

В. С. ПЕТРОВСКИЙ

АВТОМАТИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ И ПРОИЗВОДСТВ ЛЕСОПРОМЫШЛЕННОГО КОМПЛЕКСА

УЧЕБНИК

*Для студентов
учреждений высшего профессионального образования,
обучающихся по направлению подготовки «Автоматизация
технологических процессов и производств»*



Москва
Издательский центр «Академия»
2013

УДК 631.171(075.8)
ББК 65.34-5я73
П308

Рецензенты:

кафедра автоматизации производственных процессов Санкт-Петербургской лесотехнической академии (зав. кафедрой канд. техн. наук, проф. *В. А. Втюрин*); д-р техн. наук, проф. кафедры управления автоматизированными производствами ЛПК Московского государственного университета леса *В. А. Дорошенко*

Петровский В. С.

П308 Автоматизация технологических процессов и производств лесопромышленного комплекса : учебник для студ. учреждений высш. проф. образования / В. С. Петровский. — М. : Издательский центр «Академия», 2013. — 416 с. — (Сер. Бакалавриат).

ISBN 978-5-7695-6023-1

Учебник создан в соответствии с Федеральным государственным образовательным стандартом по направлению подготовки «Автоматизация технологических процессов и производств» (квалификация «бакалавр»).

В учебнике рассмотрены системы автоматики агрегатов и мобильных машин, большое внимание уделено вопросам автоматизации лесопромышленных процессов и производств лесного хозяйства, лесозаготовок, лесопиления. Представлены современные отечественные и зарубежные системы компьютерной автоматизации отраслевых процессов и производств лесопромышленного комплекса.

Для студентов учреждений высшего профессионального образования.

УДК 631.171(075.8)
ББК 65.34-5я73

*Оригинал-макет данного издания является собственностью
Издательского центра «Академия», и его воспроизведение любым способом
без согласия правообладателя запрещается*

ISBN 978-5-7695-6023-1

© Петровский В. С., 2013
© Образовательно-издательский центр «Академия», 2013
© Оформление. Издательский центр «Академия», 2013

В Российской Федерации с 2007 г. в законодательном порядке введен новый Лесной кодекс, который регламентирует лесохозяйственную, лесопромышленную деятельность арендаторов лесфонда.

По Лесному кодексу лесопромышленники-арендаторы лесфонда обязаны заниматься не только лесозаготовками, но и лесовосстановлением, т. е. сбором лесных семян, созданием лесных питомников для выращивания лесопосадочного материала, проводить лесокультурные работы, рубки ухода за лесом, выполнять лесотаксационные работы.

Многие арендаторы лесфонда создают перспективные производственные мощности лесопиления для выпуска пиломатериалов, строительных деталей, мебельных заготовок, тем самым отходят от малоэффективной реализации лесопродукции в виде круглого леса.

В новых условиях производственной деятельности предприятия лесопромышленного комплекса включают в себя ряд технологических процессов и производств лесного хозяйства, лесозаготовок, лесопиления.

Одним из главных условий эффективного технологического, экономического прогресса арендных предприятий лесопромышленного комплекса является использование новейшего технологического оборудования с современными и перспективными системами автоматизации. Поэтому структура данного учебника состоит из технологически последовательных процессов лесопромышленного комплекса:

- автоматизация промышленных технологических процессов лесного хозяйства;
- автоматизация технологических процессов лесозаготовительных производств;
- автоматизация технологических процессов лесопильных производств.

Материал учебника отражает существующий уровень автоматизации технологических процессов и производств лесопромышленного комплекса России, а также ряд отечественных и зарубежных перспективных разработок в области микропроцессорного, компьютерного управления агрегатами и процессами.

Технологические агрегаты лесного хозяйства, лесозаготовок, лесопиления при своем совершенствовании сравнительно мало меняют силовые системы привода рабочих органов и транспортирующих устройств, которые используют главным образом гидро-, электро- и пневмоприводы. Но системы автоматического контроля, регулирования, управления в слаботочных цепях за последнее десятилетие меняются сравнительно быстро на базе использования средств цифровой автоматики, микропроцессорной техники, и этим новым вопросам эффективной автоматизации технологических процессов и производств лесопромышленного комплекса в учебнике уделяется определенное внимание. Некоторые схемы управления технологическими агрегатами, транспортными устройствами, используемыми в лесопромышленном комплексе, содержат в слаботочных цепях системы релейно-контактного управления рабочими органами с помощью релейных устройств.

Эти системы могут быть предметом, например, курсового и даже дипломного проектирования с составлением принципиальных схем, алгоритмов, программ современного микропроцессорного управления. При этом электрические, гидравлические силовые цепи систем управления в основном остаются неизменными. Но в силовых цепях асинхронных электродвигателей технологических агрегатов все большее распространение получают системы частотного регулирования скорости подачи станочного и транспортирующего оборудования на основе использования эффективных частотных преобразователей.

Уместно отметить, что вузы нашей страны около 50 лет готовят специалистов в области автоматизации технологических процессов и производств лесопромышленного комплекса, но до сих пор не выпустились учебники по дисциплине «Автоматизация технологических процессов и производств лесопромышленного комплекса» для специальности 220301 (210214). Отсутствие учебников по рассматриваемой дисциплине негативно сказывается на качестве обучения в лекционном процессе, при самостоятельной работе студентов, курсовом и дипломном проектировании, при выполнении лабораторно-практических занятий.

