

Churakov Aleksey Aleksandrovich, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Construction Structures, Foundations and Reliability of Structures, Volgograd State Technical University (Russian Federation, Volgograd, 28 Lenin Avenue), e-mail: alexei.churakov@yandex.ru

Kamyshanova Lilia Vyacheslavovna, Senior Lecturer, Department of Linguistics and Intercultural Communication, Russian Academy of National Economy and Public Administration under the President of the Russian Federation (Russian Federation, Volgograd, Gagarina St., 8), e-mail: cot.milka@yandex.ru

DOI: 10.32786/2071-9485-2023-04-39

PROSPECTS FOR ROBOTIZATION OF THE PROCEDURE MICROCLONAL PROPAGATION OF PLANTS

N. S. Vorobeve¹, A. Kh. Gafiatullin², N. G. Sharonov^{2,3}, A. V. Maloletov^{2,3}

¹Volgograd State Agrarian University
Volgograd, Russian Federation

²Innopolis University
Innopolis, Tatarstan, Russian Federation

³Volgograd State Technical University
Volgograd, Russian Federation

Corresponding author E-mail: a.maloletov@innopolis.ru

Received 17.10.2023

Submitted 23.11.2023

The study was funded by the Russian Science Foundation (grant No. 22-29-01589, <https://rscf.ru/en/project/22-29-01589/>)

Summary

The paper presents the results of analysis of tasks arising in microclonal propagation of plants in vitro and proposes means of robotization of the laboratory. A robotic cell was developed to perform the procedure of microcropping and planting of cuttings in nutrient medium.

Abstract

Introduction. The procedure of microclonal propagation by in vitro microcutting requires a large amount of routine labor. An experienced laboratory technician can plant up to 700 microcuttings per shift. However, this work is very monotonous and, as a consequence, extremely tiring. In addition, fatigue makes people less attentive and they start making mistakes, which often lead to rejects – sterility violations and introduction of infections into the nutrient medium. As far back as 30 years ago, robotization of this procedure was sought. A number of known attempts at robotization have demonstrated the potential solvability of this problem, but have not led to the introduction of robotization tools in this industry, and until now these operations are still performed manually. **Object.** Robotic complex for maintenance of the laboratory on microclonal propagation of plants. **Materials and methods.** The research includes analyzing the requirements for robotization of a laboratory for microclonal plant propagation and developing a concept for robotization of such a laboratory. **Results and conclusions.** As a result of the analysis, the needs for robotic equipment in the laboratory of microclonal plant propagation were determined and the main provisions for robotization of the laboratory were formulated.

Key words: microclonal plant reproduction, in vitro, micropropagation, robotization, industrial robotic manipulators, delta robot.

Citation. Vorob'eva N. S., Gafiatullin A. Kh., Sharonov N. G., Maloletov A. V. Prospects of robotization of the procedure of microclonal propagation of plants. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2023. 4(72). 388-397 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2023-04-39.

Author's contribution. All authors of this research paper have directly participated in the planning, execution, or analysis of this study. All authors of this paper have read and approved the final version submitted.

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

УДК 633.11

**ПЕРСПЕКТИВЫ РОБОТИЗАЦИИ ПРОЦЕДУРЫ МИКРОКЛОНАЛЬНОГО
РАЗМНОЖЕНИЯ РАСТЕНИЙ****Н. С. Воробьева**¹, доктор технических наук, доцент**А. Х. Гафиятуллин**², старший инженер-исследователь**Н. Г. Шаронов**^{2,3}, кандидат технических наук, доцент**А. В. Малолетов**^{2,3}, доктор физико-математических наук, профессор¹ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ

г. Волгоград, Российская Федерация

²АНО ВО «Университет Иннополис»

г. Иннополис, Татарстан, Российская Федерация

³ФГБОУ ВО Волгоградский государственный технический университет

г. Волгоград, Российская Федерация

**Исследование выполнено при поддержке Российского научного фонда
(проект № 22-29-01589, <https://rscf.ru/project/22-29-01589/>)**

