Р. Р. Шарипов, Г. В. Котельников, И. В. Волков, А. М. Макаров

**РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ РАСТВОРНОГО УЗЛА
ДЛЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ УСТАНОВКИ АЭРОПОННОГО ВЫРАЩИВАНИЯ***

Волгоградский государственный технический университет

E-mail: app@vstu.ru

Рассматривается разработка и исследование растворного узла для автоматизированной установки аэропонного выращивания. Представлено описание вариантов хранения маточных растворов, методы разведения маточного раствора, автоматизация процесса контроля Ph, методы селективной оценки концентрации питательных веществ по NPK, освещен ряд нерешенных ключевых вопросов, ограничивающих полную автоматизацию растворных узлов при замкнутом цикле выращивания растений.

Ключевые слова: маточных раствор, растворных узел, Ph, EC, NPK.

R. R. Sharipov, G. V. Kotelnikov, I. V. Volko, A. M. Makarov

**DEVELOPMENT AND STUDY OF SOLUTION UNIT FOR
AUTOMATED AEROPONICS GROWING PLANT**

Volgograd State Technical University

Research and development of a solution node of an automated plant for aeroponic growing have been considered. The paper describes the options for storing mother solutions, the methods for their dilution, automation of the Ph control process, the methods for selective assessment of the concentration of nutrients by NPK. A number of key problems that limit the full automation of solution nodes in a closed cycle of plant growing have been highlighted.

Keywords: mother solution, solution node, Ph, EC, NPK.

© Шарипов Р. Р., Котельников Г. В., Волков И. В., Макаров А. М., 2021.

* Исследование выполнено при финансовой поддержке ФГБУ «Фонд содействия развитию малых форм предприятий в научно-технической сфере», договор 0059063 ГУ/2020.

В настоящее время современные тенденции развития автоматизированных методов в области сельского хозяйства обеспечивают условия для активного внедрения систем с полностью автоматическим производственным циклом управления. В области растениеводства за последние 20 лет сделан огромный шаг в направлении оптимизации использования водных и земельных ресурсов в условиях закрытого грунта. Многие современные тепличные комплексы используют сейчас гидропонные технологии. Однако, эти технологии имеют ряд недостатков, а именно:

- высокий уровень отходов в виде мат с минеральной ватой;
- накопительный солевой эффект и высокая инерционность химического состава субстрата корневой зоны;
- высокий уровень энергозатрат на обеззараживание раствора при циркуляционном методе подачи раствора;
- сложности автоматизации NPK анализа, в том числе и методом селективных электродов;
- сброс отработанного солевого раствора в сточные воды в случае использования проточного метода подачи.

Новым витком гидропонной технологии с недавнего времени стала аэропонная технология. Данная технология позволяет получать урожай с минимальным уровнем затрат рабочего раствора, субстрата и энергии. При этом, скорость роста и развития растений, выращиваемых на аэропонике выше, чем на гидропонной технологии. Это объясняется тем, что корни растения получают больше кислорода воздуха при отсутствии сопротивления росту корней (растение не затрачивает собственную энергию на работу по преодолению сопротивления субстрата во время роста). Кроме того, обеспечивается высокая экономия питательных веществ в водных ресурсах за счет высокого коэффициента их использования (требуется всего лишь 20 секундного опрыскивания корней рабочим раствором в час, отсутствуют массивные маты).

Аэропоника позволяет выращивать любые культуры, располагая саженцы как в горизонтальном, так и в вертикальном направлении. Эта особенность сделала ее крайне популярной в европейских странах в сфере декоративного цветоводства и озеленения. В России к данному виду агротехники только начинают присматриваться и используют пока исключительно в тепличном бизнесе.

В гидропонных/аэропонных технологиях существуют два типа питательных растворов: маточный – концентрированный раствор питательных солей и рабочий – разведенный до определенной концентрации и нормализованный по Ph раствор, подаваемый в корневую зону растений [1], [2], [3], [4].

