входящих в состав растворов. За значение верхнего уровня фактора принимали максимальную концентрацию соли в питательном растворе, за значение нижнего уровня - нулевую кон-

центрации. Исследования проводились при постоянной температуре раствора, которая составляла 25°C.

После обработки результатов эксперимента получены следующие уравнения регрессии в физических переменных:

для гравийной гидропонии

$$\begin{aligned} \kappa = \kappa_0 + 0.176 C_1 + 0.1324 C_2 + 0.0757 C_3 + \\ + 0.154 C_4 + 0.0407 C_5, \end{aligned} \quad (3)$$

где κ — удельная электропроводность раствора, См/м;

C_1 — концентрация, г/л аммония азотнокислого; C_2 — калия азотнокислого; C_3 — магния сернокислого семиводного; C_4 — калия сернокислого; C_5 — суперфосфата простого, и для мало-объемной гидропонии

$$\begin{aligned} \kappa = \kappa_0 + 0.176 C_1 + 0.0916 C_2 + 0.076 C_3 + \\ + 0.1326 C_4 + 0.1546 C_5, \end{aligned} \quad (4)$$

где C_1 — концентрация, г/л аммония азотнокислого; C_2 — калия азотнокислого четырехводного; C_3 — магния сернокислого; C_4 — калия фосфорнокислого однозамещенного; C_5 — калия азотнокислого; C_6 — калия сернокислого.

Статистическая значимость коэффициентов регрессии и адекватность моделей выполняется на 5% уровне значимости.

Анализ полученных уравнений регрессии показывает, что удельная электропроводность питательного раствора зависит от химического состава и концентрации входящих в его состав компонентов. При постоянном соотношении питательных веществ в растворе, либо когда это соотношение изменяется незначительно, что имеет место при гидропонном выращивании растений, удельная электропроводность однозначно определяется концентрацией питательного раствора.

Уравнения регрессии (3) и (4) позволяют рассчитать значение удельной электропроводности раствора по концентрациям солей и удобрений, приведенным в рецептах питательных растворов, и по этому параметру вести контроль за его концентрацией.

Проведенные исследования показали, что для измерения удельной электропроводности раствора целесообразно использовать концентратометр с погружным первичным измерительным преобразователем

кондуктометрического типа, а кислотности раствора — рН-метр с электродной системой, состоящей из стеклянного измерительного и хлорсеребряного вносного вспомогательного электрода. Разработана методика их калибровки, которая позволила осуществлять контроль кислотности питательного раствора с погрешностью, не превышающей 0,1 ед. рН, и его удельной электропроводности с погрешностью, не превышающей 0,01 См/м.

В третьей главе "Исследование системы электрооборудования для автоматического регулирования кислотности и концентрации питательного раствора" приведены результаты теоретических и экспериментальных исследований изменения параметров питательного раствора при подаче кислоты, концентрированных растворов удобрений и воды, разработана математическая модель их динамики в смешительном резервуаре, дан анализ структурной схемы САР и приведено ее математическое описание, обоснован закон регулирования и произведен параметрический синтез системы из условия минимума суммарного квадратического отклонения и абсолютной устойчивости системы.

Приготовление питательного раствора в гидротехнических теплицах осуществляется в растворных узлах. Они включают бачки с кислотой и концентрированными растворами удобрений А и Б, откуда компоненты питательного раствора подаются насосами-дозаторами по общему трубопроводу через систему управляемых вентилях в смешительные резервуары, расположенные в теплицах. Вода поступает в них через управляемые вентили из водопроводной сети. При этом компоненты питательного раствора, во избежание выпадения минеральных элементов в осадок, должны подаваться в строго установленной последовательности: кислота, концентрированные растворы удобрений А и Б, вода.

В результате экспериментальных исследований установлено, что во время подпитки растений изменение кислотности питательного раствора вследствие прохождения его по сапфитам не превышает 0,1 ед. рН, а удельной электропроводности — 0,01 См/м, поэтому проводить их корректирование целесообразно в переделах между подпитками растений после слива раствора из сапфитов и добора резервуара водой.

