

УДК 631.415.1

UDC 631.415.1

**СИСТЕМА СТАБИЛИЗАЦИИ
КИСЛОТНОСТИ ПОЧВЫ ПРИ
ВЫРАЩИВАНИИ ТОМАТОВ В УСЛОВИЯХ
ЗАКРЫТОГО ГРУНТА**

**THE STABILIZATION SYSTEM OF SOIL
ACIDITY WHEN GROWING TOMATOES IN A
GREENHOUSE**

Цокур Дмитрий Сергеевич
аспирант
*Кубанский государственный аграрный
университет, Краснодар, Россия*

Tsokur Dmitriy Sergeevich
graduate student
Kuban State Agrarian University, Krasnodar, Russia

В статье представлены: система стабилизации кислотности почвы, которая позволяет производить внутрипочвенное орошение растений томатов католитом для компенсации воздействия кислых удобрений, а также дополнительно производить профилактику заболеваний растений раствором анолита; передаточная функция системы стабилизации кислотности почвы; результаты её производственных испытаний

The article presents: the stabilization system of soil acidity, which allows subsoil irrigation tomato plants catholyte to compensate the negative effects of acidic fertilizer, and additionally to prevent plant diseases anolyte solution; transfer function of the stabilization system of soil acidity and the results of its tests

Ключевые слова: КИСЛОТНОСТЬ ПОЧВЫ,
ВЫРАЩИВАНИЕ ТОМАТОВ

Keywords: SOIL ACIDITY, GROWING
TOMATOES

На сегодняшний день выращивание овощей в теплицах актуально в связи с круглогодичным циклом получения продуктов питания.

Государство планирует до 2020 года увеличить площадь закрытого грунта в три раза. Но на производительность теплиц влияет не только занимаемая ими площадь, но и технологии, применяемые для их выращивания.

В результате их совершенствования, в закрытом грунте, нарушаются физико-химические параметры почв, что приводит к нарушению условий роста и развития овощных культур, в частности томатов.

Питательные вещества становятся недоступными для растений, если кислотность почвы отклоняется от оптимальной в результате внесения удобрений или известкования почв (рис. 1).

Поэтому целесообразно поддержание необходимого значения рН почвы для растений томатов.

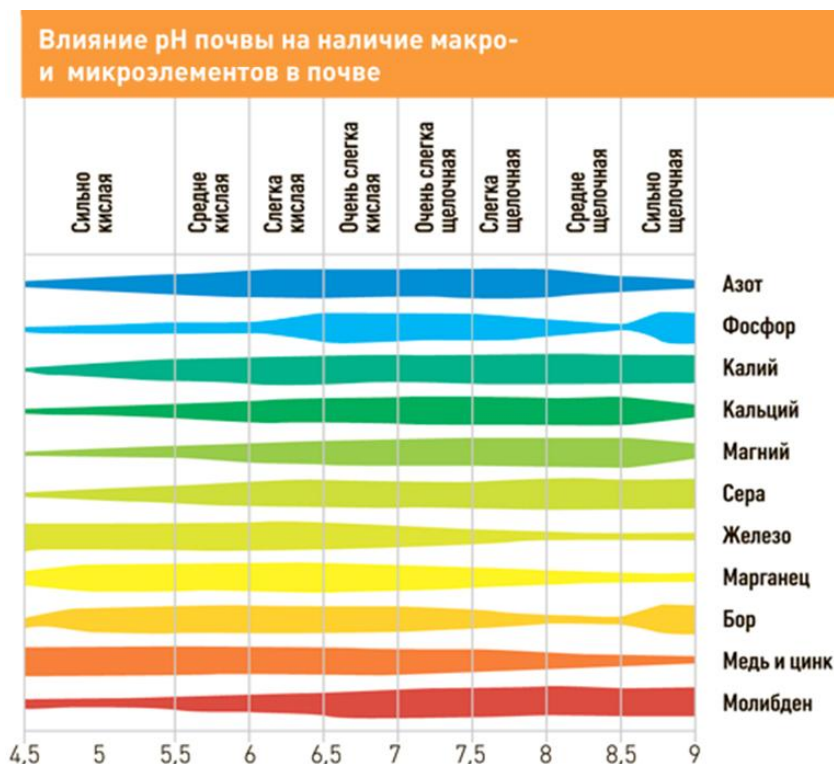


Рисунок 1 – Влияние pH почвы на наличие макро и микроэлементов.

Проведён анализ способов коррекции кислотности почвы. Установлено, что наиболее перспективным является полив почвы электроактивированными растворами с заданными параметрами (рис. 2).

