

РАЗРАБОТКА ИМПОРТОЗАМЕЩАЮЩЕГО ОБОРУДОВАНИЯ ТОЧНОГО ВЫСЕВА СЕМЯН ДЛЯ ВЫРАЩИВАНИЯ СЕЯНЦЕВ С ЗАКРЫТОЙ КОРНЕВОЙ СИСТЕМОЙ

А. Г. Авдеев, Е. В. Авдеева

Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М. Ф. Решетнева
Российская Федерация, 660037, г. Красноярск, просп. им. газеты «Красноярский рабочий», 31

Аннотация. В настоящее время перспективным направлением является выращивание посадочного материала с закрытой корневой системой (ПМЗКС) и использование его для создания лесных культур. Современные технологии выращивания сеянцев с закрытой корневой системой позволяют в 10–20 раз экономить семена хвойных пород, по сравнению с посевом в открытый грунт. При выращивании посадочного материала по данной технологии основными актуальными направлениями являются: точный высев семян, эффективное использование пленочных теплиц, технологии и оборудование посева семян и ухода за сеянцами, рациональное использования семян, механизации процесса посадки лесных культур и дальнейшего ухода за ними. Основным устройством данного комплекса является оборудование для посева семян. В статье представлен аналитический обзор существующих аналогов сеялок для высева семян в кассеты. Принцип работы сеялки заключается в использовании вакуумного захвата семян, для надежного захвата одного семени в точке захвата в полой валу в точках захвата семян выполнены сквозные отверстия, которые способны захватить посредством разряжения внутри вала только по одному семени, что снижает вероятность случайного захвата двух и более семян и обеспечить при посеве заданное количество семян в каждой лунке. При сбросе семян из точек захвата вала в сборщик семян с распределительными трубками вакуум, удерживающий семена, сменяется на избыточное давление, которое позволяет сбросить семена и продуть отверстия захвата в валу. В статье представлена 3Д-Модель сеялки в сборе и 3Д-Модели отдельных устройств, экспериментальный образец устройства точного высева семян, Блок управления устройством точного высева семян. По результатам проведенной работы определена конструкция и оптимальные параметры устройства точного высева семян в кассеты для выращивания сеянцев с ЗКС, минимизировано потребление сжатого воздуха, увеличена скорость работы – один цикл посева за 3 секунды, что позволяет достичь производительность линии до 1200 кассет в час (100 тыс. семян в час), что превышает зарубежные и отечественные аналоги.

Ключевые слова: закрытая корневая система, Красноярск, лесоразведение, устройство точного высева семян.

Conifers of the boreal area. 2025, Vol. XLIII, No. 4, P. 56–63

DEVELOPMENT OF IMPORT-SUBSTITUTING EQUIPMENT FOR PRECISE SEEDING FOR GROWING SEEDLINGS WITH A CLOSED ROOT SYSTEM

A. G. Avdeev, E. V. Avdeeva

Reshetnev Siberian State University of Science and Technology
31, Krasnoyarskii rabochii prospekt, Krasnoyarsk, 660037, Russian Federation

Annotation. At present, a promising direction is the cultivation of planting material with a closed root system (PMCRS) and its use to create forest crops. Modern technologies for growing seedlings with a closed root system allow saving coniferous seeds by 10–20 times compared to sowing in open ground. When using this technology for growing planting material, the main current trends are: precise sowing of seeds, efficient use of film greenhouses, technologies and equipment for sowing seeds and caring for seedlings, rational use of seeds, mechanization of the process of planting forest crops and further care for them. The main device of this complex is the equipment for sowing seeds. The article presents an analytical review of existing analogues of seeders for sowing seeds in cassettes. The principle of operation of the seeder is to use a vacuum seed capture. For reliable capture of one seed at the capture point in the hollow shaft, the holes are made at the seed capture points. They are able to capture only one seed by vacuum inside the shaft. That reduces the likelihood of accidental capture of two or more seeds and ensure the sowing of a given number of seeds in each well. When seed is dropped from the gripper points of the shaft into the Seed Collector with Distribution Tubes, the vacuum holding the seed is replaced by positive pressure, which allows the seed to be released and the gripper holes in the shaft to be blown out. The article presents a 3D Model of the complete seeder and 3D Models of individual devices, an experimental sample of the precision seeding device, a control unit for the precision seeding device. Based on the results of the work carried out, the design and optimal parameters of the device for precise seeding of seeds in cassettes for growing seedlings with CRS

were determined, compressed air consumption was minimized, and the operating speed was increased (one sowing cycle in 3 seconds) which makes it possible to achieve a line capacity of up to 1200 cassettes per hour (100 thousand seeds per hour), which exceeds foreign and domestic analogues.