При этом удельная электропроводность питательного раствора изменяется линейно с подачей концентрированных растворов удобрений (рис. 1), а его кислотность снижается вследствие гидралаза солей:

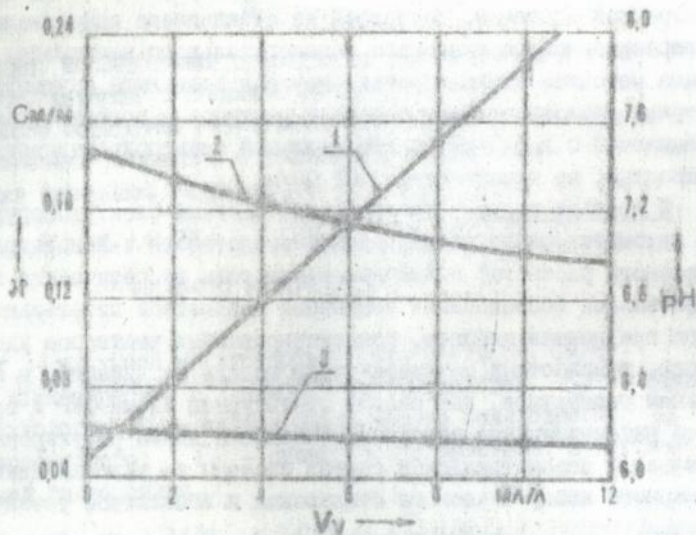


Рис. 1. Изменение параметров питательного раствора при подаче концентрированных растворов удобрений: 1 - удельная электропроводность; 2 - pH (водопроводная вода); 3 - pH (вода, подкисленная до pH 6,2).

$$pH = -\lg(\alpha_{H^+}^B + A_y V_y), \quad (5)$$

где $\alpha_{H^+}^B$ - активность ионов водорода в воде, г-мон/л;
 V_y - подача маточного раствора, мл/л;
 A_y - коэффициент, который для раствора Зоннефельда составляет $6,74 \cdot 10^{-9}$ г-исн. мл⁻¹ л.

Как следует из зависимости (5), установить требуемую кислотность питательного раствора только за счет использования растворов минеральных удобрений не представляется возможным, что вызывает необходимость предварительно в воду добавлять кислоту. Последующая подача концентрированных растворов удобрений не вызывает существенного изменения величины pH (не более 0,05 ед. pH).

Зависимости удельной электропроводности и pH раствора от подачи кислоты являются кривыми кондуктометрического и потенциометрического титрования бикарбонатов кислотой. На рабочих участках (рис. 2) они аппроксимируются линейными функциями. Как следует из графиков, ортофосфорная кислота обеспечивает более плавное регулирование кислотности раствора, при этом его удельная электропроводность изменяется не более 0,004 См/м.

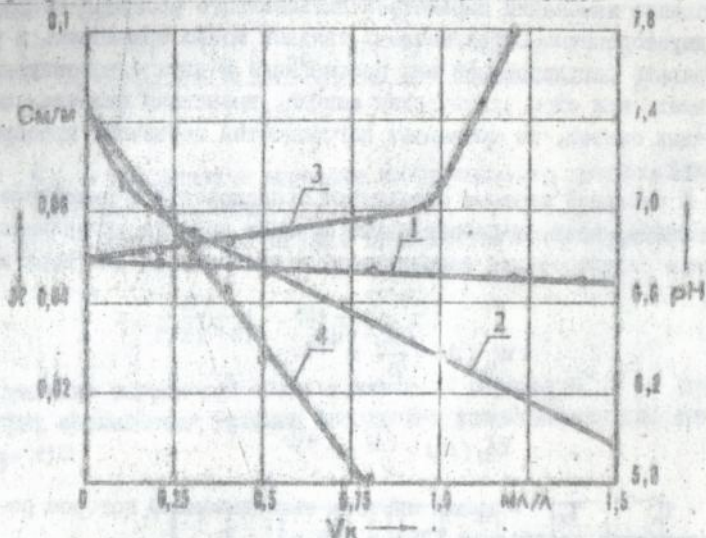


Рис. 2. Изменение параметров питательного раствора при подаче 30%-ного раствора ортофосфорной (1,2) и азотной (3,4) кислоты: 1,3 — удельная электропроводность; 2,4 — pH.

