

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ РАБОТЫ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ ПРИЗНАКОВ КОНТАМИНАЦИИ АГРОКУЛЬТУР В УСЛОВИЯХ КЛОНАЛЬНОГО РАЗМНОЖЕНИЯ МЕТОДАМИ ЦИФРОВОЙ ЦВЕТОМЕТРИИ

Н. И. Лебедь^{1✉}, К. Е. Токарев², Д. С. Гапич¹

*Кафедры: «Электроснабжение и энергетические системы»,
nik8872@yandex.ru (1); «Математическое моделирование и информатика» (2),
ФГБОУ ВО «Волгоградский государственный аграрный университет»,
Волгоград, Россия*

Ключевые слова: автоматизация; биотехнологии; искусственный микроклимат; микроклональное размножение; микроконтроллеры; растениеводство; цифровая цветометрия.

Аннотация: Предложен автоматизированный модуль контроля признаков контаминации растений при клональном микроразмножении посредством средств цифровой цветометрии. Рассмотрены критерии качества работы предлагаемого модуля, в частности подобраны факторы, оказывающие влияние на эффективность работы системы. Аналитически обоснованы условия определения итоговых значений составляющих аддитивной цветовой RGB-модели и конечных фактических цветов. Разработана таблица истинности срабатывания оповещения об идентификации контаминации модулем контроля признаков контаминации, а также логическая функция в совершенной дизъюнктивной нормальной форме. Построен алгоритм автоматизированного контроля контаминации в питательной среде / растительном объекте (отклонений от регламентированных показателей по цветовым характеристикам).

Введение

Основное направление получения оздоровленного посадочного материала – микроклональное размножение, преимущество которого заключается в возможности получения высококачественного семенного и посадочного материала культурных растений в условиях лаборатории круглый год в гораздо больших объемах. Соблюдение условий стерильности в процессе микроклонального размножения культур является важнейшим фактором его успешного проведения. Растения обладают высокой восприимчивостью к микроорганизмам, подавляющим их рост, и не способны сопротивляться инфекциям. А поскольку питательная среда, на которой выращиваются экспланты, является идеальной для роста микроорганизмов, необходимо не только исключить возможность контаминации из внешней среды, но и обеспечить эффективную стерилизацию растительного материала, так как на его поверхности и внутри тканей почти всегда присутствует посторонняя микрофлора.

В настоящее время проблема стерильности сред и растительных эксплантов в биотехнологических лабораториях стоит достаточно остро. Причин попадания

бактериальной и микотической инфекций много, но наиболее распространенные две: *первая* – это микроорганизмы, попадающие вместе с растением, которое вводят впервые в культуру; *вторая* – микроорганизмы, которые попадают при какой-либо работе с культурой ткани (чаще всего при пересеве культуры) [1].

Однако даже тщательное соблюдение протоколов способов стерилизации полностью не обеспечивает стерильность питательной среды и эксплантов *in vitro*. В результате возможно появление бактериальной или микотической инфекции, в короткие сроки готовое поразит весь материал растительных клеток или тканей, что приведет к отбраковке ряда образцов и снижению выхода готовой продукции растениеводства. Кроме этого, в худшем случае не исключено заражение бактериальной или микотической инфекцией всей стерильной камеры или лабораторного помещения, что не позволит реализовывать технологию микроклонального размножения растений до полного решения проблемы контаминации и приведет к производственным потерям.

Своевременное обнаружение контаминации питательной среды и эксплантов позволит не только вовремя исключить зараженный образец из стерильной камеры, но и провести оперативное вмешательство для пересева содержимого пробирки, тем самым сохранив его.