Актуальность. Процедура микрклонального размножения методом микрочеренкования *in vitro* требует большого объема рутинного труда. Опытный лаборант может осуществить высадку до 700 микрочеренков за смену. Однако эта работа является очень однообразной и, как следствие, исключительно утомительной. Кроме того, от усталости снижается внимательность, люди начинают допускать ошибки, которые часто приводят к браку – нарушению стерильности и занесению инфекций в питательную среду. Ещё 30 лет назад ставились задачи роботизации этой процедуры. Ряд известных попыток роботизации продемонстрировал потенциальную решаемость этой задачи, но не привел к внедрению средств роботизации в эту отрасль, и до сих пор эти операции выполняются вручную. **Объект.** Роботизированный комплекс для обслуживания лаборатории по микрклональному размножению растений. **Материалы и методы.** Исследования включают в себя анализ требований к роботизации лаборатории по микрклональному размножению растений и разработку концепта роботизации такой лаборатории. **Результаты и выводы.** В результате проведенного анализа были выявлены требования к робототехническому оборудованию лаборатории микрклонального размножения растений и разработаны основные положения роботизации лаборатории.

Ключевые слова: микрклональное размножение растений, *in vitro*, микрочеренкование, промышленные роботы-манипуляторы, дельта-робот.

Цитирование. Воробьева Н. С., Гафиятуллин А. Х., Шаронов Н. Г., Малолетов А. В. Перспективы роботизации процедуры микрклонального размножения растений. *Известия НВ АУК*. 2023. 4(72). 388-397. DOI: 10.32786/2071-9485-2023-04-39.

Авторский вклад. Все авторы настоящего исследования принимали непосредственное участие в планировании, выполнении или анализе данного исследования. Все авторы настоящей статьи ознакомились с представленным окончательным вариантом и одобрили его.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Введение. Микрклональное размножение является одним из наиболее перспективных и быстро развивающихся направлений в биотехнологии растений [1, 2, 3, 4]. Оно представляет собой процесс размножения растений *in vitro*, при котором из одного исходного растения можно получить большое количество генетически идентичных копий. Этот метод имеет огромное значение для сохранения чистоты культурной линии растений, а также для быстрого размножения ценных сортов и гибридов.

Актуальность темы обусловлена необходимостью изучения и совершенствования методов микрклонального размножения для решения широкого спектра задач в области растениеводства, селекции и защиты растений. В частности, развитие данной

технологии позволяет существенно сократить время на создание новых сортов, обеспечить высокий уровень защиты от болезней и вредителей, а также увеличить урожайность и качество продукции.

Наиболее популярный метод микроклонального размножения растений базируется на процедуре микрочеренкования и выращивания черенков в питательной среде. После получения тканей растений их помещают в специальную питательную среду, которая содержит все необходимые элементы для их роста и размножения. Эта среда состоит из воды, минеральных солей, витаминов, аминокислот и других биологически активных веществ. Как правило, питательная среда формируется на основе гелеобразователя, в качестве которого обычно применяется агар. Ткани растений помещаются в эту среду и выращиваются в специальных условиях, которые обеспечивают их быстрый рост и размножение. Сосудами для выращивания черенков служат лабораторные колбы разных форм и размеров.

Одним из важных аспектов микроклонального размножения является контроль условий выращивания тканей *in vitro* [5, 6]. Температура, влажность, освещение и другие факторы должны быть оптимальными для роста и размножения тканей. Также важно контролировать состав питательной среды и ее pH, чтобы обеспечить оптимальные условия для роста растений.

После того как растение подросло в питательной среде, его можно пересаживать в почву или использовать для получения новых растений. Этот процесс называется микроразмножением и позволяет получать большое количество идентичных растений из одного исходного образца.

Опытный лаборант может осуществить высадку до 700 микрочеренков за смену. Однако эта работа является очень однообразной и, как следствие, исключительно утомительной. Кроме того, от усталости снижается внимательность, люди начинают допускать ошибки, которые часто приводят к браку – нарушению стерильности и занесению инфекций в питательную среду.

Роботизация этого процесса может освободить людей от утомительной однообразной работы, а также увеличить производительность лабораторий, производящих посадочный материал.

В работе [7] ещё в начале 90-х годов прошлого века было сформулировано предположение, что для коммерциализации микроразмноженных саженцев во всем мире необходимо снизить себестоимость продукции на 90%, и сформулирован вывод, что только роботизация может привести к такому резкому снижению затрат.