Keywords: closed root system, Krasnoyarsk, afforestation, precision seeding device.

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время перспективным направлением является выращивание посадочного материала с закрытой корневой системой (ПМЗКС) и использование его для создания лесных культур. Теория и практика производства посадочного материала с закрытой корневой системой постоянно совершенствуются как зарубежными, так и Российскими специалистами. Государственная программа Красноярского края «Охрана окружающей среды, воспроизводство природных ресурсов», утвержденная постановлением Правительства Красноярского края от 30.09.2019 № 512-п направлена на повышение качества среды, в том числе за счет совершенствования технологий по искусственному лесовосстановлению [1; 5; 6; 7; 8]. Современные технологии выращивания сеянцев с закрытой корневой системой позволяют в 10–20 раз экономить семена хвойных пород, по сравнению с посевом в открытый грунт. При выращивании посадочного материала по данной технологии (ЗКС) основными актуальными направлениями являются: точный высев семян, эффективное использование пленочных теплиц, технологии и оборудование посева семян и ухода за сеянцами, рациональное использования семян, механизации процесса посадки лесных культур и дальнейшего ухода за ними. При этом в России при выращивании сеянцев с ЗКС в основном используется импортное оборудование. Таким образом, одним из инновационных решений данной проблемы является разработка и внедрение импортозамещающего комплекса оборудования точного высева семян для выращивания сеянцев с закрытой корневой системой в

модульных теплицах параметры конструкции которых, оптимизированы под природно-климатические условия лесничеств Красноярского края с возможностью их адаптации к условиям других регионов России. Основным устройством данного комплекса является оборудование для посева семян. Далее представлен аналитический обзор существующих аналогов сеялок для высева семян в кассеты [9; 10].

Пневматическая рядная сеялка Mosa SP13A.

Сеялка является полуавтоматическим самостоятельным механизмом и предназначена для высева семян в различные кассеты (рис. 1). Особенностью сеялки является возможность работы без электрической сети, только от сжатого воздуха. Высевающее устройство состоит из лункообразователя, насадок под определенный вид кассеты, сопел для забора и высева семян [2]. Сеялка производит забор семян из углублений для семян в столике. Объем углублений мал для обеспечения работы сеялки без оператора, необходимо следить за наличием семян. Сеялка производит высев только одного ряда кассеты, технические характеристики приведены в табл. 1, габаритные размеры представлены на рис. 2.

Полуавтоматическая сеялка SIDTECH SSM.

Сеялка представлена на рис. 3. Вид на механизм высева семян представлен на рис. 4. Устройство для посева семян в кассету SSM может применяться в производствах различного типа, таких как: тепличный комбинат, теплица, рассадный комплекс или питомник растений. Машина используется для рядного посева семян в кассеты. Технические характеристики сеялки представлены в табл. 2.



Рис. 1. Общий вид сеялки Mosa SP13A

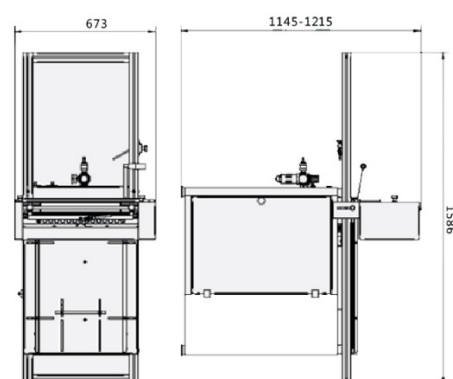


Рис. 2. Габаритные размеры сеялки

Таблица 1
Технические характеристики сеялки Mosa SP13A

Наименование	Показатель
Масса, кг	80
Габариты, мм	1586×673×1215
Скорость высева, ряд/мин	30
Потребление воздуха, л/мин	100
Макс. размер кассеты, мм	720×480×130

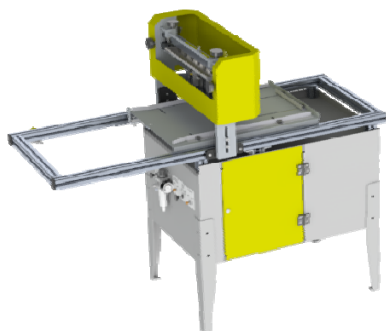


Рис. 3. Полуавтоматическая сеялка SIDTECH SSM



Рис. 4. Вид на механизм высева семян

Таблица 2

Технические характеристики сеялки SIDTECH SSM

Наименование	Показатель
Масса, кг.	70
Габариты, мм.	1420×675×1200
Скорость высева, ряд/мин.	30
Потребление воздуха, л/мин.	100
Макс. размер кассеты, мм.	600×400×130
Рабочее давление, бар.	6
Время среднего цикла посева одного ряда, сек	1,5–2