В главе «Автоматизация промышленных технологических процессов лесного хозяйства» включен материал, состоящий из апробированных в практике разделов автоматизации лесохозяйственных процессов, начиная с автоматизации режимов сушки сосновых шишек до систем автоматизированного проектирования режимов рубок ухода за лесом, обеспечивающих ускоренное выращивание высокопродуктивных деревьев, дростоева.

В главе «Автоматизация технологических процессов лесозаготовительных производств» рассмотрены методы, системы автоматизации практически всего круга технологических операций, технологических агрегатов, начиная от лесосечных работ до систем автоматизации отгрузки сортиментов круглого леса потребителям. Здесь от-

ражено почти все многообразие систем автоматизации сложной, добывающей отрасли — лесозаготовительной промышленности. Это объясняется тем, что лесозаготовки в Российской Федерации проводятся в разнообразных почвенно-климатических и экономических условиях, используются разнообразные лесотранспортные и лесоперерабатывающие технологии.

Включение в учебник главы «Автоматизация технологических процессов лесопильных производств» объясняется тем, что в состав арендных предприятий лесопромышленного комплекса, как правило, входят подразделения лесопильного производства, что в современных условиях и технологически, и экономически неотделимо от лесохозяйственного и лесозаготовительного производства. Поэтому выпускник вуза, работающий в лесопромышленном комплексе, должен иметь необходимые знания, уметь решать задачи эксплуатации разнообразных систем автоматизации оборудования лесопильного производства. В этой главе рассмотрены системы автоматизации лесопиления, начиная от автоматизации подачи пиловочника из бассейнов в лесопильный цех и кончая компьютерными системами контроля технологических потоков пиловочного сырья, пиломатериалов, технологической щепы.

Охватить все существующие и перспективные системы автоматизации промышленных технологических процессов лесного хозяйства, лесозаготовок, лесопиления сложно, поэтому автор будет признателен за все замечания, пожелания по улучшению содержания данной книги.

Благодарности и особую признательность автор выражает рецензентам — сотрудникам кафедры автоматизации производственных процессов Санкт-Петербургской лесотехнической академии (зав. кафедрой, канд. техн. наук, проф. В. А. Втюрин); д-ру техн. наук, проф. кафедры управления автоматизированными производствами лесопромышленного комплекса Московского государственного университета леса В. А. Дорошенко, которые сделали ряд полезных замечаний и пожеланий.

АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОМЫШЛЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ЛЕСНОГО ХОЗЯЙСТВА

Производственная деятельность предприятий лесного хозяйства включает в себя ряд основных технологических процессов, в том числе: заготовка лесных семян; выращивание лесопосадочного материала в питомниках и лесных теплицах; лесокультурные работы; проведение рубок ухода за лесом; выпуск хвойно-витаминной муки; лесотаксационные работы по учету запасов стволовой древесины и сортиментного состава отдельных выделов, лесосек лесфонда; работы по борьбе с возникновением и распространением лесных пожаров и др. Эффективная реализация основных промышленных технологических процессов лесного хозяйства невозможна без использования современных методов, средств компьютеризации и автоматизации.

Огромные площади лесов России требуют адекватных затрат на эффективное ведение лесного хозяйства, что подчеркивает новый Лесной кодекс, принятый Государственной Думой РФ и действующий с 1 января 2007 г. Неистощимое лесопользование, которое лежит в основе Лесного кодекса, требует использования современных технологий лесного хозяйства с компьютерной поддержкой и автоматизацией. Массовое производство средств микроэлектроники, автоматизации, вычислительной техники обеспечивает возможности широкой автоматизации, компьютеризации технологических процессов лесного хозяйства. Но здесь возникают достаточно сложные проблемы автоматизации, компьютеризации некоторых лесных технологий, что связано с лесобиологическими особенностями процессов лесовыращивания.

Основные технологии лесовыращивания отличаются длительной распределенностью по времени и в сущности представляются распределенными системами с переменными лесотаксационными параметрами, а автоматизация управления такими системами требует проведения специальных исследований и перспективных научных разработок. Необходимо отметить, что до сих пор мы не имеем монографий, тем более учебников, по автоматизации промышленных технологических процессов лесного хозяйства. В этой связи для написания раздела «Автоматизация промышленных технологических процессов лесного хозяйства» использовались материалы исследова-

ний, прикладных научных разработок в основном кафедры автоматизации производственных процессов Воронежской государственной лесотехнической академии, которая более 30 лет занимается этой проблемой.

1.1. Автоматизация режимов сушки сосновых шишек

Семена сосны обыкновенной извлекаются из шишек на сушильных установках различных конструкций. Сохранение высоких посевных свойств семян сосны и полное извлечение их из шишек возможно только при поддержании оптимальных режимов сушки с помощью автоматической системы управления режимными параметрами технологического процесса. Рассмотрим автоматизацию наиболее эффективных и производительных ярусных шишкосушилок конвективного действия. Причем оптимальные режимы отличаются пониженной влажностью воздуха и повышающейся температурой сушильного агента. Целевыми функциями процесса сушки сосновых шишек являются: Y_1 — всхожесть семян, %; Y_2 — выход семян, %.