Используя результаты исследований изменения параметров питательного раствора при подаче кислоты и концентрированных растворов удобрений, на основании закона сохранения массы составлена математическая модель динамики удельной электропроводности и кислотности питательного раствора при идеальном смешивании:

$$\frac{d\kappa}{dt} = K_{11} G_y + K_{12} G_k, \quad (6)$$

$$\frac{d\Delta pH}{dt} = K_{21} G_y + K_{22} G_k, \quad (7)$$

где G_y — подача растворов удобрений, G_x — подача кислоты, K_{11} , K_{12} , K_{21} , K_{22} — коэффициенты передачи. При использовании раствора Зонневальда и 30%-ной ортофосфорной кислоты они соответственно составляют $0,147 \text{ см} \cdot \text{м}^{-4}$, $-0,025 \text{ см} \cdot \text{м}^{-4}$, $-0,033 \text{ ед. рН} \cdot \text{м}^{-3}$, $-6,5 \text{ ед. рН} \cdot \text{м}^{-3}$.

В общем случае смешительный резервуар как объект управления представляет собой двумерный объект с перекрестными связями. Исследование изменения параметров питательного раствора показало, что двусторонними перекрестными связями можно пренебречь и рассматривать регулирование как несвязанное в двух одноконтурных системах, при этом статическая ошибка, вызванная наличием перекрестных связей, не превышает погрешностей первичных преобразователей.

В реальной системе существуют транспортное и емкостное запаздывание, поэтому передаточные функции объекта управления по каналам регулирования концентрации и кислотности раствора имеют вид:

$$W_{11}(p) = \frac{K_{11}}{p} e^{-pT_{11}}, \quad (8)$$

$$W_{22}(p) = \frac{K_{22}}{p} e^{-pT_{22}}, \quad (9)$$

где T_{11} , T_{22} — время чистого запаздывания, которое соответственно составляет 1284 и 528 с.

В связи с тем, что объект управления характеризуется большим временем запаздывания, а также необходимостью раздельной подачи компонентов питательного раствора, наиболее приемлемым является импульсный закон регулирования, который реализуется релейно-импульсным регулятором.

При определении параметров настроек регулятора в качестве показателя оптимальности принято суммарное квадратическое отклонение. Путем минимизации соответствующего функционала получено выражение для расчета длительности импульса

$$\delta = \pm \frac{\Delta}{K_{11} K_{0y} U}, \quad (10)$$

где δ — длительность импульса, K_{11} , K_{0y} — коэффициенты

передачи соответственно исполнительного механизма и объекта управления, U — напряжение на входе исполнительного механизма.

Интервал квантования по времени определен из условия абсолютной устойчивости системы, имеющей дискретную передаточную функцию линейной части

$$W^*(p) = \frac{K_{ин} K_{об} K_{пр} T (e^{p(T-\tau)} + e^{p(T-\tau-\delta)})}{(e^{pT} - 1)^2}, \quad (11)$$

где $K_{пр}$ — коэффициент передачи измерительного преобразователя; T — интервал квантования по времени.

Это условие записывается в виде нелинейного неравенства

$$\frac{T}{\delta} \sin \frac{\pi \delta}{2(2T+\delta)} + \cos \frac{\pi T}{2T+\delta} - 1 < 0 \quad (12)$$

Его решение определяет область значений параметра T , при которых соблюдается условие абсолютной устойчивости системы (рис. 3).