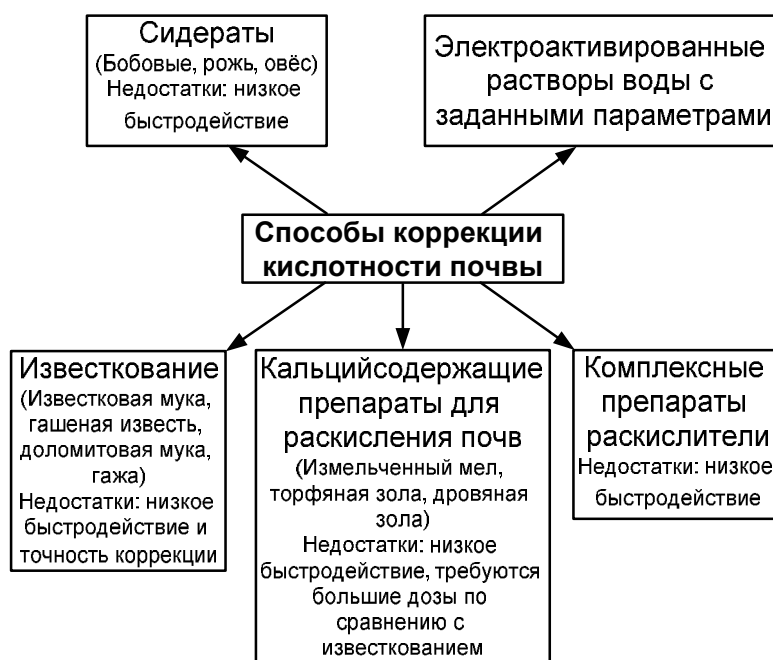
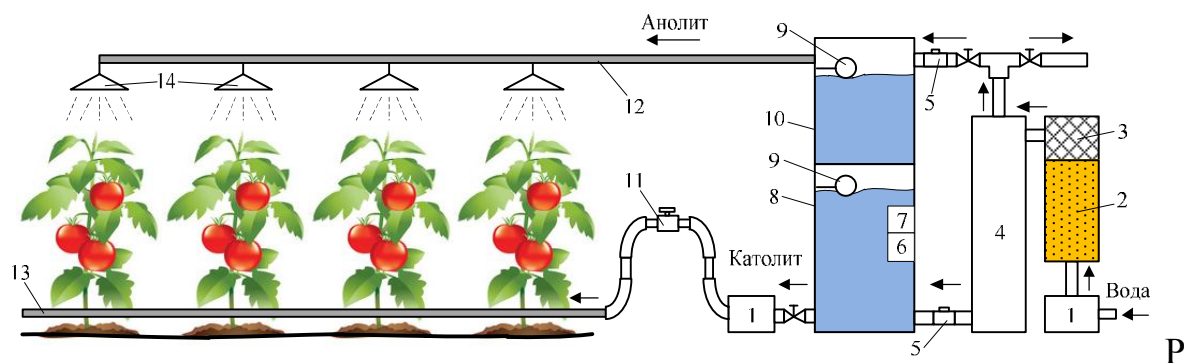


Рисунок 2 - Анализ способов коррекции кислотности почвы

Работы в этой области проводились в «Волгоградской сельхоз академии», «Удмуртском Государственном Университете» и в «Кубанском Государственном Аграрном Университете». Исследованиями влияния электроактивированных растворов на растения занимались Пындак В.И., Лагутин В.В., Широносков В.Г., Александрова Э.А. Авторами отмечается положительное влияние электроактивированных растворов, как на сами выращиваемые растения, так и на физико-химические параметры почв [1, 3, 4, 5]. Но, до сих пор, вопрос стабилизации кислотности почвы с помощью электроактивированных растворов при выращивании растений томатов в закрытом грунте практически не разработан.

При стабилизации кислотности почвы важно выдержать параметры её обработки. Основными параметрами являются: рН почвы, количество воды (норма полива). Производить полив почвы электроактивированной водой достаточно просто и доступно. Большие сложности вызывает стабилизация кислотности почвы, так как необходимо знать зависимости изменения её рН от рН электроактивированного раствора. Недостаточное или чрезмерное воздействие может привести к недоступности необходимых растению питательных веществ и, следовательно, к ухудшению условий роста и развития. Следовательно, задачей является разработка системы стабилизации кислотности почвы, которая учитывает особенности почвы как объекта управления.

Рассмотрим технологическую схему (рис.3). В данном технологическом процессе, как и впрочем, в любом другом, где используется электроактиватор, необходимо решить вопрос об утилизации неиспользуемой части электроактивированного раствора, в данном случае анолита.



исунок 3 – Технологическая схема системы стабилизации кислотности почвы

1 - насос; 2 - фильтр песчаный; 3 - фильтр сетчатый; 4 – электроактиватор воды; 5 - датчик расхода воды; 6 - рН метр; 7- датчик температуры воды; 8 - ёмкость для католита; 9 - датчик уровня; 10 - ёмкость для анолита; 11 - регулятор давления; 12 - поливной трубопровод для подачи анолита; 13 - поливной трубопровод с капельницами для подачи католита; 14 - распылитель.

Анолит обладает универсальным спектром действия, т.е. оказывает угнетающее влияние на все крупные группы микробов (бактерии, грибы, вирусы и простейшие), не причиняя вреда клеткам тканей растений. Поэтому его можно использовать для опрыскивания растений в целях профилактики и борьбы с вредителями и болезнями томатов [4].

Представим почву, как объект управления (рис. 4).

При стабилизации $pH_{\text{П}}$ почвы основным управляющим воздействием является водородный показатель электроактивированного раствора $pH_{\text{Воды}}$. Для его создания необходимо подать определённое количество электрической мощности $P_{\text{ЭЛ}}$. Изменение $pH_{\text{П}}$ в результате нарушения технологического процесса, внесении кислых удобрений является основным возмущающим воздействием.