Преимущества: работает с дражированными и не дражированными семенами; существует возможность использовать кассеты разного размера; функция продувки сопел; функция отключения захвата семян [3]. Недостатки посевного устройства: возможность засева только одного ряда кассеты; необходимо следить за наличием семян в углублении для них.

Установка точного высева ВСС. Сеялка точного высева не является ни барабанной ни иглочной сеялкой, представлена на рис. 5. Поскольку сеялка точного высева действует без форсунок и иголок, она не требует частой очистки [4]. Принцип действия установки точного высева основан на силе тяжести, что обеспечивает высокую надежность и простоту обслуживания. Высевающий узел обычно состоит из двух головок (возможно 4). Семена помещаются в приемные лотки, стоящие перед вибропанелями. За счет вибрации семена подаются по канавкам на вращающиеся вальцы (рис. 6).

Во время высева валец захватывает одно семя для помещения его в ячейку. Когда кассета ставится в исходное положение, валец поворачивается на 180° и сбрасывает семена в трубки. Трубки крепятся к высевающей пластине, снабженной высевающими форсунками. Пластина опускается на кассету, и в центр каждой ячейки падает одно семя. Пластина поднимается в исходное положение, высевающие форсунки извлекаются из ячеек кассеты. Во время движения семян к вальцам провалившиеся мимо канавок семена собираются в контейнеры под вибропанелями. Данные семена вручную или автоматически возвращаются в приемные лотки. Для семян разных размеров и форм используются разные канавки и трубки. В зависимости от качества семян возможен высев одного, двух и трех семян. Для более крупных кассет также возможна дополнительная остановка под высевающей головкой [11]. Технические характеристики сеялки представлены в табл. 3.



Рис. 5. Установка точного высева ВСС



Рис. 6. Вид на механизм высева семян

Таблица 3
Технические характеристики сеялки SIDTECH SSM

Наименование	Показатель
Масса, кг.	65
Габариты, мм.	770×600×1620
Скорость высева, кассет/мин.	18
Потребление воздуха, л/мин.	100
Рабочее давление, бар.	6

Преимущества посевного оборудования: точное помещение одного семени в центр каждой ячейки кассеты; быстрое и надежное функционирование в ходе высева за счет принципа действия, основанного на силе тяжести; работа с семенами широкого спектра размеров (1–11 мм) и форм, включая гранулированные семена; возможен высев одного, двух и трех семян; совместимость с разными типами кассет; требует минимума техобслуживания [4].

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Целью исследования является разработка устройства точного высева семян для выращивания сеянцев с закрытой корневой системой. Задачи научно-исследовательской работы: теоретическое обоснование, аналитические и экспериментальные исследования конструктивных и кинематических параметров, электрической схемы и программы управления устройства точного высева семян (УТВ); обоснование режимов работы УТВ, изготовление экспериментального образца [11; 12; 13; 14]. Оптимизация режимов работы УТВ: производительности посева семян (шт./ч), вибрационных характеристик элемента подачи семян к барабану захвата семян, сечений отверстий захвата семян на барабане, давления разряжения/сжатия в барабане и его угловой скорости поворота (рад./с); доработка конструкции на основании результатов лабораторных и производственных испытаний, корректировка конструкторской документации; изготовление опытного образца.

За основу конструкции устройства точного высева взята компоновка сеялки шведской компании ВСС АВ. Подача семян на вибростол производится из бункера, количество семян регулируется зазором между бункером и вибросолом. За счет вибрации наклонного стола между направляющими на столе производится выстраивание семян в последовательные цепочки к точкам захвата семян поворотным валом.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Спроектированное устройство точного высева семян рассчитана для использования в тепличных комплексах для выращивания сеянцев с закрытой корневой системой. Конструкция сеялки позволяет, засеивать три ряда кассеты Плантек 81Ф размерами 9×9 ячеек, общий размер кассеты 385×385 мм, или отечественных кассет РКЛ-81 производства ООО «АГРО-ПЛАСТ», Татарстан. Предполагается использование кассет других конфигураций отечественных производителей с количеством ячеек 100 (10×10 ячеек) и 121 (11×11 ячеек), при смене оснастки сеялки. При проектировании сеялки, в расчет бралась возможность