Переменными входными параметрами процесса сушки являются: $T_{\text{пс}}$, $T_{\text{с}}$ — температура воздуха при подсушке и сушке сосновых шишек, °С; $\varphi_{\text{пс}}$, $\varphi_{\text{с}}$ — относительная влажность воздуха при подсушке и сушке сосновых шишек, %; $t_{\text{пс}}$, $t_{\text{с}}$ — время подсушки и сушки шишек. После проведения лабораторных активных экспериментов по плану второго порядка Хартли при $T_{\text{пс}}$, $T_{\text{с}} = 35—55$ °С, $\varphi_{\text{пс}}$, $\varphi_{\text{с}} = 20—40$ %, $t_{\text{пс}}$, $t_{\text{с}} = 8—12$ ч получены соответствующие уравнения регрессии для двух упомянутых целевых функций управления процессом.

С помощью этих уравнений целевых функций и ограничений 35 °С $\leq T_{\text{пс}}$, $T_{\text{с}} \leq 55$ °С, 20 % $\leq \varphi_{\text{пс}}$, $\varphi_{\text{с}} \leq 40$ %, 8 ч $\leq t_{\text{пс}}$, $t_{\text{с}} \leq 12$ ч для условий лабораторных экспериментов получены следующие оптимальные режимы сушки сосновых шишек: $T_{\text{пс}} = 35$ °С, $T_{\text{с}} = 55$ °С, относительная влажность воздуха $\varphi_{\text{пс}} = 20$ %, $\varphi_{\text{с}} = 30$ %, время подсушки $t_{\text{пс}} = 9$ ч, время сушки $t_{\text{с}} = 12$ ч, при которых всхожесть семян составила $Y_1 = 97$ %, а выход этих семян $Y_2 = 1,4$ %. Данные лабораторных экспериментов, полученные в сушильном шкафу, не могут использоваться на промышленных установках.

Проведена проверка результатов лабораторных исследований по выбору оптимальных режимов сушки сосновых шишек для производственных многоярусных сушильных установок конвективного типа. Для этой цели сосновые шишки различных сроков сбора, начальной влажности и типологического происхождения перерабатывались на промышленных ярусных сушильных установках. Также получены уравнения регрессии с дополнительной переменной W , % — начальной влажности сосновых шишек. В табл. 1.1 пред-

Таблица 1.1. Оптимальные параметры режимов сушки сосновых шишек

Параметры режимов сушки сосновых шишек	Значения параметров при начальной влажности сосновых шишек, %		
	До 18	18—26	Более 26
Время предварительной подсушки, ч	7	8	9
Время сушки, ч	9	11	13
Температура подсушки, °С	34	38	42
Температура сушки, °С	60	58	58
Относительная влажность сушильного агента при подсушке, %	22	22	22
Относительная влажность сушильного агента при сушке, %	31	32	32

ставлены оптимальные параметры режимов сушки сосновых шишек с различной начальной влажностью.

Схема автоматизации процесса сушки сосновых шишек с управлением по параметрам сушильного агента в камере представлена на рис. 1.1.

Регулирование режимов процесса сушки осуществляется на базе локального регулятора (контроллера). На данной схеме реализовано два основных контура регулирования: температуры сушильного агента и влажности сушильного агента.

Информация о температуре сушильного агента поступает на контроллер с датчика температуры (термометра сопротивления или термопары). Контроллер сравнивает полученное значение с заданным согласно режиму и в соответствии с реализуемым законом регулирования подает сигнал на исполнительное устройство (запорно-регулирующий клапан), что позволяет изменять подачу пара в калорифер и этим корректировать температуру сушильного агента в камере.

Влажность сушильного агента определяется на основании разности температур сухого и влажного датчиков температуры (психрометрической разности). Температура влажного термометра всегда ниже температуры сухого из-за испарения воды с поверхности фитиля. Чем суше воздух (влажность ниже), тем интенсивнее испаряется вода с поверхности фитиля и тем ниже температура увлажняемого термометра. На основе психрометрической разности контроллер согласно режиму и применяемому закону регулирования подает сигнал на исполнительное устройство (запорно-регулирующий клапан), управляющее подачей влажного пара в систему увлажне-

ния, что позволяет добиться необходимой влажности сушильного агента в камере.

Управление контроллером может осуществляться как с помощью лицевой панели самого прибора, так и удаленно, на базе персонального компьютера, используя стандарты RS-232 или RS-485.

Переход на следующий этап сушки или на очередную партию шишек происходит по истечению заданного времени сушки в соответствии с требуемым режимом.

Переработка сосновых шишек при выбранных оптимальных параметрах режимов сушки, поддерживаемых автоматической системой регулирования, обеспечивает получение высококачественных семян 1 и 2 классов по всхожести. Выход семян 1 класса составил 58 %, 2 класса — 42 %. Выход семян из шишек составляет 1,35 %. Тогда как при ручном управлении и производственных режимах выход семян 1 класса составлял 20 %, 2 класса — 76 %, 3 класса — 4 %. Выход се-