Как правило, идентификация контаминации питательной среды или экспланта осуществляется визуально подготовленными людьми, отвечающими за культивирование микрорастений и ведущими мониторинг для контроля за состоянием роста и развития продукции растениеводства в регулируемых условиях микроклимата. Тем не менее обеспечение визуальной достоверной идентификации контаминации осложнено проблемой, представленной индивидуальными и субъективными факторами, такими как низкая квалификация или ее отсутствие, недостаточный опыт работы и утомляемость исполнителей. Кроме этого, отсутствие кадров, оптимизация производства, а также политика выполнения Ведомственного проекта «Цифровое сельское хозяйство», Федеральной научно-технической программы развития сельского хозяйства на 2017 – 2025 годы («Сельскохозяйственная техника и оборудование», «Селекция и семеноводство») обязывает проводить разработку и внедрение автоматизированных цифровых систем для эффективной реализации культивирования растений на основании достоверных данных.

Решение проблемы состоит в разработке и внедрении системы обнаружения контаминации посредством технического зрения, анализа цифровых снимков с использованием библиотек машинного обучения для последующей обработки искусственными нейронными сетями.

Объекты и методы исследования

Разработка простых и дешевых средств определения состава веществ материалов в режиме реального времени – важная тенденция развития современных аналитических методов в сельскохозяйственной биотехнологии. В последнее время наблюдается устойчивый интерес к химическому анализу, основанному на регистрации электромагнитного излучения в видимом диапазоне длин волн с помощью цифровых устройств для получения цветных растровых изображений. В литературе для обозначения данного метода применяют следующие термины: цифровая или компьютерная цветометрия; видеоаналитические подходы; Digital Color Analysis (DCA), Digital Image Colorimetry (DIC), Digital Image Analysis, Computer Vision based Analytical Chemistry (CVAC) [2, 3].

Метод цифровой или компьютерной цветометрии заключается в определении количественных характеристик цвета и установлении их взаимосвязи с содержанием определяемых веществ в анализируемых объектах. Для количествен-

ной оценки цвета созданы различные цветовые системы – RGB, CMY(K), XYZ, Lab, HSB. Система RGB образована тремя основными цветами – красным (R), зеленым (G) и синим (B), которые отвечают монохроматическому излучению с длинами волн 700,0; 546,1 и 435,8 нм соответственно.

Датчик определения цвета TCS230 представляет собой преобразователь интенсивности светового потока в частоту высокого разрешения, снабженный четырьмя группами фотодиодов без светофильтра и со светофильтрами: красным, зеленым, синим [4] (рис. 1).

Рассматриваемый датчик является программируемым конвертером, объединяющим кремниевые фотодиоды и преобразователь тока в частоту в одном монолитном CMOS-кристалле (*Complementary Metal–Oxide–Semiconductor*). Выходной сигнал представляет собой квадраты (прямоугольный сигнал с заполнением 50 %), частота которого прямо пропорциональна интенсивности светового потока (освещенности). Полное разрешение выходной частоты может быть изменено с помощью двух управляющих выводов (выводы S0 и S1, с помощью которых можно установить масштаб частоты выходного сигнала на 12, 120 и 600 кГц). Цифровые входы и выходы осуществляют прямое подключение к микроконтроллерным или логическим цепям. Инверсный вход разрешения работы переключает выходы устройства в состояние высокого входного сопротивления («третье состояние»), что позволяет присоединять на один вход микроконтроллера несколько датчиков.

Преобразователь освещенности в частоту содержит матрицу 8 × 8 фотодиодов. Шестнадцать фотодиодов снабжены синими светофильтрами. Шестнадцать других – зелеными и еще 16 – красными, оставшиеся 16 фотодиодов не имеют фильтров. Четыре типа фотодиодов (по светофильтрам) транспозированы для снижения влияния неравномерности освещения датчика и засветки. Все 16 фотодиодов одного типа соединены в параллельную цепь, выбор группы осуществляется через два входных вывода выбора цвета (выводы S2 и S3 позволяют выбрать красную, зеленую, синюю или бесцветную группы).