Примерно в тот же период предпринимались первые попытки разработки роботизированных систем для микроклонального размножения [8], однако до настоящего времени задача остаётся нерешенной.

Целями настоящей работы являются анализ проблем, возникающих при роботизации поставленной задачи, и разработка принципов и концепций, ведущих к их устранению.

Материалы и методы. Микроклональное размножение растений – это метод размножения растений, при котором новое растение образуется из небольшой части родительского растения. Этот процесс включает в себя несколько этапов:

1) Выбор исходного растительного материала. Исходным материалом могут быть как целые растения, так и отдельные части растений, такие как стебли, листья или корни.

2) Стерилизация растительного материала. Это необходимо для того, чтобы уничтожить все бактерии и грибы, которые могут находиться на поверхности материала. Стерилизацию проводят химическим способом с помощью специальных растворов или газов.

3) Выращивание культур *in vitro*. На этом этапе растительный материал делится на малые части, которые, как правило, содержат только одну почку. Полученные части растений помещают в специальные питательные среды, где они начинают расти. Выращивание осуществляют в пробирках или колбах, вход в которые обычно затыкают ватной пробкой, обеспечивающей прохождение воздуха, но задерживающей микроорганизмы.

4) При необходимости этап выращивания неоднократно повторяется с использованием подросших растений в качестве исходного материала.

5) Адаптация растений к нестерильным условиям. После того как растения вырастают до определенного размера, их переносят в нестерильные условия, где они продолжают расти и развиваться. Обычно на этом этапе осуществляется высадка растений в почву в условиях лаборатории или теплицы с контролируемым микроклиматом.

6) Высадка растений. Подросшие растения высаживают в условия их дальнейшего произрастания и плодоношения: в теплицах или в открытом грунте.

Автоматизация или роботизация даже отдельных этапов или процедур может обеспечить значительный экономический эффект.

Очевидно, что выбор исходного растительного материала не может быть автоматизирован. Автоматизация процедуры стерилизации потенциально возможна, но вряд ли может быть эффективной. Стерилизации подвергается сразу большой объем биоматериала, и это не требует больших трудозатрат. Поэтому более целесообразным будет выполнять эту процедуру вручную. Кроме того, на этапе стерилизации обычно дополнительно контролируется качество исходного материала и отбраковываются образцы, имеющие небольшие дефекты и прошедшие этап выбора исходного материала.

Наиболее перспективным направлением для роботизации представляются процедуры выращивания растений *in vitro* и пересадки растений в почву в лабораторных условиях. Таким образом, роботы могут выполнять следующие операции:

- микрочеренкование – разрезание исходного черенка на части;
- помещение микрочеренков в пробирку или колбу с питательным раствором;
- закрытие входа в пробирку ватной пробкой;
- открытие пробирки - извлечение пробки;
- извлечение подросшего черенка из пробирки или колбы.

Высадка растений в условиях теплицы или в открытом грунте, в свою очередь, может быть роботизирована, и известно достаточно много разработок в этой области [9, 10].

В Центре компетенций НТИ по направлению «Технологии компонентов робототехники и мехатроники» в Университете Иннополис при участии членов Консорциума Центра накоплен значительный опыт по разработке средств роботизации лабораторного оборудования, в том числе с применением систем технического зрения и манипулирования гибкими, податливыми и деликатными объектами [11]. Например, на рисунках 1 и 2 показаны разработки гибридных роботов для химических лабораторий. В данном случае гибридные роботы представляют собой мобильную платформу, на которой установлен промышленный или коллаборативный робот-манипулятор.

Мобильная платформа робота, показанного на рисунке 1, позволяет перемещать манипулятор в пределах лаборатории от одного рабочего места к другому, выполняя в автоматическом режиме различные работы по смешиванию и добавлению реагентов. Манипулятор снабжён универсальным захватом, позволяющим надёжно фиксировать пробирки, колбы и другие предметы стеклянной посуды или инструментов. Система технического зрения на базе стационарных камер применяется для контроля над положением предметов лабораторной посуды и инструментов и для первичного анализа результатов реакции, например, по изменению цвета реагентов.