установки на линии точного высева трех сеялок последовательно на одно, или на два кассета-места для одновременного высева семян в кассету размером РКЛ-81 (9×9) ячеек, или РКЛ-100 (10×10), или РКЛ-121 (11×11). Для надежного захвата одного семени в точке захвата в полой валу в точках захвата семян выполнены сквозные отверстия диаметром 0,35 мм, которые способны захватить посредством разряжения внутри вала только по одному семени, что снижает вероятность случайного захвата двух и более семян и обеспечить при посеве заданное количество семян в каждой лунке. При сбросе семян из точек захвата вала в сборщик семян с распределительными трубками вакуум, удерживающий семена, сменяется на избыточное давление, которое позволяет сбросить семена и продуть отверстия захвата в валу.

Принцип работы сеялки заключается в использовании вакуумного захвата семян. Рабочий орган представляет собой полый вал с выполненными в нем отверстиями для захвата семян (рис. 7). Вал представляет собой полую трубу с последовательным рядом 27 отверстий диаметром 0,35 мм для захвата семян с помощью разряжения внутри трубы для одновременного засева трех рядов по девять ячеек, или соответственно 30 и 33 отверстия для засева в кассеты 10×10 и 11×11. С торцов трубы закреплены ступицы, одна из которых является заглушкой и имеет посадку под радиальный подшипниковый узел, закрепленный к корпусу сеялки, обеспечивающий радиальную и осевую фиксацию вала. Сквозь крышку вал выведен наружу для крепления зубчатого шкива ременной передачи, через которую передается крутящий момент от шагового двигателя к валу, являющегося рабочим органом сеялки. Другая ступица с противоположного конца вала представляет собой полый вал со сквозным отверстием вдоль оси с посадкой под подшипник скольжения из фторопластовой втулки, которая осуществляет радиальную фиксацию вала и герметизацию узла. Через сообщающиеся последовательные отверстия в ступице и в опорной крышке осуществляется подача разряжения/ избыточного давления воздуха через систему пневматических клапанов внутрь полого вала с отверстиями захвата семян. Подшипник скольжения запрессован в опорную крышку с резьбовым выходным отверстием для подключения пневматического шланга, идущего от пневматического клапана (пневмораспределителя). Опорная крышка закреплена к противоположной опоре сеялки.

После захвата семян, вал поворачивается на 180° к сборщику, в это время сбрасывается вакуум внутри полого вала, подается избыточное давление, семена падают в отверстия сборщика и по распределяющим трубкам опускаются вниз к трем рядам выходных

трубок, попадая в подвижные сопла (дозаторы) (рис. 8). В сеялке от сборщика идет три вида трубок: прямые, загнутые под 25° и 35°.

Подача семян в область захвата валом осуществляется с помощью вибростол с разделителями, формирующими последовательную подачу семян друг за другом к отверстиям в рабочем органе (рис. 9). Вибрация стола осуществляется при помощи электромагнита, закрепленного на пластине под столом, на который подается электрический сигнал с регулируемой

частотой и амплитудой для выбора наиболее эффективного режима для конкретного вида семян. Стол наклонен на 7° для осуществления скатывания семян. На стол семена поступают из бункера, закрепленного выше с зазором между столом и бункером (рис. 10). Предусмотрена возможность регулировки зазора. В момент падения семян по трубкам осуществляется опускание пластины с дозаторами к лункам в кассете. Опускание и фиксация пластины осуществляется с помощью двух пневмоцилиндров (рис. 11) [13; 14].