Предлагается использовать принцип цифровой цветометрии при определении признаков бактерицидной, фунгицидной, а также спороцидной зараженности питательных сред и эксплантов растений при их микрочлониальном размножении. Так, при посадке эксплантов на агаризованную питательную среду Мурасиге – Скага в индивидуальные стерильные пробирки соблюдается единообразие внешнего вида, в частности цвета, для всей партии приготовленной питательной среды, в зависимости от ее компонентов и их количества. Как правило, при клональном микроразмножении картофеля базовая агаризованная питательная среда имеет равномерный молочно-серый оттенок (рис. 2, а).



Рис. 1. Датчик определения цвета TCS230

а – общий вид; б – процесс регистрации цветовых характеристик объекта



Рис. 2. Посадочный материал растений, полученный путем микрোকлонального размножения *in vitro* (пример):
 а – стерильный растительный эксплант; б – растительный эксплант, пораженный грибковой инфекцией [1]

Наличие признаков зараженностей четко выражается изменением цветовых характеристик как экспланта, так и самой питательной среды (рис. 2, б), что необходимо обнаружить как можно быстрее для предотвращения потери образца.

Предлагаемая измерительная система автоматизированного модуля контроля признаков контаминации растений при клональном микроразмножении будет выполнена на базе датчика определения цвета TCS230 и микроконтроллера AVR / ARM Cortex-архитектуры или Intel Galileo Gen. 2 на основе Intel Quark SoC X1000, 32-битного Intel Pentium процессора.

Результаты исследований

Для разработки критериев качества работы предлагаемого автоматизированного модуля рассмотрим кибернетическую модель «черного ящика» процесса, предусматривающую анализ факторов, оказывающих влияние на работу системы, а именно одного из критериев, определяющего ее эффективность.

В качестве входных управляемых величин (рис. 3), влияющих на процесс эффективного определения цвета посредством датчика определения цвета TCS230, выделены факторы:

- X_1 – уровень освещения рабочей камеры;
- X_2 – цветовая температура освещения рабочей камеры (холодная, теплая и др.);
- X_3 – форма поверхности контролируемых образцов;
- X_4 – наличие световых пятен (блики) поверхности контролируемых образцов;
- X_5 – время на обнаружения цветовых характеристик;
- X_6 – программные настройки чувствительности и калибровки датчика.



Рис. 3. Модель процесса эффективного определения цвета посредством датчика цвета TCS230

В качестве выходного показателя принят фактор Y , учитывающий эффективность работы системы, а именно достоверность определения конкретного цвета датчиком.

Датчик TCS230 определяет цветовые характеристики объекта по трем каналам R, G, B и программно обеспечивает установку калибровочных значений для каждого из каналов, что необходимо при подготовке автоматизированного устройства контроля признаков контаминации к новым условиям эксплуатации (к примеру, изменение уровня освещенности в рабочей камере с растительными образцами). В результате, конечные итоговые значения составляющих аддитивной цветовой модели находятся следующим образом:

$$R_p + R_{kal} = R_s ; \quad (1)$$

$$G_p + G_{kal} = G_s ; \quad (2)$$

$$B_p + B_{kal} = B_s , \quad (3)$$

где R_s, G_s, B_s – итоговые значения составляющих R, G, B ; R_p, G_p, B_p – показания от датчика по составляющим R, G, B ; $R_{kal}, G_{kal}, B_{kal}$ – калибровочные значения по составляющим R, G, B (задается из меню системы управления).

Также в алгоритме и реализованном программном коде можно устанавливать значения «чувствительности», то есть порог минимального срабатывания датчика на R -, G -, B -составляющие. В итоге, согласно условиям RGB-модели цифровой цветометрии, с учетом использования датчика определения цвета TCS230 для предлагаемого устройства автоматизированного контроля признаков контаминации растений при клональном микроразмножении, получаем следующие условия определения конкретных цветов (табл. 1).