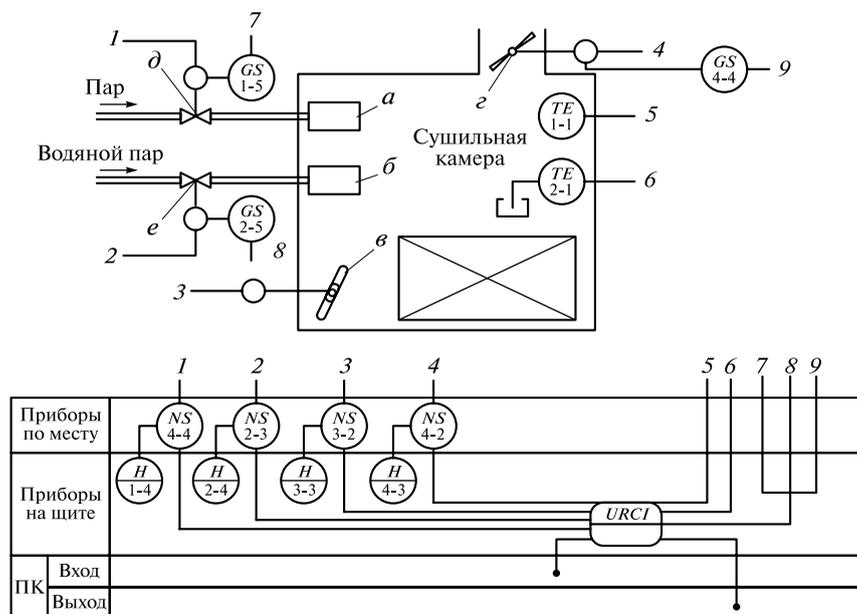


Рис. 1.1. Схема автоматизации процесса сушки сосновых шишек с управлением по параметрам сушильного агента в камере:

а — калорифер; *б* — система увлажнения; *в* — вентилятор; *г* — шибер; *д*, *е* — клапаны запорно-регулирующие, управляющие подачей пара в калорифер или увлажнительное устройство; *сигналы управления*: 1 — изменение подачи пара; 2 — изменение подачи водяного пара на увлажнение; 3 — включение и выключение вентилятора; 4 — изменение открытия шибера; *датчики контроля температуры*: 5 — сухого термометра; 6 — мокрого термометра; 7 — греющего пара; 8 — пара на увлажнение; 9 — отработанный агент сушки

мян из шишек составлял 1,2 %. Реализация оптимальных режимов на 15 % снижает потребление тепла.

При сушке небольших объемов сосновых шишек в лесничествах применяются небольшие сушилки конвективного типа, нагревательными устройствами которых являются теплоэлектрические нагреватели с простейшими распылителями влаги с регулированием температуры и влажности сушильного агента.

Использование печного отопления для сушилок сосновых шишек характеризуется большими колебаниями температуры и влажности сушильного агента, более длительным временем сушки, недостаточно высоким уровнем всхожести семян и выхода их из шишек.

1.2. Система автоматического регулирования параметров микроклимата склада лесных семян

Основным технологическим параметром на складе лесных семян является температура, которая должна поддерживаться в диапазоне 3—5 °С в зимний период, летом не выше 15 °С. Регулирование температуры в зимний период можно осуществить одним из известных способов. Для регулирования температуры летом необходимо к калориферу добавить холодильную установку. В некоторых случаях холодильник устанавливать не нужно, так как склад может располагаться в полуподвале, где температура летом не выше 15 °С.

Принципиальная схема автоматического регулирования температуры на складе лесных семян приведена на рис. 1.2.

Основными агрегатами для регулирования температуры являются: электродвигатель вентилятора калорифера *М2* с нагревателями *Н1—Н3* и электродвигатель холодильника *М1*. Регулирование температуры целесообразнее проводить полупроводниковым релейным регулятором ПТР-П, имеющим регулируемую зону нечувствительности. Можно использовать и регуляторы других типов. Температура измеряется датчиками ТСП t_{1t_2} , t_{3t_4} и t_{5t_6} . Функциональная схема регулирования параметров микроклимата на складе лесных семян показана на рис. 1.3. Сигнал от датчика подается на релейный регулятор ПТР-П через переключатель *П1*. Регулируемая температура и зона нечувствительности устанавливаются задатчиками регулятора.

Если температура в складе ниже заданной, то включается контактор *К1*. Его контакты замыкаются и включают двигатель ПВ вентилятора калорифера *М2*. Одновременно замыкается контакт *К1* в цепи магнитных пускателей МП секций электрокалориферов *К3*, *К4*, *К5*. Каждый из магнитных пускателей управляет одной секцией нагревателя и включается в зависимости от положения переключателя *П2*. При достижении заданной температуры контактор *К1* отключается.

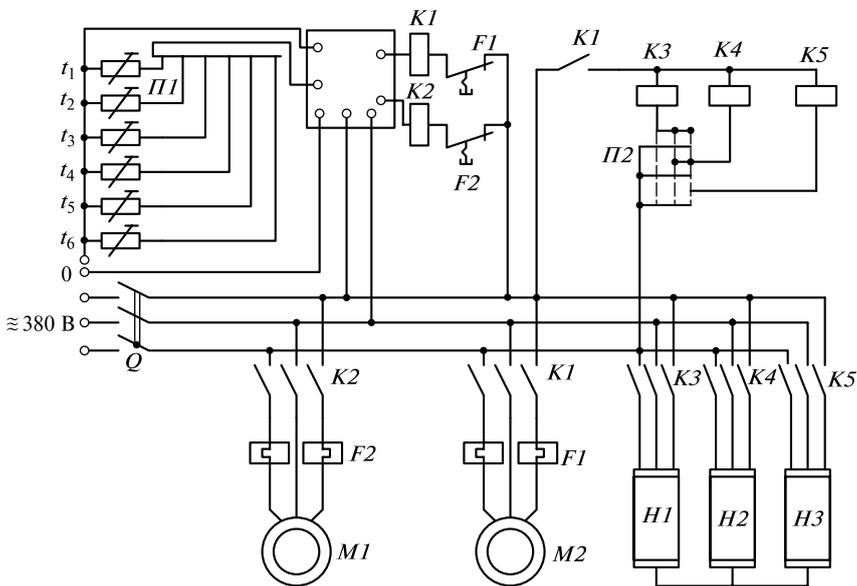


Рис. 1.2. Принципиальная схема автоматического регулирования температуры на складе лесных семян