Рис. 7. 3D-модель рабочего органа сеялки

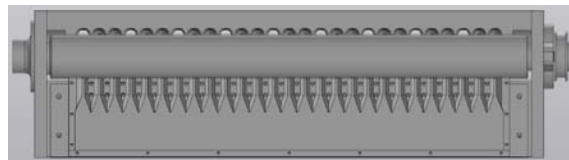


Рис. 9. 3D-модель вибростола с разделителями

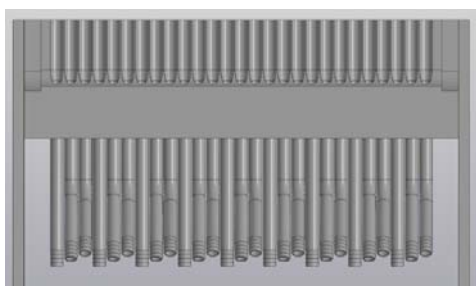


Рис. 8. 3D-модель сборщика семян и распределяющих трубок

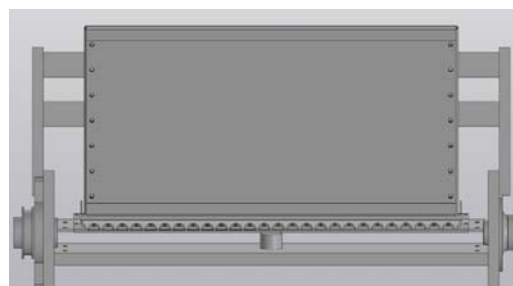


Рис. 10. 3D-модель бункера для семян

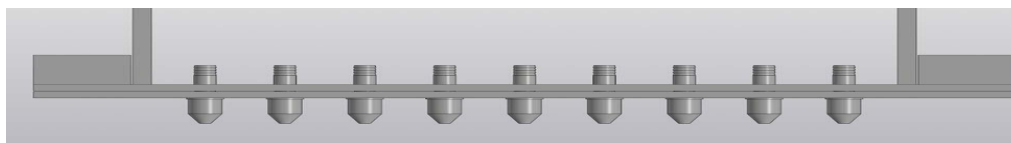


Рис. 11. 3D-модель пластины с дозаторами и пневмоцилиндрами

Конструкция устройства разрабатывалась с использованием средств объемного моделирования. Построена 3D-модель, благодаря чему получена возможность проверки взаимного расположения деталей и узлов, возможность автоматизированного построения чертежей. На основе 3D-модели были разработаны ассоциативные чертежи устройства точного высева.

Изготовление опытного устройства точного высева семян для выращивания сеянцев с закрытой корневой системой. Изготовление основных деталей устройства производилось в компании ООО «Инжиниринговая компания «СИБИНЖИНИРИНГ» методом автоматического фрезерования исходных материалов на вертикально-фрезерном обрабатывающем центре HAAS VF-2. В процессе изготовления некоторых деталей было выполнено объединение нескольких деталей в одну. В большинстве деталей при обработке использованы простые концевые твердосплавные фрезы R 2-5, инструмент для нарезания резьбы, для фрезерования наклонных плоскостей применялись радиусные фрезы. Обработка осуществлялась на средних режимах резания, возможно увеличение скорости обработки при серийном производстве. Значительных затрат машинного време-

ни требуют детали: Дистрибьютор семян; Сборщик левый, правый; Опора бункера; Держатель стола; Подвижная пластина; Проставка; Проставка под регулировочный винт; Опора подшипника; Опора крышки; Неподвижная пластина. Изготовление деталей Устройства производилось методом плазменной резки листовой заготовки на установке плазменной резки с ЧПУ Foxweld 1500×3000 и последующей обработки на листогибочном прессе SHPB 255 с ЧПУ. Изготовление данных деталей в серийном производстве возможно в больших количествах с незначительными затратами времени: Передняя панель бункера; Корпус бункера.

Изготовление деталей Устройства производилось методом токарной обработки на универсальном токарном станке DMTG CW6280E/2000. Ввиду особенностей работы на универсальном токарном станке для увеличения скорости обработки при серийном производстве необходимо рассмотреть возможность изготовления деталей на автоматическом токарном станке: Вал; Ступица с осью; Опорная крышка; Ступица с отверстием; Фторопластовая втулка; Нижний штуцер; Трубка под углом 35; Трубка прямая; Трубка под углом 17. Изготовление детали Дозатор производилось на токарном автоматическом станке DMTG

SK50P с ЧПУ. Изготовление данных деталей в серийном производстве возможно в больших количествах с незначительными затратами времени:

Изготовление стола Устройства производилось из исходных материалов в несколько этапов: заготовительные работы на ленточнопильном станке, разметка отверстий, крепежных пазов и технологических окон на вертикально-фрезерном обрабатывающем центре, сверление отверстий, фрезерование пазов и окон производилось на сверлильно-фрезерном станке, сборка и сварка производилась полуавтоматическим сварочным аппаратом START MIG3500T. Раскрой листа производилось методом плазменной резки листовой развертки на установке плазменной резки с ЧПУ Foxweld 1500×3000. Для увеличения скорости обработки при серийном производстве требуется изготовление кондукторов и технологической оснастки (рис. 12).