Для хранения маточных растворов используются емкости хранения, входящие в состав растворного узла. Стандартная классическая схема хранения растворов – это маточный раствор А и маточный раствор Б, а также Ph корректор. Два маточных раствора используются в связи с тем, что нельзя допускать их смешивания в концентрированном виде, т. к. это приведет к выпадению осадка, смещению NPK баланса и последующему забиванию распылительных форсунок и трубопроводов. При этом, в малых концентрациях эти растворы могут быть смешаны и храниться (использоваться) в виде рабочего раствора в течение нескольких недель. Скорость химической реакции между компонентами рабочего раствора при этом минимальна.

Данный вариант организации получения рабочего раствора из компонентов А и Б с применением Ph корректора не всегда удобен. Если на предприятии имеется один растворный узел, при наличии широкого класса выращиваемых растений, возможности варьирования крайне ограничены. Вторым отрицательным аспектом является сложность подбора комплекса солей для сложного солевого состава маточных растворов А и Б, что часто требует добавления буферных компонентов для стабилизации хранения подобных концентратов, что неминуемо повышает себестоимость.

В настоящее время проводится ряд исследований по минимизации затрат данного производственного цикла с одновременным повышением степени комбинаторики получения рабочих растворов. Эти положительные эффекты достигаются методом увеличения количества используемых простых солей, с возможностью точного персонального дозирования каждой.

Данный подход имеет ряд положительных эффектов, поскольку при полном цикле выращивания, особенно в плодоносящих культурах, химический состав солей значительно отличается между фазами проращивания из семени, вегетативного развития и плодоношения. Поэтому, с позиции автоматизации существует необходимость разработки новых методов и математических моделей приготовления ра-

бочих растворов с использованием пять, шесть и более точек дозирования.

Для приготовления рабочего раствора существуют основные методы разведения маточного раствора.

Первый метод, заключается в последовательном разведении маточных растворов непосредственно в накопительной емкости с изначально очищенной водой. В настоящее время практически не используется, т.к. не обеспечивает необходимой точности дозирования, обладает низким уровнем чувствительность обрат-

ной связи и создает локальные зоны концентрации маточных растворов при разведении, что вызывает ускоренное старение рабочих растворов при хранении.

Второй метод более гибкий и обладает возможностью плавного дозирования вещества, используя метод эжекции концентрата соли с применением трубок Вентури. Схема показана на рис. 1.

Благодаря трубкам Вентури обеспечивается высокоскоростной поток, который методом эжекции смешивается с необходимыми солями.

Рис. 1. Технологическая схема растворного узла с применением трубок Вентури

Преимущество данного метода в том, что эжектор может сам вытягивать с определенным стабильным потоком концентрат соли в раствор одновременно активно смешивая его с рабочим раствором.

Для повышения точности дозирования как правило перед эжектором ставятся перистальтические насосы. Они выполняют роль регулирующего (дозировющего) элемента.

Метод эжекции можно также совместно использовать с применением датчиков малого расхода [5]. Благодаря применению подобного решения обеспечивается возможность высокоточного дозирования компонентов. Этот вопрос особенно актуален при разработке компактных бытовых установок для личного использования, а также микроэлементов.

Использование предлагаемого решения, по

сравнению с имеющимися, обеспечивает повышение точности измерений малых расходов жидкости, которая достигается увеличением количества дискретных преобразований, а также значений дискретизации сигнала вследствие использования оптического метода измерений. При этом расширяется диапазон измеряемых величин малых расходов жидкости.

Выполнение измерительной плоскости внутри светопрозрачного элемента, не контактирующего с оптической системой, обеспечивает бесконтактный метод измерений, что значительно расширяет область применения датчика и позволяет использовать его для измерения малых расходов практически любых жидкостей, в том числе, в агрессивных и ядовитых средах. Использование разработанного устройства для измерения малых расходов жидкости создает условия для полной автоматизации процесса высокоточного дозирования различных жидкостей.

Следует отметить, что для автоматизации

приготовления рабочего раствора необходимо соблюдение необходимого уровня параметров электрической проводимости ЕС и кислотность Ph. На первом этапе приготовления рабочего раствора производится дозирование необходимых солей согласно технологической карте с параллельным контролем уровня ЕС, после чего осуществляется Ph коррекция. В зависимости от сочетания простых солей, используемых для приготовления рабочего раствора возможно получение раствора как с пониженным, так и с повышенным уровнем Ph. Поэтому, в случае использования простых солей для приготовления рабочего раствора необходимо наличие корректоров «Ph+» (карбонат калия) и «Ph-» (азотная кислота). Параметры ЕС и Ph измеряются с помощью соответствующих датчиков. Сигналы с датчиков обрабатываются специализированными первичными преобразователями, а затем считываются контроллером, входящим в состав системы автоматизации (рис. 2).