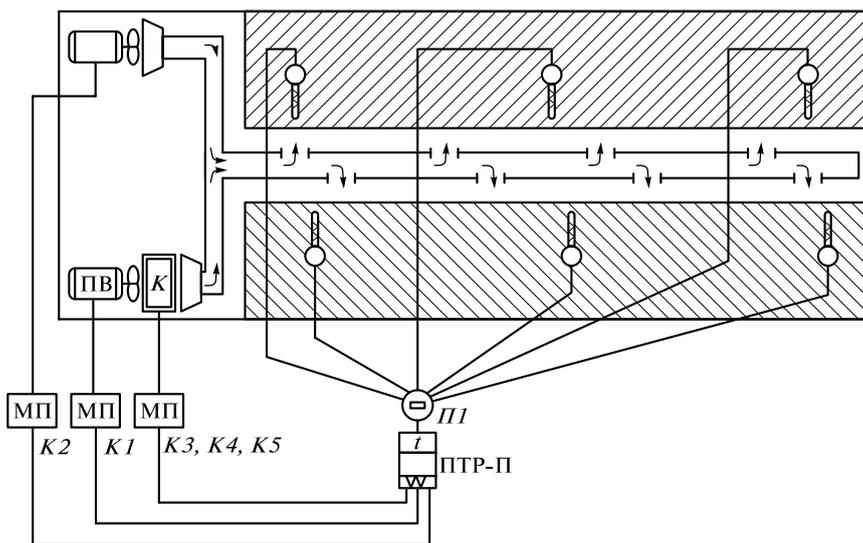


Рис. 1.3. Функциональная схема регулирования параметров микроклимата на складе лесных семян

Электротепловое реле *F1* предохраняет секции нагревателя от перегрева. Если температура выше заданной, то срабатывает контактор *K2*, его контакты замыкаются и включают электродвигатель холодильного устройства *M1*.

Особенности разработки принципиальной схемы и выбора оборудования для автоматической стабилизации параметров микроклимата в складах лесных семян приведены ниже.

1. Технические требования.

1.1. Разрабатываемое устройство должно включать в себя следующие блоки и узлы:

датчики температуры воздуха;
шкаф автоматики;
смесительный клапан с исполнительным механизмом;
рециркуляционно-отопительный агрегат.

2. Характеристики микроклимата.

2.1. Температура должна автоматически поддерживаться в диапазоне $+3^{\circ} \dots +5^{\circ} \text{C}$ в зимний период, летом не выше $+15^{\circ} \text{C}$.

3. Требования к приборам контроля.

3.1. Контролирующие и регистрирующие приборы должны обеспечивать измерение температуры с точностью $\pm 2^{\circ} \text{C}$.

3.2. Датчики приборов должны работать без дополнительной погрешности при температуре от -40 до $+40^{\circ} \text{C}$ и относительной влажности от 60 до 70 %.

4. Требования к уровню унификации и стандартизации.

4.1. Обеспечить монтаж электрооборудования приборами, выпускаемыми промышленностью для нужд сельского хозяйства.

1.3. Автоматическое программное регулирование параметров микроклимата в лесных теплицах выращивания посадочного материала

В Российской Федерации возрастают работы по искусственному лесовосстановлению, созданию лесных защитных полос, по облесению оврагов, озеленению городов. Предприятия лесного хозяйства расширяют производство лесных семян в закрытом грунте, создаются новые лесные теплицы под пленкой или под стеклом.

Для сокращения сроков выращивания высококачественного посадочного материала представляется необходимым параметры микроклимата лесных теплиц выводить на оптимальные уровни.

Агротехника выращивания лесных семян не дает нам достаточно точных и надежных режимов микроклимата по различным стадиям их развития. Имеются только некоторые рекомендации по тем-

пературе и влажности окружающей среды, которые могут меняться в широких пределах. Установить действительно оптимальные параметры микроклимата лесных теплиц, которые обеспечивают экстремальный рост и развитие лесных сеянцев и на основании полученных данных в реальных условиях лесных теплиц воспроизвести их, — это крупная лесобиологическая проблема, решение которой трудно переоценить. Анализ литературы в области растениеводства и лесных культур показывает, что мы до сих пор не знаем, каковы параметры микроклимата днем и ночью во все периоды роста для обеспечения максимальной скорости развития лесных сеянцев в теплицах для разных пород. Поэтому аппаратура микропроцессорного регулирования параметров микроклимата в теплицах должна иметь широкий диапазон возможностей.

Длительные опыты по традиционной методике не могут привести к эффективному решению задачи экстремального управления ростом и развитием лесных сеянцев.