Управление устройством (электрический шкаф) состоит из программируемого реле ПР200-24 производства «Овен», Россия, блока питания 24 вольта для ПР200-24 и вспомогательных устройств, блока управления приводом вала захвата семян, блока управления электродвигателем вибратора. Входящее напряжение в шкаф управления однофазная сеть 220В, основное напряжение питания устройств шкафа – 24В постоянного тока, питание отдельных устройств – 5В постоянного тока. Программирование реле ПР200-24 осуществляется посредством среды программирования для создания алгоритмов работы программируемых реле OwenLogic, непосредственно в шкафу управления Устройством. Программируемое реле ПР200-24 предназначено для управления длительностью, последовательностью и очередностью включения основных и вспомогательных устройств и механизмов Устройства. Установка вышеуказанных режимов производится в программе, изменение параметров пользователями без соответствующей квалификации, невозможно. Блок питания 24В предназначен для питания всех электрических потребителей Устройства. Блок управления приводом вала захвата семян и блок управления электродвигателем вибратора предназначен для изменения режима работы электродвигателей (рис. 13).

Изготовление и настройка пневматического шкафа управления устройством точного высева. Пневматический шкаф управления Устройством состоит из блока воздухоподготовки с автоматическим фильтром-влагодделителем и запорным клапаном,

генератора вакуума, блока электромагнитных клапанов для управления пневмоцилиндрами подъема/ опускания и управления давлением в вале захвата семян. Требования к подключаемому воздуху – сжатый воздух по ГОСТ 17433 не ниже 3 класса, входящее давление – не менее 7 бар и не более 10 бар. Рабочее давление пневматического шкафа управления – 7 бар. Установка рабочего давления производится в пневматическом шкафу управления по встроенному в блок воздухоподготовки указателю давления (рис. 13).

Блок воздухоподготовки предназначен для очистки входящего воздуха от загрязнений, автоматического удаления конденсата из поступающего воздуха, управления рабочим давлением, индикации рабочего давления. Запорный клапан блока воздухоподготовки автоматически прекращает подачу воздуха при отключении Устройства от электропитания. Генератор вакуума предназначен для создания вакуума в вале захвата семян при захвате семян. Блок электромагнитных клапанов обеспечивает подачу воздуха под давлением либо вакуума в соответствующие устройства в зависимости от фазы цикла Устройства. Блок электромагнитных клапанов управляется программируемым реле ПР200-24.

Оптимизация режимов работы устройства точного высева. Изменение параметров, таких как длительность, порядок, последовательность и очередность фаз цикла осуществляется в управляющей программе. Наибольшее значение для оптимизации работы Устройства имеют следующие параметры: скорость вращения электромотора привода вала захвата семян, длительность фазы избыточного давления и разрежения в вале захвата семян. Частота включений привода вибратора не имеет непосредственного влияния на скорость работы Устройства, однако имеет влияние на стабильность работы, распределяя семена ровно для захвата и не допуская пропусков. Вышеуказанные параметры меняются в программе управления. Вторая составляющая оптимальной работы Устройства – сечение отверстий в вале для захвата семян. Данный параметр подбирается экспериментально. В ходе проведения испытаний экспериментальным путем были установлены оптимальные параметры управляющей программы и установлен вал с минимально возможным сечением отверстий. В ходе проведения испытаний отказов, сбоев, нарушения циклов, прочих неисправностей Устройства, не выявлено.



Рис. 13. Экспериментальный образец устройства точного высева семян



Рис. 14. Электрический шкаф управления устройством точного высева семян

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Использование посадочного материала с закрытой корневой системой имеет ряд других существенных преимуществ перед обычными сеянцами и саженцами. В частности, сеянцы с закрытой корневой системой лучше приживаются в неблагоприятных лесорастительных условиях, хорошо переносят транспортировку на большие расстояния, а главное позволяют значительно продлить лесокультурный сезон. Кроме того, к преимуществам посадочного материала с закрытой корневой системой можно отнести: более короткий период выращивания крупномерного посадочного материала и лучшую приживаемость некоторых пород, в частности, сосны обыкновенной и псевдотсуги. Последнее позволяет обеспечить успешное создание лесных культур даже в трудных лесорастительных условиях, включая щебнистые отвалы, карьеры и другие нарушенные земли. Высокая приживаемость лесных культур позволяет сократить количество посадочных мест на единице лесокультурной площади и тем самым более эффективно использовать селекционные семена. По результатам проведенной работы определена конструкция и оптимальные параметры устройства точного высева семян в кассеты для выращивания сеянцев с ЗКС, минимизировано потребление сжатого воздуха, увеличена скорость работы – один цикл посева за 3 секунды, что позволяет достичь производительность линии до 1200 кассет в час (100 тыс. семян в час), что превышает зарубежные и отечественные аналоги. Последующие этапы работы позволят разработать автоматизированный комплекс оборудования для посева семян и выращивания сеянцев с ЗКС.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЕ ССЫЛКИ