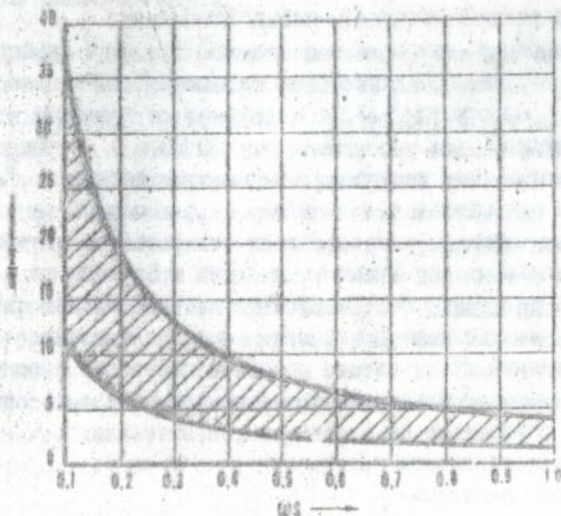


Рис. 3. Устойчивость системы автоматического управления в области T — параметра.

Для системы автоматического регулирования параметров питательного раствора интервал квантования по времени составляет 1140 с.

В четвертой главе "Разработка системы электрооборудования для приготовления питательного раствора в гидропонных теплицах" разработаны структурная и принципиальные схемы системы электрооборудования, алгоритмическое и программное обеспечение управления приготовлением питательного раствора в блоке гидропонных теплиц, приведены результаты лабораторных исследований управляющего устройства.

Алгоритм приготовления питательного раствора предусматривает объемное дозирование кислоты и концентрированных растворов удобрений в функции времени при соблюдении установленного порядка их подачи с последующим добором резервуара водой до заданного уровня. Затем на основании анализа сигналов, поступающих с первичных преобразователей кислотности и концентрации раствора, датчиков аварийного уровня и протока, вырабатываются управляющие сигналы на подачу кислоты, растворов удобрений и воды в соответствии с алгоритмом автоматического регулирования параметров питательного раствора.

Структурная схема системы электрооборудования (рис. 4) разработана с учетом сформулированных требований и обеспечивает выполнение операций, представленных в соответствующих алгоритмах.

Управляющее устройство выполнено на базе однокристального микроконтроллера KI45 МК1807. Оно представляет собой многоканальный регулятор, реализующий импульсный закон регулирования, выполняющий логические операции и осуществляющий программное управление исполнительными механизмами. Разработаны принципиальные электрические схемы блоков сопряжения микроконтроллера с датчиками и исполнительными механизмами, а также программное обеспечение.

В пятой главе "Производственные испытания и технико-экономическая эффективность применения системы электрооборудования для приготовления питательного раствора" приведены методика и результаты производственных испытаний системы электрооборудования, рассчитаны показатели ее надежности, дана технико-экономическая оценка эффективности применения в составе узла приготовления питательного раствора.

Производственные испытания разработанной системы электрооборудования в блоке зимних гидропонных теплиц совхоза "Киевская

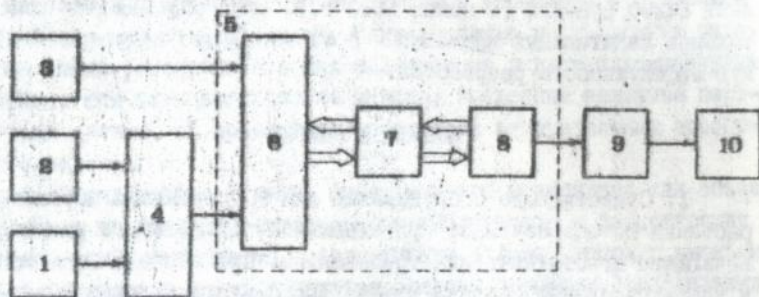


Рис. 4. Блок-схема системы электрооборудования для приготовления питательного раствора в гидропонных теплицах: 1 - pH-метр; 2 - кондуктометрические концентратометры; 3 - датчики верхнего, аварийного уровней и протока; 4 - многоканальный температурный регулятор; 5 - управляющее устройство; 6, 8 - блоки сопряжения микроконтроллера с датчиками и исполнительными механизмами; 7 - микроконтроллер; 9 - силовой шкаф; 10 - исполнительные механизмы.