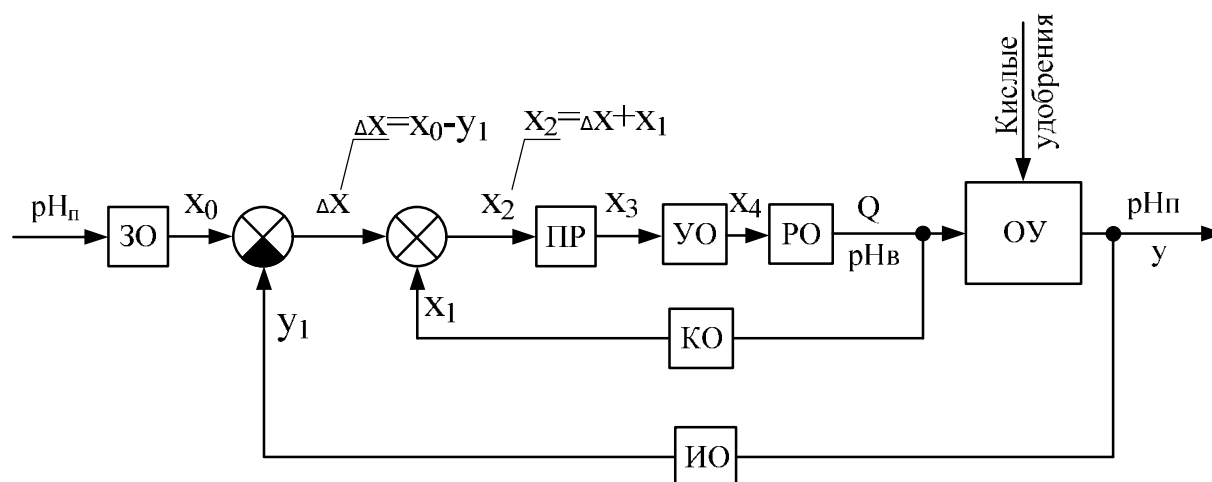


Рисунок 4 – Функциональная схема системы стабилизации кислотности почвы

Электроактиватор вместе с насосом является регулирующим органом РО, формирующим входное воздействие на объект управления. Орган, который сформировывает сигнал управления на РО, называется программный регулятор ПР. В зависимости от этого сигнала регулирующий орган выдаёт необходимое количество электроактивированного водного раствора Q (в рамках норм полива) с определённым значением водородного показателя. Датчик величины pH почвы представлен на функциональной схеме как измерительный орган ИО. ПР, УО и РО охвачены положительной обратной связью корректирующим органом КО для коррекции параметров раствора на выходе из электроактиватора.

Задающим входным воздействием всей системы автоматического управления является оптимальный для растений уровень кислотности почвы pHп. Элемент, отвечающий за входной сигнал, на функциональной схеме представлен как задающий орган ЗО.

Каждый элемент представленной выше схемы может быть описан дифференциальными уравнениями типовых динамических звеньев. И относительно выходной величины рН почвы (y) и рисунка 5 можно записать передаточные функции для каждого элемента:

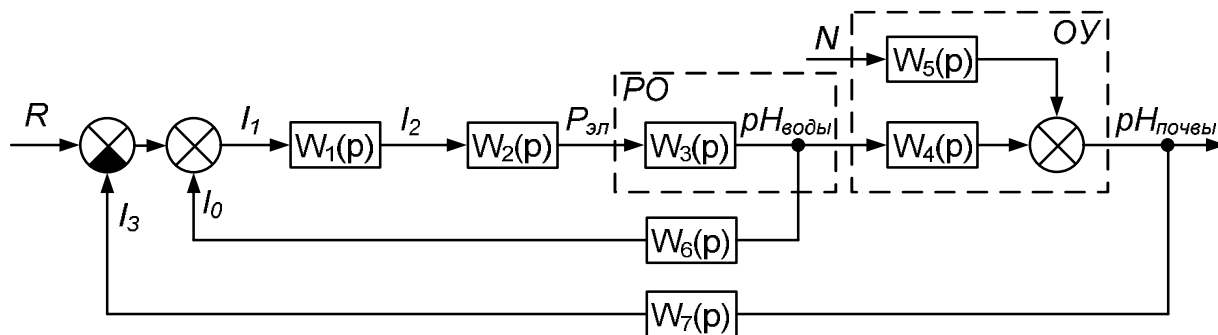


Рисунок 5 - Структурная схема системы стабилизации кислотности почвы

$W_1(p) = \frac{I_2}{I_1}$ - передаточная функция для программного регулятора ПР;

$W_2(p) = \frac{P_{эл}}{I_2}$ - передаточная функция для усилительного органа УО;

$W_3(p) = \frac{pH_{воды}}{P_{эл}}$ - передаточная функция для регулирующего органа РО;

$W_4(p) = \frac{pH_{почвы}}{pH_{воды}}$ - передаточная функция для управляющего воздействия

на почву;

$W_5(p) = \frac{pH_{почвы}}{N}$ - передаточная функция для возмущающего воздействия;

$W_6(p) = \frac{pH_{почвы}}{I_0}$ - передаточная функция для корректирующего органа

КО;

$W_7(p) = \frac{pH_{почвы}}{I_3}$ - передаточная функция для датчика рН ИО.

Зависимость рН почвы от водородного показателя воды для её полива до сих пор не изучена. К тому же почва является сложным исследуемым объектом, трудно поддающимся математическому моделированию. Поэтому получить передаточные функции W_4 , W_5 теоретически затруднительно. Но изучить влияние электроактивированных растворов на кислотность почвы можно экспериментально.

Для получения регрессионной модели описывающей влияние параметров полива почвы электроактивированными растворами на её кислотность было произведено планирование эксперимента.

В качестве независимых переменных приняты:

x_1 – водородный показатель электроактивированной воды используемой для полива почвы, (3 уровня – 10, 11, 12); интервал варьирования 1.

x_2 – количество воды, Q_{II} , л/м² (3 уровня – 10, 20, 30); интервал варьирования 10 л/м².