Таблица 1

Условия определения конкретных цветов для аддитивной цветовой RGB-модели

Цвет	Условие обнаружения конкретного цвета – значения составляющих аддитивной цветовой модели RGB		
	R	G	B
Красный	$R_{ch} < R_s$	$G_s < G_{ch}$	$B_s < B_{ch}$
Зеленый	$R_s < R_{ch}$	$G_{ch} < G_s$	
Синий		$G_s < G_{ch}$	$B_{ch} < B_s$
Белый	$R_{ch} < R_s$	$G_{ch} < G_s$	$B_{ch} > B_s$
Желтый		$G_{ch} > G_s$	
Розовый		$G_{ch} > G_s$	$B_{ch} < B_s$
Лазурный	$R_{ch} > R_s$	$G_{ch} < G_s$	$B_{ch} > B_s$
Черный		$G_{ch} > G_s$	

Примечание: R_{ch}, G_{ch}, B_{ch} – порог минимального значения, превышение которого принимается как срабатывание обнаружения цвета «красный» / «зеленый» / «синий», составляющей аддитивной цветовой модели RGB (чувствительность – задается из меню системы управления).

Таблица 2

**Таблица истинности срабатывания оповещения об идентификации
контаминации модулем контроля признаков контаминации растений
при клональном микроразмножении**

Номер состояния	Контролируемый цвет							
	Красный		Зеленый		Синий		Белый	
	Ф	М	Ф	М	Ф	М	Ф	М
	X_{16}	X_{15}	X_{14}	X_{13}	X_{12}	X_{11}	X_{10}	X_9
	Вес разряда							
2^{15}	2^{14}	2^{13}	2^{12}	2^{11}	2^{10}	2^9	2^8	
1	1	1	0	0	0	0	0	0
2	0	0	1	1	0	0	0	0
3	0	0	0	0	1	1	0	0
4	0	0	0	0	0	0	1	1
5	0	0	0	0	0	0	0	0
6	0	0	0	0	0	0	0	0
7	0	0	0	0	0	0	0	0
8	0	0	0	0	0	0	0	0

Продолжение табл. 2

Номер состояния	Контролируемый цвет							
	Желтый		Розовый		Лазурный		Черный	
	Ф	М	Ф	М	Ф	М	Ф	М
	X_8	X_7	X_6	X_5	X_4	X_3	X_2	X_1
	Вес разряда							
2^7	2^6	2^5	2^4	2^3	2^2	2^1	2^0	
1	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0	0	0	0
5	1	1	0	0	0	0	0	0
6	0	0	1	1	0	0	0	0
7	0	0	0	0	1	1	0	0
8	0	0	0	0	0	0	1	1

Примечание: Ф – факт наличия контролируемого цвета среди образцов;
М – выбор обнаружения контролируемого цвета в меню программы.

Для срабатывания оповещения обнаружения признаков контаминации образцов необходимо условие, чтобы выявленный по алгоритму цвет совпал с цветом, заданным из меню системы управления. В таблице 2 представлены состояния системы, при котором выходной сигнал равен единице. Логическая функция, описывающая условия, при которых выходной сигнал равен единице представлена в виде совершенной дизъюнктивной нормальной формы (СДНФ) (4):