Компьютеризировав процесс «опроса» сеянцев и реализацию требуемых ими параметров микроклимата в дневное и ночное время на весь период выращивания, появляется возможность фиксировать оптимальные режимы, которые для заданной древесной породы можно реализовать на очередной год выращивания лесопосадочного материала в закрытом грунте с микропроцессорной системой управления теплицами.

Развитие лесных сеянцев можно разделить на следующие стадии:

- 1) стадия набухания семян;
- 2) стадия появления ростка, всходы;
- 3) стадия выпуска листьев;
- 4) стадия начального роста;
- 5) стадия роста, развития.

Стадии выбраны исходя из наблюдений за ростом лесных сеянцев. Надо отметить, что в литературе до сих пор нет математических моделей роста, развития древесных растений во времени или при изменении тех или иных параметров микроклимата. Лесные сеянцы — это объекты управления с переменными, неизвестными математическими моделями.

Наиболее информативной выходной целевой функцией роста и развития лесных сеянцев является их биопотенциал $F(g_1, g_2, \dots, g_n)$, который характеризует скорость фотосинтеза, скорость увеличения линейных и объемных параметров, массы сеянцев и размеров их корневой системы. Как показали наши исследования, величина биопотенциала лесных сеянцев главным образом зависит от температуры и влажности воздуха в теплице, от освещенности и влажности почвы, т. е. от управляющих (задающих) воздействий g_1, g_2, g_3, g_4 [15].

Целевая функция процесса управления выращиванием лесных сеянцев зависит не только от перечисленных управляющих воздей-

ствий, но и от неконтролируемых параметров процесса и времени t , поэтому она не является постоянной и заранее известной. При этих условиях, не имея математической модели целевой функции $F(g_1, g_2, \dots, g_n)$, необходимо постоянно поддерживать ее значение на экстремальном уровне. Следовательно, в данном случае необходимо определять и реализовывать оптимальные значения управляющих задающих воздействий g_i^0 , обеспечивающих $F(g_1^0, g_2^0, \dots, g_n^0) = \text{extremum}$. Как определить сигналы воздействий g_i^0 ?

Условием экстремума дифференцируемой целевой функции нескольких переменных $F(g_1, g_2, \dots, g_n)$ является равенство нулю в точке экстремума частных производных этой функции:

$$\frac{\partial F}{\partial g_1} = 0, \quad \frac{\partial F}{\partial g_2} = 0, \dots, \quad \frac{\partial F}{\partial g_n} = 0. \quad (1.1)$$

Градиентом функции F называется векторная величина

$$\overline{\text{grad}F} = \bar{K}_1 \frac{\partial F}{\partial g_1} + \bar{K}_2 \frac{\partial F}{\partial g_2} + \dots + \bar{K}_n \frac{\partial F}{\partial g_n}, \quad (1.2)$$

где $\bar{K}_1, \dots, \bar{K}_n$ — единичные векторы осей (орты) по направлениям пространства управляющих воздействий g_1, \dots, g_n .

В точке экстремума

$$\overline{\text{grad}F} = 0. \quad (1.3)$$

Задача поиска экстремума разбивается на две:

- 1) определение градиента целевой функции F ;
- 2) организация изменения g_i для движения к точке экстремума целевой функции F .

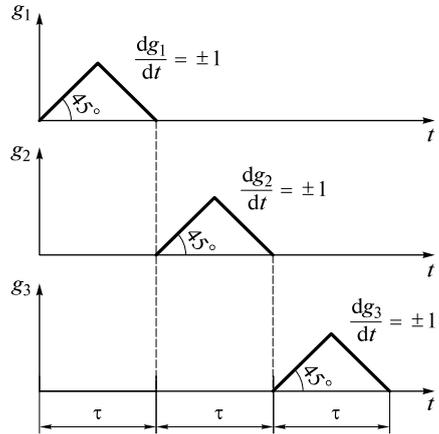
Экспериментально-вычислительные методы реализации системы экстремального управления (СЭУ) ростом семян. В СЭУ необходимо непрерывно измерять $\overline{\text{grad}F}$, направленно изменять величины управляющих воздействий g_i в сторону экстремума целевой функции F .

Для получения рабочей информации о значении градиента целевой функции наиболее приемлемым является способ производной по времени. Способ основан на определении и суммировании частных производных целевой функции по управляющим воздействиям g_1, g_2, \dots, g_n :

$$\frac{dF}{dt} = \frac{\partial F}{\partial g_1} \cdot \frac{dg_1}{dt} + \frac{\partial F}{\partial g_2} \cdot \frac{dg_2}{dt} + \dots + \frac{\partial F}{\partial g_n} \cdot \frac{dg_n}{dt}. \quad (1.4)$$

Аппаратным способом в дискретные интервалы времени отдельно, задавая величины $\frac{dg_1}{dt_1}, \dots, \frac{dg_n}{dt_n}$ и измеряя производную $\frac{dF}{dt}$, мож-

Рис. 1.4. Сигналы задающих воздействий



но определить отдельные компоненты градиента $\frac{\partial F}{\partial g_1}, \dots, \frac{\partial F}{\partial g_n}$. Если

взять $\frac{dg_i}{dt} = 1$, то, суммируя компоненты градиента, получим величину $\text{grad}F$. Генератором импульсов поочередно, последовательно во времени задаются постоянные скорости изменения управляющих воздействий $\frac{dg_i}{dt} = \pm 1$. Сигналы задающих воздействий показаны на рис. 1.4.