В качестве зависимых переменных были приняты: значения рН почвы

y_1 – рН почвы через время $t = 1$ час после полива;

y_2 – рН почвы через время $t = 1$ сут. после полива;

y_3 – рН почвы через время $t = 2$ сут. после полива;

y_4 – рН почвы через время $t = 4$ сут. после полива;

y_5 – рН почвы через время $t = 8$ сут. после полива.

В результате проведённого экспериментального исследования получена регрессионная модель, представленная в виде системы из 5 уравнений описывающая влияние водородного показателя электроактивированного раствора и его количества на кислотность почвы во времени при выращивании томатов в условиях закрытого грунта.

$$\begin{cases} y_1 = 27,738889 - 4,300000x_1 + 0,032500x_2 + 0,002500x_1x_2 + 0,216667x_1^2 - 0,000333x_2^2 \\ y_2 = 14,527778 - 1,633333x_1 - 0,005833x_2 + 0,002500x_1x_2 + 0,0833333x_1^2 - 0,000167x_2^2 \\ y_3 = 13,755556 - 1,400000x_1 - 0,028333x_2 + 0,005000x_1x_2 + 0,066667x_1^2 - 0,000333x_2^2 \\ y_4 = 13,505556 - 1,383333x_1 - 0,004167x_2 + 0,002500x_1x_2 + 0,066667x_1^2 - 0,000333x_2^2 \\ y_5 = 8,495556 - 0,470000x_1 + 0,000833x_2 + 0,026667x_1^2 + 0,000117x_2^2 \end{cases} \quad (1)$$

Данная модель обосновывает управляющее воздействие, которое необходимо сформировать для точного регулирования кислотности почвы.

Исходя из проведённых экспериментальных исследований передаточную функцию почвы по управляющему воздействию $W_4(p)$ (рис. б) можно определить, приближенно приняв следующие допущения [2]:

- толщина почвы (20 см) разбивается на 4 участка (по 5 см);
- каждый участок описывается аperiodическим звеном первого порядка (рис.3.27).

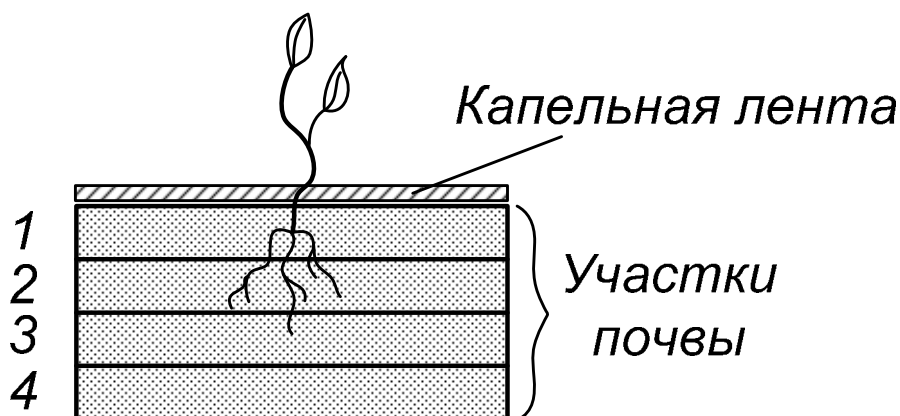


Рисунок 6 - Модель грунта в теплице

Тогда, с точки зрения автоматике, каждый участок почвы будет представлять из себя аperiodическое звено 1-го порядка, а время полива описывается интегрирующим звеном. Таким образом, их сумма будет описывать всю толщу почвы (рис. 7):

$$W_4(p) = \frac{k_1}{T_1p + 1} + \frac{k_2}{T_2p + 1} + \frac{k_3}{T_3p + 1} + \frac{k_4}{T_4p + 1} + \frac{k_5}{p} \quad (2)$$

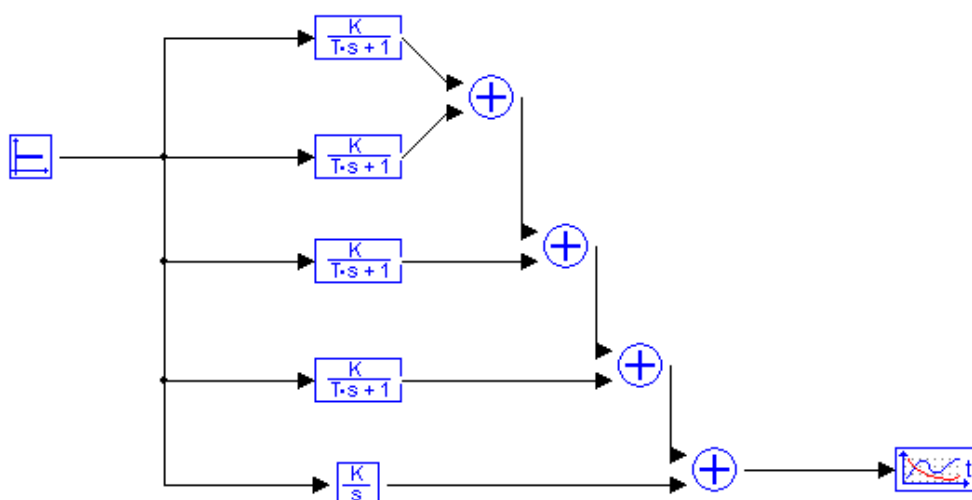


Рисунок 7 - Описание управляющего воздействия на почвы в "МВТУ".