$$\begin{aligned}
 y = & x_{16}x_{15}\bar{x}_{14}\bar{x}_{13}\bar{x}_{12}\bar{x}_{11}\bar{x}_{10}\bar{x}_9\bar{x}_8\bar{x}_7\bar{x}_6\bar{x}_5\bar{x}_4\bar{x}_3\bar{x}_2\bar{x}_1 + \bar{x}_{16}\bar{x}_{15}x_{14}x_{13}\bar{x}_{12}\bar{x}_{11}\bar{x}_{10}\bar{x}_9\bar{x}_8\bar{x}_7\bar{x}_6\bar{x}_5x_4\bar{x}_3\bar{x}_2\bar{x}_1 + \\
 & \bar{x}_{16}\bar{x}_{15}\bar{x}_{14}\bar{x}_{13}\bar{x}_{12}\bar{x}_{11}\bar{x}_{10}\bar{x}_9\bar{x}_8\bar{x}_7\bar{x}_6\bar{x}_5x_4\bar{x}_3\bar{x}_2\bar{x}_1 + \bar{x}_{16}\bar{x}_{15}\bar{x}_{14}\bar{x}_{13}\bar{x}_{12}\bar{x}_{11}\bar{x}_{10}\bar{x}_9\bar{x}_8\bar{x}_7\bar{x}_6\bar{x}_5x_4\bar{x}_3\bar{x}_2\bar{x}_1 + \\
 & \bar{x}_{16}\bar{x}_{15}\bar{x}_{14}\bar{x}_{13}\bar{x}_{12}\bar{x}_{11}\bar{x}_{10}\bar{x}_9\bar{x}_8\bar{x}_7\bar{x}_6\bar{x}_5\bar{x}_4\bar{x}_3\bar{x}_2\bar{x}_1 + \bar{x}_{16}\bar{x}_{15}\bar{x}_{14}\bar{x}_{13}\bar{x}_{12}\bar{x}_{11}\bar{x}_{10}\bar{x}_9\bar{x}_8\bar{x}_7\bar{x}_6\bar{x}_5\bar{x}_4\bar{x}_3\bar{x}_2\bar{x}_1 + \\
 & \bar{x}_{16}\bar{x}_{15}\bar{x}_{14}\bar{x}_{13}\bar{x}_{12}\bar{x}_{11}\bar{x}_{10}\bar{x}_9\bar{x}_8\bar{x}_7\bar{x}_6\bar{x}_5\bar{x}_4\bar{x}_3\bar{x}_2\bar{x}_1.
 \end{aligned}
 \tag{4}$$

По представленным условиям работы предлагается алгоритм автоматизированного контроля контаминации в питательной среде / растительном объекте (отклонений от регламентированных показателей по цветовым характеристикам) [5, 6] (рис. 4).

Изменение цвета среды по сравнению с регламентированным (может быть вызвано отклонениями pH среды или ростом контаминантов): изменение цвета и появление мути может свидетельствовать о бактериальном или грибковом заражении (контаминации). Если цвет сдвигается в сторону малинового – это может быть связано с отсутствием размножения клеток, недостаточным количеством для данного объема или их гибелью.