Система реализации экстремального управления представлена на рис. 1.5. Работа схемы циклична, время циклов T разбивается на n интервалов, $T = n\tau$. Схема входит в состав компьютерной системы экстремального управления. Генератор треугольных импульсов посылает через распределитель импульсы $\frac{dg_i}{dt} = \pm 1$ на входные цепи управления процессом.

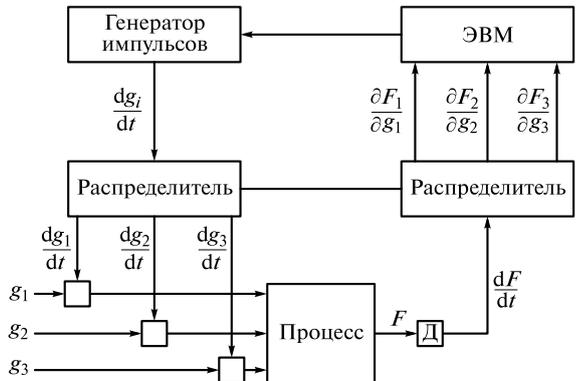


Рис. 1.5. Система реализации экстремального управления

Целевая функция процесса F биопотенциала измеряется и подается на вход дифференцирующего устройства Д, с выхода которого производная $\frac{dF}{dt}$ поступает на выходной распределитель, работающий синхронно с распределителем треугольных импульсов $\frac{dg_i}{dt} = \pm 1$.

Выходной распределитель выдает в каждом i -м интервале свою компоненту градиента $\frac{\partial F}{\partial g_i}$ в ЭВМ.

Суммируя величины компонент градиента, с учетом $\bar{K}_1, \dots, \bar{K}_n$ получим величину градиента целевой функции в соответствующий цикл времени T

$$\overline{\text{grad}F} = \bar{K}_1 \frac{\partial F}{\partial g_1} + \bar{K}_2 \frac{\partial F}{\partial g_2} + \dots + \bar{K}_n \frac{\partial F}{\partial g_n}.$$

Организация изменения управляющих воздействий g_i при движении к экстремуму целевой функции осуществляется по программе на использовании сигналов по компонентам градиента. Вычислительная процедура компьютерной программы СЭУ на решении этой задачи может быть построена несколькими методами (например, методом Гаусса — Зайделя, методом градиента).

Метод Гаусса — Зайделя. Пусть в СЭУ необходимо определять оптимальные значения двух управляющих воздействий g_1, g_2 . Метод заключается в поочередном изменении управляющих воздействий g_1, g_2 . Вначале изменяется g_1 ($g_2 = \text{const}$) в сторону уменьшения компоненты градиента $\frac{\partial F}{\partial g_1}$ до тех пор, пока не получим $\frac{\partial F}{\partial g_1} = 0$. Фиксируется найденное $g_1 = \text{const}$ и изменяется g_2 в сторону уменьшения $\frac{\partial F}{\partial g_2}$.

При достижении $\frac{\partial F}{\partial g_2} = 0$ фиксируется $g_2 = \text{const}$ и вновь изменяется g_1 и так поочередно до точки экстремума.

Метод градиента. Основан на определении мгновенных значений градиента целевой функции путем измерения всех его компонент.

По этим данным для начальных значений g_i компьютер по программе вычисляет приращение величин управляющих воздействий

$$\Delta g_1 = a \frac{\partial F}{\partial g_1}; \quad \Delta g_2 = a \frac{\partial F}{\partial g_2}, \quad (1.5)$$

где $a = \text{const}$, $a > 0$ для $F = \text{max}$, $a < 0$ для $F = \text{min}$. Величина a определяет число шагов для выхода целевой функции в точку экстремума.

Движение системы к экстремуму представляет собой шаговый сходящийся процесс. Наряду с шаговым поиском программу можно настроить на непрерывное движение к экстремуму целевой функции. Здесь скорость изменения управляющих воздействий пропорциональна компонентам градиента

$$\frac{dg_1}{dt} = b \frac{\partial F}{\partial g_1}; \quad \frac{dg_2}{dt} = b \frac{\partial F}{\partial g_2}, \quad (1.6)$$

где $b = \text{const}$, для $F = \max$ $b > 0$, для $F = \min$ $b < 0$.

Метод градиента характеризуется относительно быстрым и плавным выходом системы к экстремуму, а при шаговом движении малой амплитудой колебаний — около точки экстремума.

Удержание системы управления на точке экстремума целевой функции. Дрейф по времени экстремума целевой функции управления показан на рис. 1.6. Характеристики технологических процессов выращивания семян не остаются постоянными, наблюдается дрейф точек экстремумов целевых функций — биопотенциалов семян. На рис. 1.6 от момента времени t_1 до момента времени t_2 показан условно дрейф точки экстремума целевой функции $F(g_1, g_2)$ для двух управляющих воздействий.