Возмущающее воздействие при удобрении суперфосфатом описывается следующим эмпирическим уравнением, полученным в ходе экспериментальных исследований:

$$y_6 = 5,9304t^{0,0096} \tag{3}$$

где t – время, ч.

И его передаточная функция $W_5(p)$ будет представлять из себя апериодическое звено 1-го порядка (рис. 8):

$$W_5(p) = \frac{k_6}{T_6 p + 1} \tag{4}$$

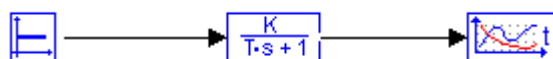


Рисунок 8 - Описание возмущающего воздействия на почву в "МВТУ".

Электроактиватор воды, как регулирующий орган представляет собой произведение звена чистого запаздывания и апериодического звена 1-го порядка (рис. 9):

$$W_3(p) = e^{-tp} \cdot \frac{k_7}{T_7 p + 1} \quad (5)$$

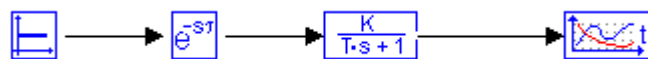


Рисунок 9 - Описание регулирующего органа в "МВТУ".

где время чистого запаздывания t определяется по формуле:

$$t = \frac{h \cdot V_{почвы}}{L \cdot Q} \quad (6)$$

где h - расстояние от электроактиватора, до точки измерения водородного показателя воды, м;

$V_{почвы}$ - объём поливаемой почвы, м³;

L - длина капельного трубопровода, м;

Q - производительность электроактиватора, м³/с.

Передаточная функция усилительного органа:

$$W_2(p) = k_{ov} \quad (7)$$

Передаточная функция корректирующего органа:

$$W_6(p) = k_{ко} \quad (8)$$

Передаточная функция измерительного органа:

$$W_7(p) = k_{ио} \quad (9)$$

Передаточная функция программного регулятора:

$$W_1(p) = k_{пр} \quad (10)$$

Преобразовав структурную схему (рис. 5) системы стабилизации кислотности почвы, получим:

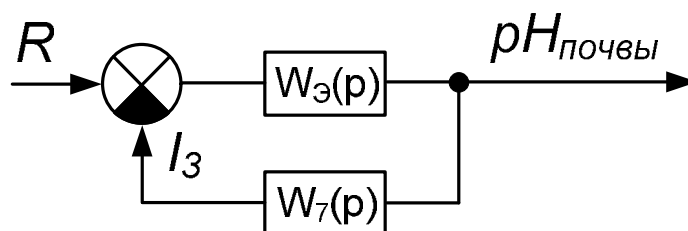


Рисунок 10 - Преобразованная структурная схема системы стабилизации кислотности почвы

Таким образом, передаточная функция всей системы, в общем виде, будет выглядеть следующим образом:

$$W(p) = \frac{W_1 \cdot W_2 \cdot W_3}{1 - W_1 \cdot W_2 \cdot W_3 \cdot W_6} \cdot W_4 + W_5 \quad (11)$$

Подставив (2) - (10) в (11), получим:

$$W(p) = \frac{k_{пп} \cdot k_{ов} \cdot e^{-tp} \cdot \frac{k_7}{T_7 p + 1}}{1 - k_{пп} \cdot k_{ов} \cdot e^{-tp} \cdot \frac{k_7}{T_7 p + 1} \cdot k_{ко}} \cdot \left(\frac{k_1}{T_1 p + 1} + \frac{k_2}{T_2 p + 1} + \frac{k_3}{T_3 p + 1} + \frac{k_4}{T_4 p + 1} + \frac{k_5}{p} \right) + \frac{k_6}{T_6 p + 1} \quad (12)$$

В процессе стабилизации кислотности почвы важно получить высокое качество стабилизации, в зависимости от энергоёмкости процесса.

Считаем, что электрическая мощность переданная воде на изменение её рН, это фактически есть мощность, направленная на смещение кислотности почвы при её поливе генерируемым водным раствором, полученным от этой мощности.

Применяя принцип ограничения, сузим множество всех возможных решений нахождения рациональных параметров процесса стабилизации кислотности почвы до подмножества допустимых решений. Для этого ограничим следующие параметры: норма полива, время между поливами,

температура электроактивированного раствора на выходе из электроактиватора. Величина нормы полива определяется из времени года и периода выращивания томатов (высадка рассады, период цветения, период созревания плодов и т.д.). В зависимости от этого норма полива лежит в диапазоне от 10 до 30 л/м². Время между поливами составляет 7 суток (168 часов). Температура электроактивированного раствора не должна превышать 25°C.

Зная, из системы уравнений (1), как математически описывается, зависимость смещения кислотности почвы во времени от рН раствора и нормы полива и зависимость смещения кислотности почвы при внесении кислых удобрений применяемых при выращивании томатов в условиях закрытого грунта, а также значение оптимальной кислотности почвы $N_{\text{ОПТ}}$ можем получить регулировочную кривую стабилизации кислотности почвы.

$$\varepsilon(t) = f(y) - N_{\text{ОПТ}} + f(F) - N_{\text{ОПТ}} \quad (13)$$

Качество стабилизации в этом случае может быть определено с помощью обобщенного интегрального среднеквадратичного показателя J .

$$J = \int_0^{168} \varepsilon^2(t) dt \quad (14)$$

В данном случае:

$$J = \int_0^{168} ((8,4955 - 0,4700x_1 + 0,0008x_2 + 0,0266x_1^2 + 0,0001x_1^2 - N_{\text{ОПТ}}) + (5,9304t^{0,0096} - N_{\text{ОПТ}}))^2$$

Чем меньше будет показатель J , тем выше будет качество стабилизации, при этом значение рН воды, которое будет ему, соответствовать и будет наиболее рациональным значением с точки зрения получения наибольшего эффекта с учётом энергоёмкости процесса. Так для нормы полива $Q_B=30$ л/м², при удобрении почвы суперфосфатом с начальным значением рН = 6,5, наименьшее значение J будет при растворе

с $pH=10$, так как в этом случаи площадь подынтегральной фигуры наименьшая ($J=5,495$) из всех рассматриваемых вариантов (рис. 11).