Рисунок 1 – Гибридный робот, разработанный для обслуживания нескольких рабочих мест в лаборатории

Figure 1 – Hybrid robot designed to serve multiple workstations in a laboratory

Робот, показанный на рисунке 2, также предназначен для работы на различных рабочих местах в лаборатории и отличается тем, что на мобильной платформе предусмотрено размещение контейнера с лабораторной посудой, что позволяет роботу перемещать в пределах лаборатории исследуемые образцы. В этом роботе используется манипулятор коллаборативного типа, что допускает нахождение людей в рабочей зоне робота и их совместную работу. Одним из основных недостатков применения робота такого типа является относительно невысокая скорость его работы, что приемлемо при работе с десятками образцов, но нецелесообразно, если количество образцов измеряется сотнями. Помимо стационарных камер используется также камера, установленная на манипуляторе непосредственно перед эндеффектором, необходимость которой связана с потребностью выполнять манипуляции с размещёнными на платформе образцами независимо от позиции робота относительно стационарных рабочих мест.

Для захвата стеклянной посуды и других деликатных объектов используются захваты с упруго-деформируемыми пальцами. Однако такие захваты обладают существенными ограничениями на размеры объектов, которые они способны захватить и зависимостью усилий для удержания объекта от его размеров. Надёжное удержание удаётся обеспечивать фактически только в узком диапазоне размеров объектов, соответствующем размерам конкретного захвата.

1. Более универсальным решением является использование адаптивных захватов [12]. Схема одного из возможных вариантов адаптивного захвата, разработанная консорциумом Центра, показана на рисунке 3. В основе предлагаемой конструкции адаптивного захвата лежит мехатронный узел с телами качения и упругими связями. Получаемая гибкость конструкции даёт возможность подобному рабочему элементу подстраиваться под размер и форму объектов. Захват способен менять площадь соприкосновения и усилие удержания объектов в соответствии с требованиями технологического процесса и условиями безопасности, в том числе в кооперации с человеком. Важнейшей технологической характеристикой является способность схватывать хрупкие и легко деформируемые объекты сложной конфигурации. Пальцы захватного устройства приводятся в действие сервоприводом. Изгибающее усилие передается через систему тросов на шарниры двойного действия [13] (см. также патент на полезную модель № 212867 U1 РФ Реконфигурируемый

узел / А. В. Ивченко, М. Ю. Ветлицын, Н. Г. Шаронов). При повороте сервопривода на заданный угол изменяется соотношение длин верхней и нижней части узла, что влияет на расположение шарниров относительно оси рабочего элемента. Перемещение и поворот шарниров приводит к сгибанию пальцев захвата.



Рисунок 2 – Гибридный робот на базе коллаборативного манипулятора, разработанный для перемещения образцов в пределах лаборатории

Figure 2 – Hybrid robot based on a collaborative manipulator designed to move samples within a laboratory

Роботизация лаборатории микрোকлонального размножения растений возможна на базе промышленных или коллаборативных роботов-манипуляторов последовательной структуры. Однако проведенный анализ потребностей такой лаборатории показал некоторое несоответствие возможностей таких роботов потребностям лаборатории. Роботы-манипуляторы имеют высокую точность – порядка 0,05-0,1 мм и обладают относительно высокой грузоподъемностью – от нескольких килограммов, что излишне для манипуляций с частями растений. С другой стороны, такого типа роботы имеют относительно высокую собственную массу и, как следствие, либо невысокую скорость движения, либо большое энергопотребление.

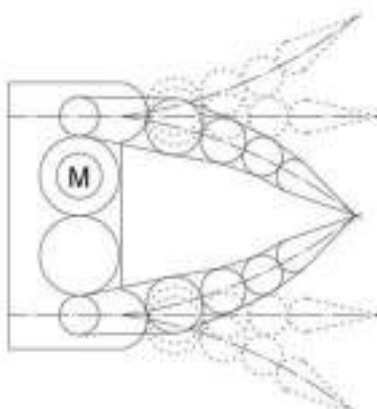


Рисунок 3 – Схема адаптивного захвата на базе шарниров двойного действия

Figure 3 – Schematic diagram of the adaptive gripper based on double-acting joints