овощная фабрика" Киевской области показали, что при автоматическом регулировании отклонение кислотности питательного раствора от заданного значения не превышает 0,2 ед.рН, а его удельной электропроводности - 0,02 См/м. Урожайность овощей повысилась на 1,2 кг/м², а расход минеральных удобрений снизился на 15%.

Содержание нитратов в овощах при автоматическом регулировании параметров питательного раствора не превышало предельно допустимых концентраций и было ниже, чем в варианте с ежедневным корректированием состава питательного раствора на основании химических анализов и при выращивании растений на почве.

Вероятность безотказной работы систем автоматического регулирования кислотности и концентрации питательного раствора в течение 1000 ч составляет 0,86, наработка на отказ 6600 часов.

Годовой экономический эффект от применения системы составляет 12200 руб./га (в ценах 1990 г.), срок окупаемости дополнительных капитальных вложений - 0,13 года, что подтверждает высокую эффективность разработки.

ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ

1. Существующее оборудование для гидропонного выращивания растений не обеспечивает приготовление питательного раствора, отвечающего агротехническим требованиям. При еженедельном контроле и корректировании состава питательного раствора на основании химических анализов кислотность раствора изменяется на 0,7-0,8 единиц pH, а концентрация минеральных элементов - на 60-90%, хотя отклонение концентрации отдельного элемента на 30% от оптимального его содержания вызывает нарушение поглощения растениями питательных веществ, что приводит к снижению урожайности овощных культур и качества продукции.

2. В результате теоретических и экспериментальных исследований получена зависимость удельной электропроводности питательного раствора от концентрации солей, входящих в его состав, описываемая уравнением линейной регрессии. Коэффициенты регрессии определяются химическими свойствами солей и составляют для аммония азотнокислого 0,176, калия азотнокислого 0,133, кальция азотнокислого четырехводного 0,092, магния сернокислого семиводного 0,076, калия фосфорнокислого однозамещенного 0,074, калия сернокислого 0,154, суперфосфата простого 0,049 $\text{см} \cdot \text{м}^{-1} \cdot \text{г}^{-1}$.л. При постоянном соотношении между концентрациями минеральных элементов в растворе удельная электропроводность однозначно определяется его концентрацией, что позволяет осуществлять контроль концентрации питательного раствора по величине его удельной электропроводности.

3. Исследования изменения параметров питательного раствора в процессе выращивания растений показали, что во время подпитки растений его кислотность изменяется не более чем на 0,1 ед. pH, а удельная электропроводность - 0,01 $\text{см} \cdot \text{м}^{-1}$, что доказывает целесообразность их корректирования в перерывах между подпитками. Кислотность питательного раствора регулируется путем подачи в смесительный резервуар ортофосфорной кислоты, при этом его удельная электропроводность изменяется не более чем на 0,004

См/м. Концентрация раствора регулируется подачей концентрированных растворов удобрений, что не вызывает изменения его кислотности более чем на 0,05 ед.рН. Регулирование по указанным параметрам можно рассматривать как несвязанное в двух одноконтурных системах, при этом статическая ошибка, вызванная наличием перекрестных связей, не превышает погрешности измерительных преобразователей.

4. Передаточные функции смесительного резервуара как объекта управления по каналам регулирования кислотности и концентрации раствора аппроксимируются интегрирующим и запаздывающим звеньями. Объект управления характеризуется большим временем запаздывания, составленным по каналу регулирования кислотности 528 с, концентрации раствора - 1284 с. Коэффициенты передачи объекта соответственно составляют $\pm 6,5$ ед.рН \cdot м⁻³, 0,147 См \cdot м⁻⁴ при выращивании огурцов и 0,167 См \cdot м⁻⁴ при выращивании томатов. Динамические характеристики объекта управления, а также необходимость раздельной подачи в смесительный резервуар компонентов питательного раствора во избежание выпадения в осадок минеральных элементов подтверждают целесообразность применения импульсного закона регулирования.

5. Получены аналитические выражения для определения параметров настроек релейно-импульсного регулятора для астатического объекта первого порядка с запаздыванием из условия минимума суммарного квадратического отклонения и абсолютной устойчивости системы. Длительность импульса регулятора кислотности составляет 111 с, регулятора концентрации раствора при выращивании огурцов - 153 с, томатов - 135 с, а интервал квантования по времени - 1140 с.