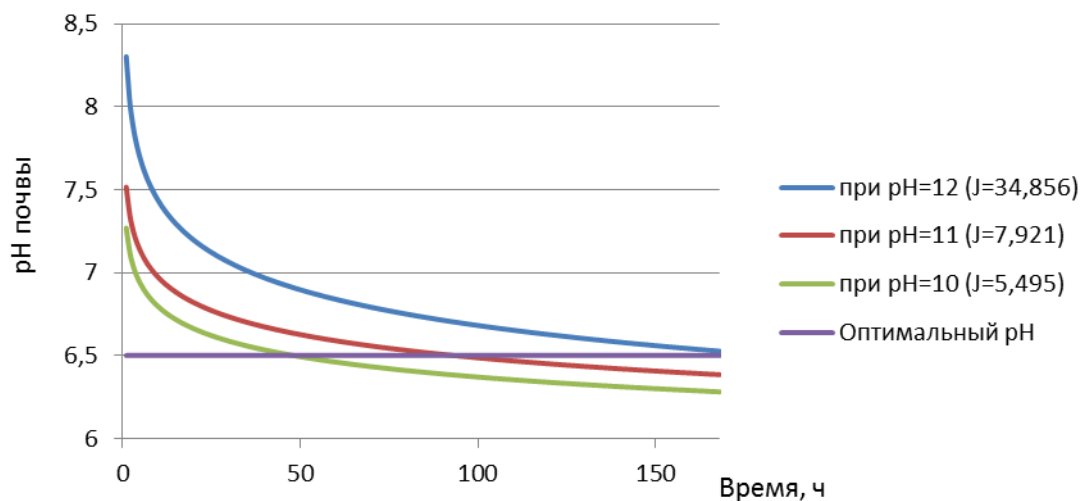


Рисунок 11 – Качество стабилизации кислотности почвы при разных значениях pH и норме полива $Q_B = 30 \text{ л/м}^2$

Аналогично и для остальных вариантов. При $Q_B = 20 \text{ л/м}^2$ наиболее эффективным из рассматриваемых значений pH раствора является $pH=10$ ($J=4,602$). А при $Q_B = 10 \text{ л/м}^2$ эффективным является $pH = 11$ ($J=4,331$) (рис. 12, 13).

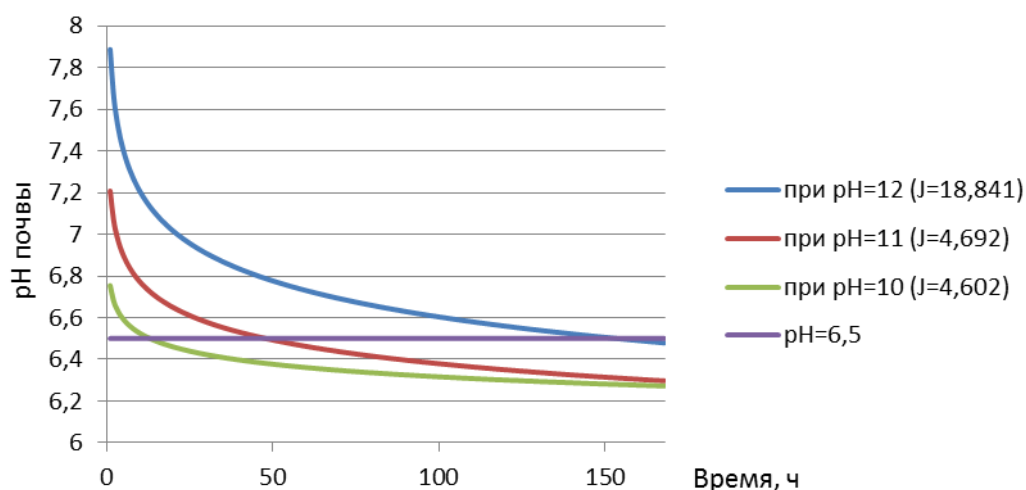


Рисунок 12 – Качество стабилизации кислотности почвы при разных значениях pH и норме полива $Q_B = 20 \text{ л/м}^2$