В исследовании рассматривалась также возможность применения для задачи микроклонирования аналогов медицинских роботов-хирургов. Такие роботы обладают большим количеством специализированных манипуляторов с инструментами (рисунок 4), предназначенными для точного манипулирования биологическими тканями. Преимуществами такого типа роботов являются то, что они изначально создаются для работы в стерильных условиях и их инструменты идеально подходят для разнообразных типов работы с биологическими материалами. Медицинские роботы-хирурги имеют до 10 и более манипуляторов с различными хирургическими инструментами. Для задачи микроклонирования такое количество является избыточным. Анализ процедуры микрочеренкования показывает, что роботу подобного требуется три инструмента: захват для перемещения и фиксации черенков, захват для перемещения микрочеренков в пробирку, скальпель. Потенциально возможна разработка упрощённого варианта подобного робота с тремя указанными манипуляторами. Схема работы такого робота была максимально приближена к тому, как эту процедуру выполняет человек. Однако такой подход потребовал бы разработки дополнительного приспособления для фиксации пробирок под углом, удобном для манипуляторов робота-хирурга, поскольку они обладают значительными ограничениями по углам ориентации. Но основные недостатки такого типа роботов для использования в лаборатории микроклонального размножения – это невысокое быстродействие при очень высокой стоимости.

Среди всех известных типов роботов-манипуляторов наиболее целесообразным представляется применение параллельных дельта-роботов. Такого типа роботы обладают небольшой массой собственных звеньев и при небольшой массе перемещаемых объектов могут обеспечить очень высокую скорость движения при высокой точности позиционирования и относительно небольшом энергопотреблении.

Результаты и обсуждение. В результате проведённого исследования была разработана концепция роботизированной ячейки на базе параллельных дельта-роботов (рисунок 4). Ячейка представляет собой бокс, в котором поддерживается избыточное давление воздуха, что исключает попадание микроорганизмов из воздуха в помещении.

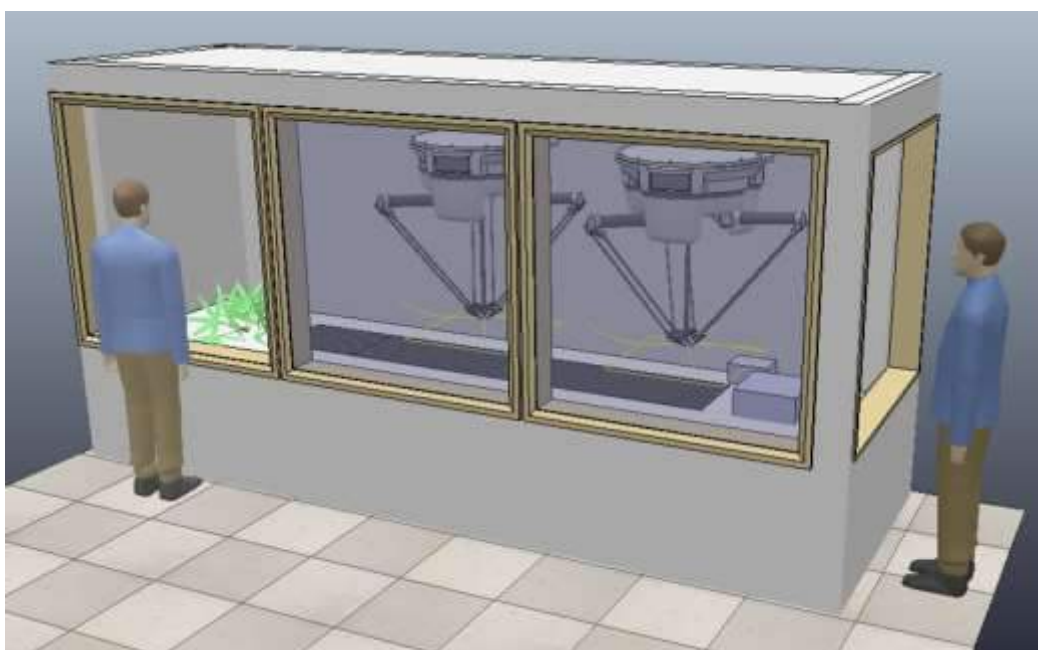


Рисунок 4 – Схема роботизированной ячейки для лаборатории микроклонального размножения растений

Figure 4 – Schematic diagram of the robotic cell for the laboratory of microclonal plant propagation

С левой стороны установки предусмотрено рабочее пространство для лаборанта, в котором он осуществляет подготовительную операцию – химическую стерилизацию исходного материала. Обработанные черенки лаборант выкладывает на ленту конвейера, который доставляет материал в рабочую зону первого робота.