Рис. 2. Датчики Ph и ЕС с первичными преобразователями сигнала

С целью экономии водных ресурсов возможно использовать рабочий раствор повторно, однако при таком методе выращивания образуются две существенные проблемы: регулирование допустимого уровня патогенных бактерий в возвратном растворе и контроль NPK баланса.

Если первый вопрос имеет ряд решений, которые зачастую экономически выгодно использовать в странах Дальнего Востока с высокими тарифами на воду, то второй вопрос требует отдельного подхода и решается на данный момент периодическим проведением лабораторного анализа химического состава рабочего раствора методом отбора проб.

В случае циклического метода подачи рабочего раствора, даже при соблюдении всех не-

обходимых требований по обеззараживанию возвратного рабочего раствора, все же существует реальная угроза заражения растений, поэтому метод однократного применения рабочего раствора в России применяется чаще.

Основным плюсом этого метода, является минимизация опасности заражения возвратным раствором. При применении физиологических методов стерилизации среды (пастеризация, УФ обработка, озонирование) в баке хранения возвратного раствора все же будут развиваться какие-либо бактерии. Поэтому при циклическом методе подачи раствора необходимо серьезно задуматься о том, как обеззараживать патогенную микрофлору, не используя вредные для человека и окружающей среды вещества.

Также необходимо производить селективную оценку концентрации питательного вещества по NPK. Если используется проточный метод дозирования, то необходимость в этом отсутствует, т. к. NPK раствора рассчитывается по NPK калькулятору и является постоянной величиной.

При использовании циклического метода выращивания, после первого же цикла использования получается раствор с измененными параметрами, как в связи с потреблением, так и выделением в раствор веществ растением.

Единственным решением определения химического состава рабочего раствора автоматизированным методом является использование селективных электродов. Следует отметить, что применение современных электродов не обеспечивает высокого уровня селективности, поэтому требуется комплексный подход, учитывающий правильный подбор простых солей, решаемый в рамках отдельной задачи неорганической химии.

Таким образом, для создания полноценного растворного узла, а также системы обратной связи состава отработанного рабочего раствора, требуется решить комплекс вопросов, связанных как со способами дозирования, так и оптимизацией количества и вида применяемых питательных солей и селективных электродов.

Каждый вопрос, освещенный в данной статье, требует отдельного комплексного подхода с привлечением специалистов из областей автоматизации, химии, электрохимии, гидравлики, конструирования и проектирования.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Пат. RU 2710195 C1, МПК B01F 1/00, Узел приготовления солевого раствора / В.П. Ануфриев, Р. Болл, Я. Болл, П. Болл; Заявитель и патентообладатель Общество с ограниченной ответственностью «Лортэкс Эко» (RU) – № 2011135297/05; заявл. 24.08.2011; опубл. 20.12.2011
2. Пат. RU 111454 U1, МПК B01F 1/00, Растворный узел для приготовления жидких комплексных удобрений / А. А. Вагонов; Заявитель и патентообладатель Ваганов Александр Александрович – № 2019120909; заявл. 02.07.2019; опубл. 24.12.2019
3. Пат. RU 2 038 006 C1, МПК A01G 31/02, Растворный узел для приготовления и подачи питательного раствора / А. Л. Сотняков, Л. А. Липницкий, А. Г. Цубанов; Заявитель и патентообладатель Белорусский аграрный технический университет – № 502840/15; заявл. 24.02.1992; опубл. 27.06.1995.
4. Экспериментальное исследование работ жидкостно-газового эжектора / А. В. Павлов, С. В. КАЦ // Известия ВолгГТУ : сборник науч. ст. № 1 (104) / ВолгГТУ. – Волгоград, 2013. – С. 5–8.
5. Бесконтактное измерение малых расходов жидкости / И. В. Волков, В. П. Заярный, А. М. Макаров, Н. В. Кобзев / Всероссийский научно-исследовательский институт метрологической службы (Москва) // Журнал «Измерительная техника». – 2014. – № 7. – С. 35–37.