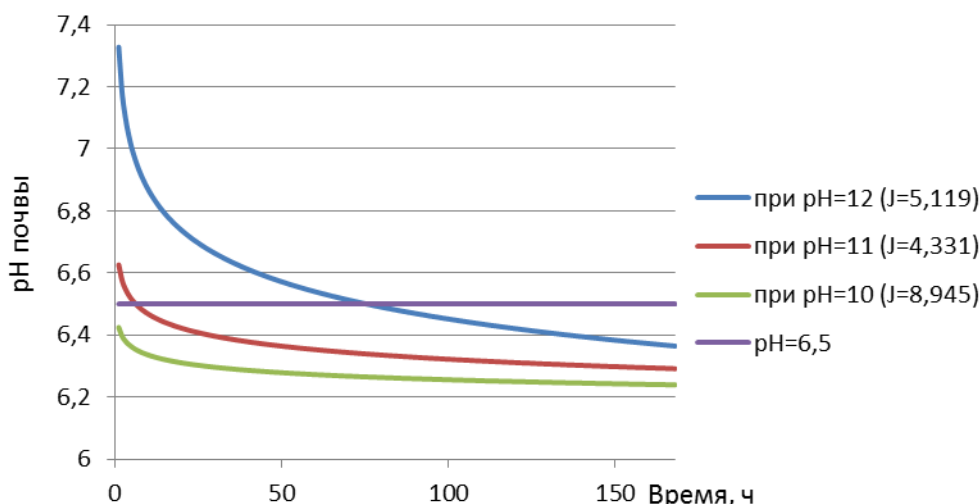


Рисунок 13 – Качество стабилизации кислотности почвы при разных значениях pH и норме полива $Q_B = 10 \text{ л/м}^2$

Произведены испытания системы в реальных условиях теплиц Краснодарского края.

Порядок исследований: За объект управления принималось 2 теплицы площадью 200 м^2 каждая. В первой проводилось выращивание томатов по обычной технологии, во второй со стабилизацией кислотности почвы (рис. 14).

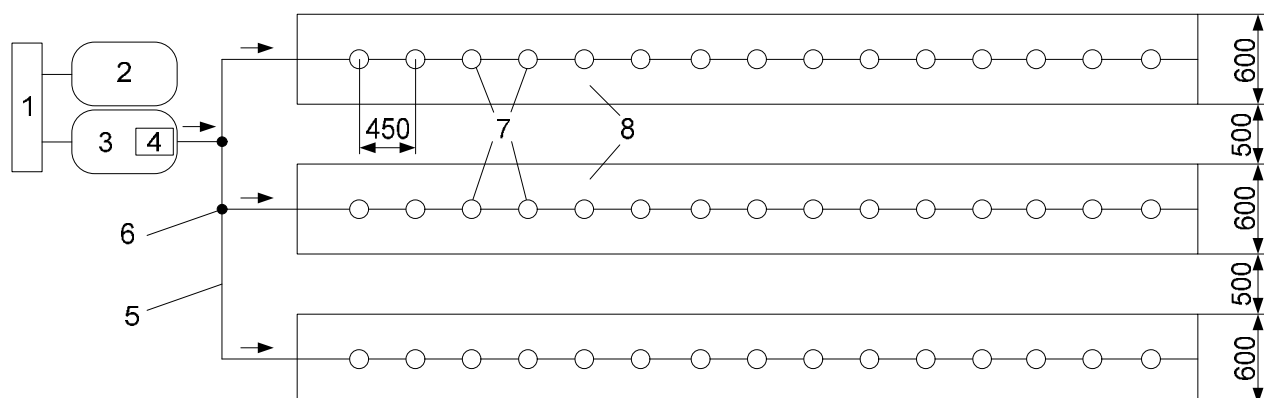


Рисунок 14 - Технологическая схема системы стабилизации кислотности почвы: 1 - электроактиватор; 2 - бак для анолита; 3 - бак для католита; 4 - погружной насос; 5 - магистральный трубопровод; 6 - фитинг; 7 - капельница; 8 - грядка.

Перед высадкой рассады в целях обеззараживания и снижения концентрации оставшихся удобрений почва в теплице была полита раствором анолита с $\text{pH} = 2,5$. Перед высадкой рассаду опрыскали тем же раствором анолита для профилактики от фитофтоза и бурой пятнистости. Первые удобрения были внесены при высадке рассады. В каждую лунку добавили 1 чайную ложку суперфосфата и 1 столовую ложку древесной золы. В течении всего времени выращивания проводилось 4 подкормки с интервалом в 14 дней. Измерения кислотности почвы проводились каждый час в течение всего процесса выращивания томатов при помощи рН метра - иономера «Эксперт – 001» на глубине 15 см. В зависимости от получаемых значений кислотности почвы после внесения подкормок (через 1 день) с помощью электроактиватора воды создавался необходимый раствор для полива растений томатов.

Результаты эксперимента представлены на рисунке 15.