В рабочей зоне первого робота система технического зрения на базе установленной на потолке боса камеры выполняет съёмку и анализ расположения черенков на ленте, а также анализ расположения почек на черенке. Первый робот снабжён инструментом для разрезания с фиксаторами черенка во избежание его смещения во время резания. Таким образом, осуществляется нарезка отдельно лежащих на ленте черенков. В случае если некоторые черенки лежат перекрывая друг друга, предусматривается процедура сдвига черенков относительно друг друга, которая реализуется боковыми сторонами того же инструмента.

Нарезанные микрочеренки по ленте конвейера поступают в рабочую зону второго робота, где также устанавливается камера системы технического зрения. Второй робот захватывает микрочеренок и помещает его в пробирку или колбу с питательным раствором. Следующей операцией второй робот захватывает ватную пробку и помещает её во вход пробирки или колбы.

Контейнеры со стерильными ватными пробками и пробирками с питательным раствором подаёт лаборант через окно в правой части установки. Он же извлекает пустой контейнер для ватных пробок и контейнер с пробирками с высаженным материалом для помещения последнего в фитотрон.

Система технического зрения определяет факт наличия исходного материала, контейнеров с пробирками и пробками, автоматически выключая роботов в случае отсутствия необходимых условий для работы.

В случае, когда в качестве исходного материала используются подросшие растения, установка переключается в реверсный режим работы. Левое окно закрывается, а через правое окно подаётся контейнер с подросшими растениями. Второй робот извлекает ватную пробку, затем извлекает растение и укладывает его на ленту конвейера. После укладки всех растений конвейер включается в обратную сторону и перемещает материал в рабочую зону первого робота. Дальнейшая обработка происходит в соответствии с вышеописанным алгоритмом: первый робот нарезает микрочеренки, конвейер перемещает их в зону работы второго робота, второй робот высаживает их в новые пробирки.

Оценка скорости работы дельта-роботов с учётом опыта по установке подобных систем позволяет прогнозировать реальную производительность такой установки до 600 высаженных клонов в час, что почти в 7 раз больше, чем результат работы человека-лаборанта. При этом сотрудник выполняет менее однообразную работу, которая требует существенно меньшей концентрации внимания, а также существенно уменьшается влияние человеческого фактора на качество посадки.

Для бесперебойной работы роботизированной ячейки с максимальной расчётной производительностью необходимо задействовать двух лаборантов. В таком режиме работы лаборанты занимаются непосредственно работой с ячейкой порядка 60 % своего рабочего времени и могут параллельно контролировать работу другого оборудования в лаборатории. При обслуживании ячейки только одним лаборантом вероятно снижение общей производительности на 10-15 % от расчётных значений из-за повышенной нагрузки на лаборанта.

Заключение. Полная замена человека-лаборанта в лаборатории микроклонального размножения растений невозможна. Только человек может обеспечить выбор исходного материала необходимого качества, только человек может проконтролировать процесс размножения на всех этапах и, наконец, только человеку под силу ставить и решать организационные задачи. Однако облегчить труд, переложив рутинные операции на роботов, можно и нужно.

В работе представлены результаты анализа задач, возникающих при микроклональном размножении растений *in vitro*, и предложены средства роботизации лаборатории. Разработан проект роботизированной ячейки для выполнения процедуры микрочеренкования и высадки черенков в питательную среду. Выполнен анализ и произведены расчёты скорости работы роботов, показавшие, что производительность лаборатории микроклонального размножения растений в случае внедрения средств роботизации может возрасти в 7 раз. При этом на конечный экономический и социальный эффект существенное положительное влияние окажет снижение нагрузки на людей, работающих с роботизированной лабораторией.