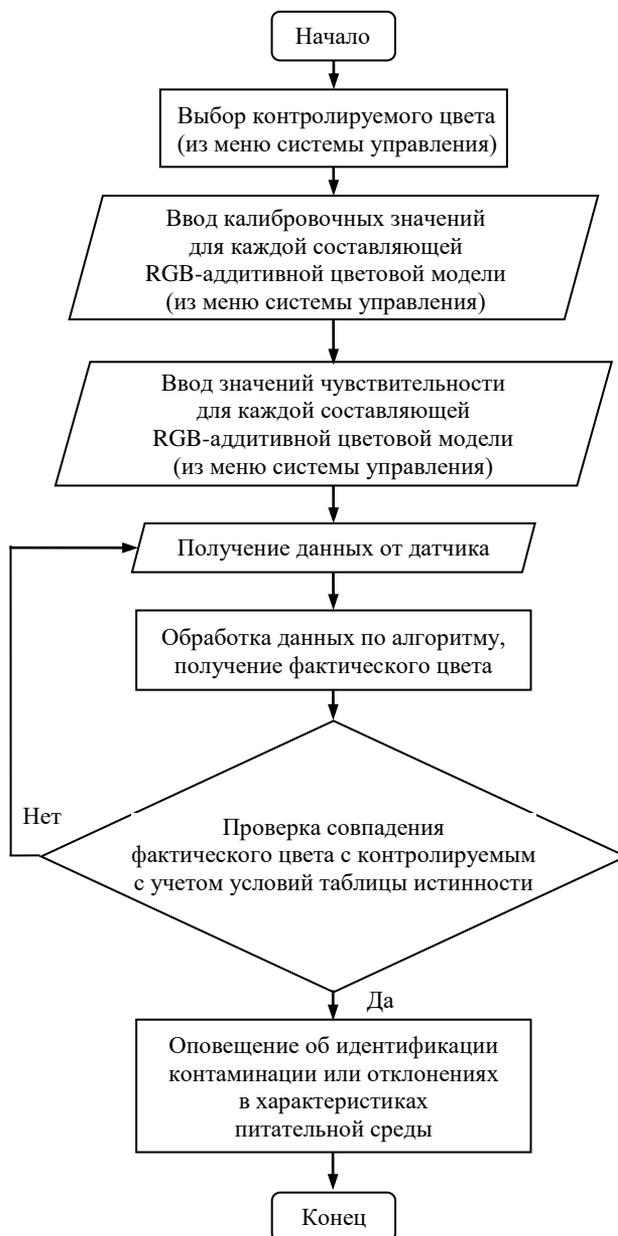


Рис. 4. Алгоритм автоматизированного контроля контаминации в питательной среде / растительном объекте, характеристик питательной среды (отклонений от регламентированных показателей)

Заключение

Разработанный алгоритм автоматизированной интеллектуальной системы контроля контаминации в питательной среде / растительном объекте, характеристик питательной среды (отклонений от регламентированных показателей) обеспечивает идентификацию высокой степени точности биологических загрязнений при микроклональном размножении растений посредством анализа цветковых характеристик объекта, а также цифровых снимков с использованием специализированных библиотек глубокого машинного обучения для последующей обработки искусственными нейронными сетями различных архитектур. Использование данного алгоритма при проектировании систем автоматизации климатических камер для выращивания растений [7, 8] способствует своевременному обнаружению контаминации питательной среды и эксплантов, что позволит не только вовремя исключить зараженные образцы из стерильной камеры, но и провести оперативное вмешательство для пересева содержимого, тем самым предотвращая производственные потери.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 22-21-20041и администрации Волгоградской области.

Список литературы

1. Зонтиков, Д. Н. Проблемы стерильности сред и растительных эксплантов культуры *in vitro* лаборатории клонального микроразмножения растений / Д. Н. Зонтиков, Э. В. Марамохин // Молодой ученый. – 2014. – № 8(67). – С. 317 – 320.
2. Моренко, С. А. Устройство для измерения оптических свойств молока // С. А. Моренко, К. С. Моренко // Инновации в сельском хозяйстве. – 2017. – № 2(23). – С. 55 – 60.
3. Ghorude, T. N. Quantitative Color Measurement of PH Indicator Paper Using Trichromatic LEDs and TCS230 Color Sensor / T. N. Ghorude, A. L. Chaudhari, A. D. Shaligram // ICEM 2008: International Conference on Experimental Mechanics. – 2008. – Vol. 7375. doi: 10.1117/12.839311
4. Gotor, R. Low-Cost, Portable Open-Source Gas Monitoring Device Based on Chemosensory Technology / R. Gotor, P. Gaviña, A. M. Costero // Measurement Science and Technology. – 2015. – Vol. 26, No. 8. doi: 10.1088/0957-0233/26/8/085103
5. Свид. о регистрации программы ЭВМ № 2022681596 Российская Федерация. Мониторинг и оценка продуктивности агрофитоценозов при биотехнических способах размножения с использованием средств цифровой цветометрии / Н. И. Лебедь, К. Е. Токарев ; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВО «ВолГАУ». – № 2022681596 ; заявл. 31.10.2022 ; опубл. 15.11.2022.
6. Полезная модель 208958 Российская Федерация, МПКА01G 9/24, A01G 9/26. Секционная климатическая камера для выращивания растений / Н. И. Лебедь, И. В. Волков, А. М. Макаров, Н. Г. Шаронов, Я. В. Калинин, М. Б. Лебедь ; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВО «Волгоградский технический университет». – № 2021111261 ; заявл. 21.04.2021 ; опубл. 24.01.2022, Бюл. № 3. – 7 с.
7. Мультисекционная климатическая камера для ускоренного производства культурных растений в условиях регулируемых параметров / Н. И. Лебедь, И. В. Волков, М. Б. Лебедь, Я. В. Калинин // Известия ВолГТУ. – 2021. – № 3(250). – С. 66 – 68. doi: 10.35211/1990-5297-2021-3-250-66-68
8. Исследование и моделирование режимов работы программно-аппаратного комплекса системы микроклимата на базе программируемого микроконтроллера ATmega 2560 / Н. И. Лебедь, К. Е. Токарев, Д. Д. Нехорошев, М. П. Аксенов // Вест. Тамб. гос. техн. ун-та. – 2022. – Т. 28, № 4. – С. 596 – 605. doi: 10.17277/vestnik.2022.04.pp.596-605