1. Теория и практика искусственного лесовосстановления : учебник / А. Р. Родин, С. Б. Васильев, С. А. Родин [и др.]. Москва : МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2019. 164 с. ISBN 978-5-7038-5113-5. Текст: электронный // Лань : электронно-библиотечная система. URL: <https://e.lanbook.com/book/205838>.
2. INNOVATECH. Техника, теплицы и оборудование. URL: <https://www.innovatech.by/Пневматическая-рядная-сеялка/>. Текст: электронный.
3. SIDTECH. Первый российский производитель оборудования для тепличных комбинатов и питомников растений. URL: https://sidtech.ru/ssm?utm_source=yandex-direct&term=Сеялка%20для%20кассет&yclid=3468944315922537970 Текст: электронный.
4. ООО «Леснаб». Приборы и оборудование для лесного хозяйства. URL: <https://lessnabr.ru/catalog/lesvosst/zks/seyalka/> Текст: электронный.
5. Гоф А. А. Эффективность создания лесных культур сосны обыкновенной сеянцами с закрытой корневой системой в ленточных борях Алтая/ Екатеринбург 2020. 169 с. URL: <https://www.dissercat.com/content/effektivnost-sozdaniya-lesnykh-kultur-sosny-obyknovennoi-seyantsami-s-zakrytoi-kornevoi-sist>
6. Лесные культуры в Бузулукском бору : учеб. пособие для студентов специальности 1512 / Г. И. Редько, В. М. Невзоров, И. М. Невзоров, А. А. Хиров. Ле-

нинград : Ленинградская лесотехническая академия, 1985. 88 с

7. Писаренко А. И., Редько Г. И., Мерзленко М. Д. Искусственные леса. Часть 1. М. : Изд-во ЮНИФИР, совместно с ВНИИЦлесресурс, 1992. 308 с.

8. Писаренко А. И., Мерзленко М. Д. Создание искусственных лесов. М. : Агропромиздат, 1990. 269 с.

9. Шпагин Д. Е., Коршун В. Н. Повышение эффективности лесовыращивания // Лесоэксплуатация и комплексное использование древесины : сборник статей Всероссийской научно-практической конференции, Красноярск : СибГУ, 2020. С. 224–227.

10. Шпагин Д. Е., Коршун В. Н. Лесовосстановление на переувлажненных почвах мерзлотной зоны Сибири // Лесоэксплуатация и комплексное использование древесины : сборник статей Всероссийской научно-практической конференции. Красноярск : СибГУ, 2021. С. 291–294.

11. Рогова Е. А., Шпагин Д. Е., Суранов М. С. Проектирование вала по поперечным колебаниям // Детали машин: инновационные достижения проектирования и использования на современном этапе развития промышленности : сборник статей Всероссийской научно-практической конференции. Красноярск : СибГУ, 2021. С. 65–68.

12. Авдеева Е. В., Ровных Н. Л., Шпагин Д. Е. Опорная конструкция линии для засева сеянцев с зкс // Технологии и оборудование садово-паркового и ландшафтного строительства : сборник статей Международной научно-практической конференции. Красноярск : СибГУ, 2022. С. 239–241.

13. Конструкторские решения разрабатываемого устройства точного высева семян / Е. В. Авдеева, Д. Е. Шпагин, Н. Л. Ровных, Д. В. Черник // Технологии и оборудование садово-паркового и ландшафтного строительства : сборник статей X Всероссийской научно-практической конференции с международным участием. Красноярск : СибГУ, 2023. С. 369–373.

14. Устройство точного высева семян для выращивания сеянцев с закрытой корневой системой / Д. Е. Шпагин, Н. Л. Ровных, Е. В. Авдеева, А. Г. Авдеев, С. С. Шатохин // 3d-технологии в решении научно-практических задач : сборник статей Всероссийской научно-практической конференции. Красноярск : СибГУ, 2023. С. 200–203.