Conclusions. It is impossible to completely replace a human lab technician in the laboratory of microclonal plant propagation. Only a human can ensure the selection of source material of the required quality, only a human can control the propagation process at all stages and, finally, only a human can set and solve organizational tasks. However, it is possible and necessary to facilitate labor by transferring routine operations to robots.

The paper presents the results of analysis of tasks arising in microclonal propagation of plants *in vitro* and suggests means of robotization of the laboratory. A robotic cell was developed to perform the procedure of micro-fertilization and planting of cuttings in nutrient medium. The analysis and calculations of the robots' work speed were made, which showed that the productivity of the laboratory of microclonal plant propagation in case of implementation of robotization means can increase 7 times. At the same time, the final economic and social effect will be significantly influenced by the reduction of the load on people working with the robotized laboratory.

Библиографический список

1. Демидчик В. В., Черныш М. А., Дитченко Т. И. и др. Микроклональное размножение растений. Наука и инновации. 2019. № 6 (196). С. 4-11.
2. Borovaya S. A., Boginskaya N. G. Regenerative ability and micropropagation of *Petunia hybrida* *in vitro*. Vegetable Crops of Russia. 2022. No. 6. Pp. 24-28.
3. Каримова В. К., Магзумова Г. К., Есимсеитова А. К., Какимжанова А. А. Микроклональное размножение *Spiraea Japonica* для озеленения. Eurasian Journal of Applied Biotechnology. 2021. № 3. С. 34-42.
4. Gafitskaya I. V. et al. Microclonal propagation of *dasiphora fruticosa* (Rosaceae). Botanica Pacifica. 2020. V. 9. №. 1. Pp. 85-90.
5. Admas A. et al. Develop Micro clonal-propagation protocol for *Oxytenanthera abyssinica* A. Rich. Munro to large scale micro-propagation. BioRxiv. 2020. P. 2020.04. 28.063883.
6. Kakimzhanova A. A. et al. Optimization of microclonal propagation conditions for increasing the multiplication factor of poplar microshoots. 2019.
7. Kozai T. Photoautotrophic micropropagation. In Vitro Cell Dev Biol Plant. 1991. No 27. Pp. 47-51.
8. Brown F. R. Robotics and Image Analysis Applied to Micropropagation. Transplant Production Systems. Springer, Dordrecht. 1992. https://doi.org/10.1007/978-94-011-2785-1_15
9. Khadatkhar A., Pandirwar A. P., Paradkar V. Design, development and application of a compact robotic transplanter with automatic seedling picking mechanism for plug-type seedlings. Scientific Reports. 2023. V. 13. №. 1. P. 1883.
10. Wang B. et al. G-ROBOT: An intelligent greenhouse seedling height inspection robot. Journal of Robotics. 2022. V. 2022.
11. Almaghout K., Klimchik A. S. Vision-Based Robotic Comanipulation for Deforming Cables. Russian Journal of Nonlinear Dynamics. 2022. Vol. 18. No. 5. Pp. 843-858.
12. Макарова Е. А., Ветлицын М. Ю., Шаронов Н. Г. Адаптивные захваты робототехнических систем. Известия Волгоградского государственного технического университета. 2023. № 4 (275). С. 57-63.
13. Ivchenko A. V., Sharonov N., Ziatdinov R. New conceptual design of the adaptive compliant aircraft wing frame. / A. V. Ivchenko, // Engineering Science and Technology, an International Journal. 2019. Vol. 22. No 5. Pp. 1149-1154.

References

1. Demidchik V. V., Chernysh M. A., Dietchenko T. I., etc. Microclonal plant reproduction. Science and innovation. 2019. № 6 (196). Pp. 4-11.