6. На основании проведенных исследований разработана система электрооборудования, обеспечивающая автоматическое приготовление питательного раствора. Точность регулирования кислотности раствора составляет 0,2 ед.рН, а его удельной электропроводности - 0,02 См/м, что отвечает агротехническим требованиям.

7. Производственная проверка разработанной системы электрооборудования показала ее высокую эффективность при приготовлении питательного раствора в гидропонных теплицах. Благодаря поддержанию параметров питательного раствора на оптимальном уровне урожайность овощных культур повысилась на 1,2 кг/м² при снижении расхода минеральных удобрений на 15%. Расчетная величина

отказной работы систем автоматического регулирования кислотности и концентрации раствора - 0,86 за 1000 ч работы.

8. Годовой экономический эффект от внедрения системы электрооборудования для приготовления питательного раствора в блоке гидропонных теплиц составил 12 200 руб/га. Срок окупаемости системы - 0,13 года.

Основные положения диссертации опубликованы в следующих работах:

1. Кистень Г.Е., Наконечный В.В., Сиявский А.Ю. Автоматизация приготовления питательного раствора в гидропонных теплицах // Ресурсосберегающие технологии в сельскохозяйственном производстве: Тез. докл. регион. науч.-техн. конф. - Волгоград, 1988. - С. 79-80.

2. Наконечный В.В., Сиявский А.Ю. Автоматическое регулирование параметров питательного раствора в гидропонных теплицах // Участие молодых ученых и специалистов в реализации научно-технических проблем: Тез. докл. науч.-техн. конф. - Кострома, 1988. - С. 16.

3. Кистень Г.Е., Наконечный В.В., Сиявский А.Ю. Удельная электропроводность питательных растворов гидропонных теплиц // Механизация и автоматизация технологических процессов в агропромышленном комплексе. Ч. 2. Электрификация, автоматизация, электронизация, ресурс- и энергосбережение: Тез. докл. Всесоюз. науч.-практич. конф. - М., 1989. - С. 23-24.

4. Кистень Г.Е., Наконечный В.В., Сиявский А.Ю. Определение концентрации питательного раствора в гидропонных теплицах кондуктометрическим методом // Механизация и электрификация сел. хов-ва. - К., 1990. - Вып. 72. - С. 64-68.

5. Гирченко М.Т., Сиявский А.Ю. Энергосберегающая технология выращивания растений в теплицах // Энергосберегающие технологии в сельскохозяйственном производстве: Тез. докл. Всесоюз. науч.-техн. конф. - М., 1990. - С. 50-51.

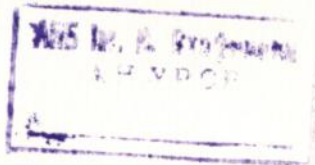
6. Кистень Г.Е., Сиявский А.Ю. Энергосберегающее оборудование для гидропонного выращивания растений в теплицах // Энергосберегающее электрооборудование для АПК: Тез. докл. II Всесоюз. науч.-техн. конф. - М., 1990. С. 108.

7. Сиявский А.Ю. Система автоматического приготовления питательного раствора в гидропонных теплицах // Перечень рационализаторских предложений и прогрессивных технологических решений, рекомендованных для внедрения в сельскохозяйственное производство.

№ 603. Вып. I Механизация и электрификация сельскохозяйственного производства. - К., 1991. - С.2-3.

В. Кистань Г.Е., Наконечный В.В., Синявский А.П. Автоматизация приготовления питательного раствора в гидроронных теплицах // Проблемы конструирования и технологии производства сельскохозяйственных машин: Тез. докл. респ. науч.-техн. конф. - Кировоград, 1991. - С.51.

Подписано к печати 29.09.1992 г. Заказ № 163. Тираж 100.
Объем I п.л. Размножено БОИ. ИЗ УААН. Киевская обл. Киевско-Святошинский р-н, пгт. Чабаны.



AB 25.997