REFERENCES

1. Teoriya i praktika iskusstvennogo lesovosstanovleniya : uchebnik / A. R. Rodin, S. B. Vasil'yev, S. A. Rodin [i dr.]. Moskva : MGTU im. N. E. Bauman, 2019. 164 s. ISBN 978-5-7038-5113-5. Tekst : elektronnyy // Lan' : elektronno-bibliotchnaya sistema. URL: <https://e.lanbook.com/book/205838>.
2. INNOVATECH. Tekhnika, teplitsy i oborudovaniye. URL: <https://www.innovatech.by/Пневматическая-рядная-сеялка/>. Tekst: elektronnyy.
3. SIDTECH. Pervyy rossiyskiy proizvoditel' oborudovaniya dlya teplichnykh kombinatov i pitomnikov rasteniy. URL: https://sidtech.ru/ssm?utm_source=yandex-direct&term=Seyalka%20dlya%20kasset&yclid=3468944315922537970. Tekst: elektronnyy.

4. ООО «Lessnab». Pribory i oborudovaniya dlya lesnogo khozyaystva URL: <https://lessnabr.ru/catalog/lesvosst/zks/seyalka/>. Tekst: elektronnyy.
5. Gof A. A. Effektivnost' sozdaniya lesnykh kul'tur sosny obyknovennoy seyantsami s zakrytoy kornevoy sistemoy v lentochnykh borakh Altaya/ Yekaterinburg 2020 g. 169 s. URL: <https://www.dissercat.com/content/effektivnost-sozdaniya-lesnykh-kultur-sosny-obyknovennoi-seyantsami-s-zakrytoi-kornevoi-sist>.
6. Lesnyye kul'tury v Buzulukskom boru. Uchebnoye posobiye dlya studentov spetsial'nosti 1512 / G. I. Red'ko, V. M. Nevzorov, I. M. Nevzorov, A. A. Khironov. Leningrad : Leningradskaya lesotekhnicheskaya akademiya, 1985. 88 s
7. Pisarenko A. I., Red'ko G. I., Merzlenko M. D. Iskusstvennyye lesa. Chast' 1. M. : Izd-vo YUNIFIR, sovmestno s VNIITSlesresurs, 1992. 308 s.
8. Pisarenko A. I., Merzlenko M. D. Sozdaniye iskusstvennykh lesov. M. : Agropromizdat, 1990. 269 s.
9. Shpagin D. Ye., Korshun V. N. Povysheniye effektivnosti lesovyrashchivaniya // Lesoekspluatatsiya i kompleksnoye ispol'zovaniye drevesiny : sbornik statey Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii. Krasnoyarsk : SibGU, 2020. S. 224–227.
10. Shpagin D. Ye., Korshun V. N. Lesovosstanovleniye na pereuvlazhnennykh pochvakh merzlotnoy zony Sibiri // Lesoekspluatatsiya i kompleksnoye ispol'zovaniye drevesiny : sbornik statey Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii. Krasnoyarsk : SibGU, 2021. S. 291–294.
11. Rogova Ye. A., Shpagin D. Ye., Suranov M. S. Proyektirovaniye vala po poperechnym kolebaniyam // Detal' mashin: innovatsionnyye dostizheniya proyektirovaniya i ispol'zovaniya na sovremennom etape razvitiya promyshlennosti : sbornik statey Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii. Krasnoyarsk : SibGU, 2021. S. 65–68.
12. Avdeyeva Ye. V., Rovnykh N. L., Shpagin D. Ye. Opornaya konstruktsiya linii dlya zaseva seyantsev s zks // Tekhnologii i oborudovaniye sadovo-parkovogo i landshaftnogo stroitel'stva : sbornik statey Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii. Krasnoyarsk : SibGU, 2022. S. 239–241.
13. Konstruktorskiye resheniya razrabatyvayemogo ustroystva tochnogo vyseva semyan / Ye. V. Avdeyeva, D. Ye. Shpagin, N. L. Rovnykh, D. V. Chernik // Tekhnologii i oborudovaniye sadovo-parkovogo i landshaftnogo stroitel'stva : sbornik statey X Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii s mezhdunarodnym uchastiyem. Krasnoyarsk : SibGU, 2023. S. 369–373.
14. Ustroystvo tochnogo vyseva semyan dlya vyrashchivaniya seyantsev s zakrytoy kornevoy sistemoy / D. Ye. Shpagin, N. L. Rovnykh, Ye. V. Avdeyeva, A. G. Avdeyev, S. S. Shatokhin // 3d tekhnologii v reshenii nauchno-prakticheskikh zadach : sbornik statey Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii. Krasnoyarsk : SibGU, 2023. S. 200–203.

© Авдеев А. Г., Авдеева Е. В., 2025

Поступила в редакцию 02.06.2025
Принята к печати 04.08.2025