2. Borovaya S. A., Boginskaya N. G. Regenerative ability and micropropagation of *Petunia hybrida* in vitro. *Vegetable Crops of Russia*. 2022. No. 6. Pp. 24-28.
3. Karimova V. K., Magzumova G. K., Yesimseitova A. K., Kakimzhanova A. A. *Spiraea Japonica* microclonal reproduction for landscaping. *Eurasian Journal of Applied Biotechnology*. 2021. № 3. Pp. 34-42.
4. Gafitskaya I. V. et al. Microclonal propagation of *dasiphora fruticosa* (Rosaceae). *Botanica Pacifica*. 2020. V. 9. №. 1. Pp. 85-90.
5. Admas A. et al. Develop Micro clonal-propagation protocol for *Oxytenanthera abyssinica* A. Rich. Munro to large scale micro-propagation. *BioRxiv*. 2020. P. 2020.04. 28.063883.
6. Kakimzhanova A. A. et al. Optimization of microclonal propagation conditions for increasing the multiplication factor of poplar microshoots. 2019.
7. Kozai T. Photoautotrophic micropropagation. *In Vitro Cell Dev Biol Plant*. 1991. No 27. Pp. 47-51.
8. Brown F. R. Robotics and Image Analysis Applied to Micropropagation. *Transplant Production Systems*. Springer, Dordrecht. 1992. https://doi.org/10.1007/978-94-011-2785-1_15
9. Khadatkar A., Pandirwar A. P., Paradkar V. Design, development and application of a compact robotic transplanter with automatic seedling picking mechanism for plug-type seedlings. *Scientific Reports*. 2023. V. 13. №. 1. P. 1883.
10. Wang B. et al. G-ROBOT: An intelligent greenhouse seedling height inspection robot. *Journal of Robotics*. 2022. V. 2022.
11. Almaghout K., Klimchik A. S. Vision-Based Robotic Comanipulation for Deforming Cables. *Russian Journal of Nonlinear Dynamics*. 2022. Vol. 18. No. 5. Pp. 843-858.
12. Makarova E. A., Vetlitsyn M. Yu., Sharonov N. G. Adaptive grips of robotic systems. *News of Volgograd State Technical University*. 2023. № 4 (275). Pp. 57-63.
13. Ivchenko A. V., Sharonov N., Ziatdinov R. New conceptual design of the adaptive compliant aircraft wing frame. / A. V. Ivchenko, // *Engineering Science and Technology, an International Journal*. 2019. Vol. 22. No 5. Pp. 1149-1154.

Информация об авторах

Воробьева Наталья Сергеевна, доктор технических наук, доцент, заведующий кафедрой «Механика», ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ (Российская Федерация, 400002, г. Волгоград, проспект Университетский, д. 26), e-mail: vgsxa@mail.ru

Гафиятуллин Айрат Халимович, старший инженер-исследователь Центра технологий компонентов робототехники и мехатроники, АНО ВО «Университет Иннополис» (Российская Федерация, 420500, Татарстан, г. Иннополис, Университетская ул., д. 1), e-mail: a.gafiatullin@innopolis.ru

Шаронов Николай Геннадьевич, кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой «Динамика и прочность машин», ФГБОУ ВО «Волгоградский государственный технический университет» (Российская Федерация, 400005, г. Волгоград, пр. Ленина, д. 28), e-mail: pochta0012@mail.ru

Малолетов Александр Васильевич, доктор физико-математических наук, доцент, научный руководитель Центра технологий компонентов робототехники и мехатроники, профессор, АНО ВО «Университет Иннополис» (Российская Федерация, 420500, Татарстан, г. Иннополис, Университетская ул., д. 1), e-mail: a.maloletov@innopolis.ru

Author's Information

Vorobyova Natalya Sergeevna, Doctor of Engineering Sciences, Associate Professor, Head of the Department of Mechanics, Volgograd State Agrarian University (Russian Federation, 400002, Volgograd, pr. Universitetskiy, d. 26), e-mail: vgsxa@mail.ru

Gafiyatullin Airat Khalimovich, Senior Research Engineer, Center for Robotics and Mechatronics Component Technologies, Innopolis University (Russian Federation, 420500, Tatarstan, Innopolis, Universitetskaya str., 1), e-mail: a.gafiatullin@innopolis.ru

Sharonov Nikolai Gennadievich, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor, Head of the Department of Dynamics and Strength of Machines, Volgograd State Technical University (Russian Federation, 400005, Volgograd, pr. Lenina, 28), e-mail: pochta0012@mail.ru

Maloletov Aleksander Vasilievich, Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor, Scientific Director of the Center for Technologies of Robotics and Mechatronics Components, Professor, Innopolis University (Russian Federation, 420500, Tatarstan, Innopolis, Universitetskaya St., 1), e-mail: a.maloletov@innopolis.ru