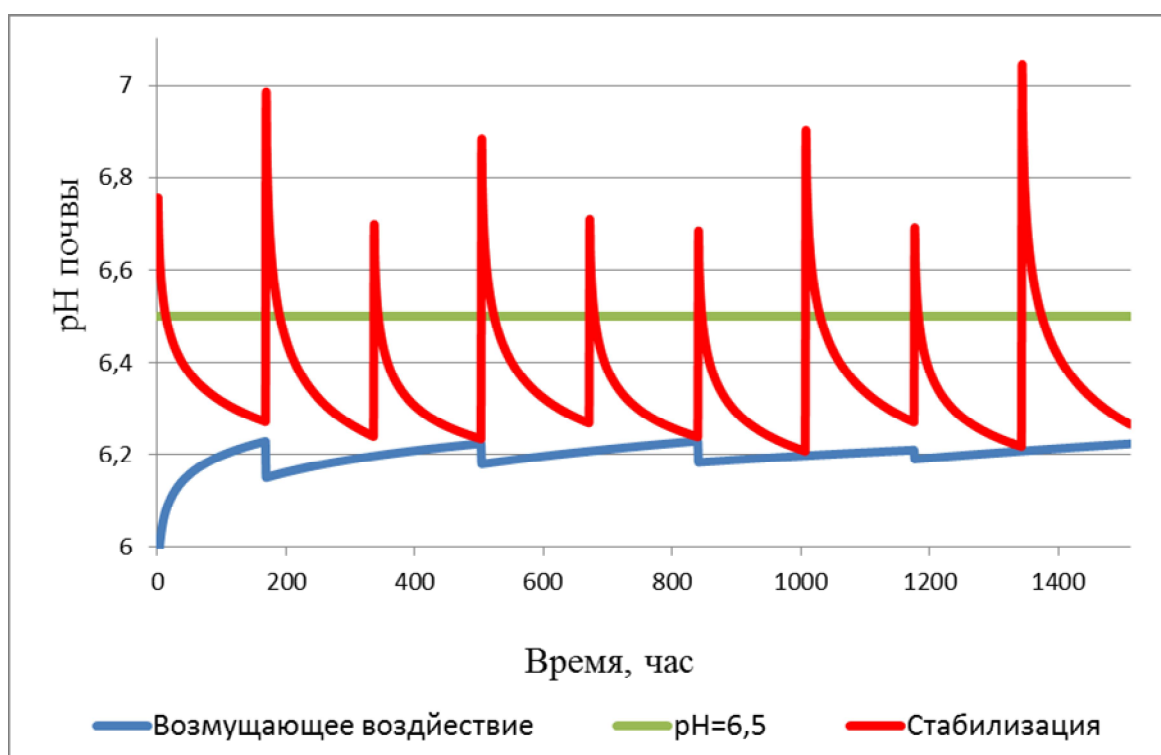


Рисунок 15 - Графики изменения кислотности почвы при внесении удобрений и стабилизации электроактивированными растворами с заданными параметрами

Анализируя полученный график стабилизации, видим, что стабилизация кислотности почвы позволяет получить наиболее выгодные условия для произрастания культуры томатов ($pH = 6,5$).

Показатели качества стабилизации отображены в таблице 1.

Таблица 1 – Показатели качества стабилизации кислотности почвы

Показатели	Без стабилизации	Со стабилизацией
Динамическая ошибка	-0,5	0,5 -0,27
Коэффициент перерегулирования, %	-	7 -4
Интегральный среднеквадратичный показатель, абс. ед (%)	18 (100%)	4 (22%)

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Разработана система стабилизации кислотности почвы при выращивании томатов в условиях закрытого грунта. Проведённые производственные испытания показали увеличение урожайности томатов на 16% и крупности плодов на 30% при использовании системы стабилизации кислотности почвы по сравнению с контролем. Это объясняется созданием наилучших условий для роста и развития, так как при поддержании оптимального для растения pH почвы ему доступно большее количество необходимых ему минеральных веществ.

Библиографический список

1. Дубровская О. А., Широнос В. Г. Использование электроактивированного водного раствора — католита для раскисления почвы. — В сб. Тезисы докладов 4-й

Российской университетско-академической научно-практической конференции. Ижевск: Изд-во Удм. ун-та, 1999, ч.2, с.89.

2. Карташов Б.А. Компьютерные технологии и микропроцессорные средства в автоматическом управлении: учебное пос. Ростов-на-Дону: Феникс, 2013. – 540 с., ил.

3. Пындак В. И., Ищенко А. Ю., Лагутин В. В. Концепция применения воды для нужд растениеводства и животноводства // Научные сообщ. КДН / Волгогр. клуб докторов наук. - Волгоград, 1999. - Бюл. № 8. - С. 19 - 22.

4. Пындак В. И., Лагутин В. В., Юшкин А. В. Перспективы применения экологически чистых активированных водных растворов в растениеводстве // Поволжский экологич. вест. / РЭА. Волгогр. отделение. - Вып. 8. - Волгоград: Изд-во ВолГУ, 2001. - С. 119 -422.

5. Шрамко Г.А., Александрова Э.А., Князева Т.В. Совершенствование технологии некорневой подкормки озимой пшеницы с применением электрохимически активированной воды // Научный журнал Труды Кубанского государственного аграрного университета. – 2011 г. –№6 (33), С. 69–72.

References

1. Dubrovskaja O. A., Shironosov V. G. Ispol'zovanie jelektroaktivirovannogo vodnogo rastvora — katolita dlja raskislenija pochvy. — V sb. Tezisy dokladov 4-j Rocsijskoj universitetstko-akademicheskoy nauchno-prakticheskoy konferencii. Izhevsk: Izd-vo Udm. un-ta, 1999, ch.2, s.89.

2. Kartashov B.A. Komp'juternye tehnologii i mikroprocessornye sredstva v avtomaticheskom upravlenii: uchebnoe pos. Rostov-na-Donu: Feniks, 2013. – 540 s., il.

3. Pyndak V. I., Ishhenko A. Ju., Lagutin V. V. Konceptija primenenija vody dlja nuzhd rastenievodstva i zhivotnovodstva // Nauchnye soobshh. KDN / Volgogr. klub doktorov nauk. - Volgograd, 1999. - Bjul. № 8. - S. 19 - 22.

4. Pyndak V. I., Lagutin V. V., Jushkin A. V. Perspektivy primenenija jekologicheski chistyh aktivirovannyh vodnyh rastvorov v rastenievodstve // Povolzhskij jekologich. vest. / RJeA. Volgogr. otdelenie. - Vyp. 8. - Volgograd: Izd-vo VolgGU, 2001. - S. 119 -422.

5. Shramko G.A., Aleksandrova Je.A., Knjazeva T.V. Sovershenstvovanie tehnologii nekornevoj podkormki ozimoy pshenicy s primeneniem jelektrohimičeski aktivirovannoj vody // Nauchnyj zhurnal Trudy Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. – 2011 g. –№6 (33), S. 69–72.