Simulation of Operation Parameters of an Automated System for Monitoring Signs of Contamination of Agricultural Crops under Conditions of Clonal Reproduction by Digital Color Methods

N. I. Lebed¹✉, K. E. Tokarev², D. S. Gapich¹

Departments: “Power Supply and Energy Systems”,
nik8872@yandex.ru (1); “Mathematical Modeling and Informatics” (2),
Volgograd State Agrarian University, Volgograd, Russia

Keywords: automation; biotechnology; artificial microclimate; microclonal propagation; microcontrollers; crop production; digital colorimetry.

Abstract: An automated module for monitoring signs of plant contamination during clonal micropropagation using digital colorimetry is proposed. The criteria for the quality of operation of the proposed module are considered, in particular, factors that influence the efficiency of the system are selected. The conditions for determining the final values of the components of the additive RGB color model and the final actual colors are analytically substantiated. A truth table for triggering an alert about contamination identification by the module for monitoring signs of contamination has been developed, as well as a logical function in perfect disjunctive normal form. An algorithm has been developed for automated control of contamination in the nutrient medium/plant object (deviations from the regulated indicators for color characteristics).

References

1. Zontikov D.N. [Problems of sterility of media and plant explants of in vitro culture of the laboratory of plant clonal micropropagation], *Molodoj uchenyj* [Young scientist], 2014, no. 8 (67), pp. 317-320. (In Russ., abstract in Eng.)
2. Morenko S.A., Morenko K.S. [Device for measuring the optical properties of milk], *Innovatsii v sel'skom khozyaystve* [Innovations in agriculture], 2017, no. 2 (23), pp. 55-60. (In Russ., abstract in Eng.)
3. Ghorude T.N., Chaudhari A.L., Shaligram A.D. Quantitative Color Measurement of PH Indicator Paper Using Trichromatic LEDs and TCS230 Color Sensor, *ICEM 2008: International Conference on Experimental Mechanics*, 2008, vol. 7375. doi: 10.1117/12.839311
4. Gotor R., Gaviña P., Costero A.M. Low-Cost, Portable Open-Source Gas Monitoring Device Based on Chemosensory Technology, *Measurement Science and Technology*, 2015, vol. 26, no. 8. doi: 10.1088/0957-0233/26/8/085103
5. Lebed N.I., Tokarev K.E. *Monitoring i otsenka produktivnosti agrofitotsenozov pri biotekhnicheskikh sposobakh razmnozheniya s ispol'zovaniyem sredstv tsifrovoy tsvetometri* [Monitoring and evaluation of the productivity of agrophytocenoses with biotechnical methods of reproduction using digital colorimetry tools], Russian Federation, 2022, Pat. 2022681596. (In Russ.)
6. Lebed N.I., Volkov I.V., Makarov A.M., Sharonov N.G., Kalinin Ya.V., Lebed M.B. *Sektsionnaya klimaticheskaya kamera dlya vyrashchivaniya rasteniy* [Sectional climatic chamber for growing plants], Russian Federation, 2022, Pat. 208958. (In Russ.)
7. Lebed N.I., Volkov I.V., Lebed M.B., Kalinin Ya.V. [Multi-sectional climatic chamber for accelerated production of cultivated plants under conditions of controlled parameters], *Izvestiya VolgGTU* [News of VolgSTU], 2021, no. 3(250), pp. 66-68. doi: 10.35211/1990-5297-2021-3-250-66-68 (In Russ., abstract in Eng.)