В этой связи в компьютерной программе СЭУ реальным процессом необходимо предусмотреть пробные изменения управляющих воздействий Δg_1 и Δg_2 с определением знаков и величин приращений целевой функции ΔF . Образуется векторная сумма приращений. Направление градиента функции F выбирается по направлению вектора суммы ΔF_1 и ΔF_2 . В остальном алгоритм выхода на новый экстремум соответствует алгоритму поиска методом градиента. Процесс удержания системы экстремального управления на точке экстремума представлен на рис. 1.7. В результате процесс удержания СЭУ на точке экстремума будет иметь вид (см. рис. 1.7) с последующим циклом аналогичного рыскания. Таким образом, процесс экстремального управления микроклиматом с переменной и заранее неизвестной

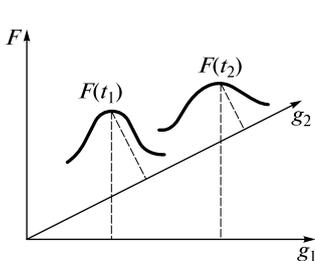


Рис. 1.6. Дрейф по времени экстремума целевой функции управления

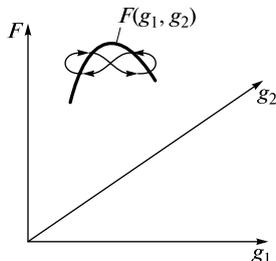


Рис. 1.7. Процесс удержания системы экстремального управления на точке экстремума

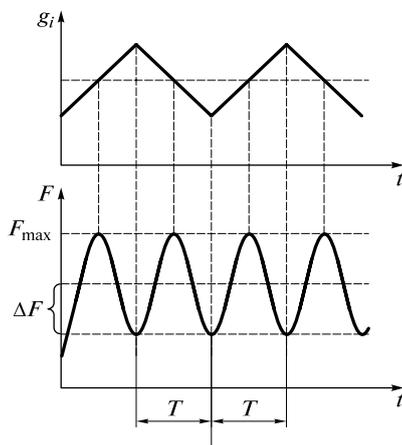


Рис. 1.8. График удержания СЭУ на точке экстремума

целевой функцией может быть реализован с помощью аппаратных и программных средств.

Процесс удержания СЭУ на точке экстремума с изменением времени показан на рис. 1.8. Из этого рисунка можно определить показатели качества СЭУ:

- потерю на поиск, удержание на точке экстремума ΔF ;
- зону поиска $2\Delta F$;
- период рыскания, период автоколебаний целевой функции T .

Требования, предъявляемые к процессу поиска экстремума, к процессу удержания системы на точке экстремума целевой функции имеют в целом тот же характер, что и требования к обычным автоматическим системам регулирования.

1. *Устойчивость СЭУ.* Процесс поиска с течением времени должен сходиться к окрестностям экстремума биопотенциала семян и пробными изменениями управляющих воздействий обеспечить нахождение системы в этой области при дрейфе по времени целевой функции управления.

2. *Точность СЭУ.* Показатель цели управления биопотенциала F при поиске оптимальных значений управляющих воздействий g_i^0 при их рыскании при дрейфе $F(g_i)$ должен попадать в достаточно малую окрестность экстремума.

3. *Быстродействие.* Время от начала поиска до попадания биопотенциала $F(g_i)$ в малую окрестность экстремума должно быть возможно меньшим.

Основными параметрами среды в теплицах следует считать температуру g_1 , влажность воздуха g_2 , влажность почвы g_3 .

Вышеназванные параметры можно регулировать в следующих пределах: температура 10—50 °С; влажность воздуха 60—98 %; влажность почвы 60—98 %.

Проведя таким образом в дневное и ночное время за один вегетационный период запись изменения по времени оптимальных параметров g_1^0 g_2^0 g_3^0 , можно на следующий вегетационный период поставить локальные регуляторы программного регулирования температуры и влажности воздуха, влажности почвы в теплицах в дневное и ночное время, тем самым обеспечить ускоренный рост и развитие стандартных, крупных, жизненно стойких лесных семян.

Важным параметром микроклимата теплиц является освещенность. В производственных условиях в теплицах с полиэтиленовым, стеклянным покрытием регулировать освещенность сложно и, по видимому, нет необходимости, так как выращивание семян осуществляется в весенне-летне-осенний период при большой и длительной солнечной активности.

Электрическую подсветку теплицы в ночное время делать нецелесообразно, так как это нарушает естественный световой цикл растения.

Простейшая блок-схема программного регулирования трех параметров микроклимата в лесной теплице с полиэтиленовым или стеклянным покрытием показана на рис. 1.9.

Выбор приборов и средств автоматики определяется условиями эксплуатации их в закрытом помещении при повышенной влажности.

На рис. 1.9 представлена достаточно упрощенная система автоматики одной секции лесной теплицы. Фактически лесные теплицы состоят из нескольких секций или отдельных теплиц, где выращиваются семена разных древесных пород, которые имеют неодинаковые программы изменения параметров микроклимата в дневное и ночное время на весь вегетационный период. Следовательно, необходимо использовать современное компьютерное управление всеми отдельными секциями лесных теплиц.

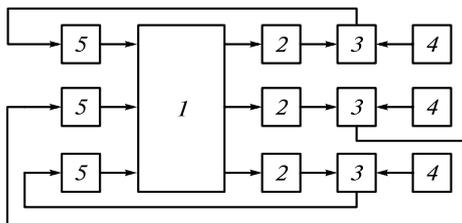


Рис. 1.9. Блок-схема программного регулирования трех параметров микроклимата в лесной теплице:

1 — лесная теплица; 2 — датчики температуры и влажности воздуха, влажность почвы; 3 — локальные регуляторы параметров микроклимата; 4 — программные задатчики; 5 — исполнительные механизмы изменения подачи тепла и влаги на увлажнение воздуха и почвы в теплице