8. Lebed N.I., Tokarev K.Ye., Nekhoroshev D.D., Aksenov M.P. [Research and modeling of operating modes of the software and hardware complex of the microclimate system based on the programmable microcontroller ATmega 2560], *Transactions of the Tambov State Technical University*, 2022, vol. 28, no. 4, pp. 596-605. doi: 10.17277/vestnik.2022.04.pp.596-605 (In Russ., abstract in Eng.)

Simulation von Betriebsparametern des automatisierten Steuersystems der Anzeichen der Kontamination von Agrokulturen unter Bedingungen der klonalen Reproduktion durch digitale Farbmetriemethoden

Zusammenfassung: Es ist ein automatisiertes Modul zur Überwachung von Anzeichen der Pflanzenkontamination während der klonalen Mikrovermehrung mithilfe digitaler Kolorimetrie vorgeschlagen. Dabei sind die Kriterien für die Betriebsqualität des vorgeschlagenen Moduls berücksichtigt, insbesondere sind Faktoren ausgewählt, die die Effizienz des Systems beeinflussen. Die Bedingungen zur Bestimmung der Endwerte der Komponenten des additiven RGB-Farbmodells und der endgültigen tatsächlichen Farben sind analytisch begründet. Es ist eine Tabelle mit der Wahrheitsauslösung der Kontaminierungswarnung durch das Modul der Kontrolle der Kontaminationszeichen sowie eine logische Funktion in perfekter disjunktiver normaler Form entwickelt. Es ist ein Algorithmus zur automatisierten Kontrolle von Verunreinigungen im Nährmedium/Pflanzenobjekt (Abweichungen von den geregelten Indikatoren nach Farbmerkmalen) entwickelt.

Simulation des paramètres de fonctionnement du système automatisé de contrôle des signes de contamination des agro-cultures dans des conditions de reproduction clonale par des techniques de chromométrie numérique

Résumé: Est proposé un module automatisé de la surveillance des signes de contamination des plantes lors de la micro-multiplication clonale par chromométrie numérique. Sont examinés les critères de la qualité du module proposé, en particulier les facteurs qui influent sur l'efficacité du système. Sont analysées les conditions de la détermination des totaux des composantes du modèle RGB additif et des couleurs réelles correspondantes. Est élaborée le tableau de vérité de l'alerte d'identification de la contamination par le module de la surveillance des signes de contamination, ainsi qu'une fonction logique sous une forme normale disjointe parfaite. Est mis au point un algorithme pour le contrôle automatisé du contenu dans le milieu nutritif / végétal (écarts par rapport aux indicateurs réglementaires en fonction des caractéristiques de couleur).

Авторы: *Лебедь Никита Игоревич* – доктор технических наук, профессор кафедры «Электроснабжение и энергетические системы»; *Токарев Кирилл Евгеньевич* – кандидат экономических наук, доцент кафедры «Математическое моделирование и информатика»; *Ганич Дмитрий Сергеевич* – доктор технических наук, заведующий кафедрой «Электроснабжение и энергетические системы», ФГБОУ ВО «Волгоградский государственный аграрный университет», Волгоград, Россия.
