

УДК 001.57:658.512

АНАЛИЗ ОСОБЕННОСТЕЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ОБОГРЕВА ОТКРЫТОЙ АГРОЭКОСИСТЕМЫ

В. П. Путятин

Доктор технических наук, профессор, заведующий
кафедрой
Кафедра кибернетики*

А. В. Рудницкая

Аспирант*

*Харьковский национальный технический университет
сельского хозяйства им. П. Василенка
ул. Артема, 44, г. Харьков, Украина, 61002
Контактный тел.: (057) 716-41-70
E-mail: agrocybernetic@gmail.com

А. Б. Элькин

Кандидат технических наук, доцент

Кафедра программного обеспечения автоматизированных
систем
Восточнoукраинский филиал
Международного Соломонова университета
ул. Гражданская, 22/26, г. Харьков, Украина, 61057
Контактный тел.: (057) 771-02-53
E-mail: info@msu-kharkov.edu.ua

Розглядаються питання розробки технічних засобів для механізації та автоматизації технологічного процесу по забезпеченню заданого теплового режиму плодово-ягідних культур, що знаходяться у відкритому ґрунті, при екстремально низьких температурах в період заморозків і морозів

Ключові слова: агроекологічна система, тепловий режим, технологічний процес, технічні засоби, автоматизація, механізація, підтримка прийняття рішень

Рассматриваются вопросы разработки технических средств для механизации и автоматизации технологического процесса по обеспечению заданного теплового режима плодово-ягодных культур, находящихся в открытом грунте, при экстремально низких температурах в период заморозков и морозов

Ключевые слова: агроэкологическая система, тепловой режим, технологический процесс, технические средства, автоматизация, механизация, поддержка принятия решений

The questions of the technical means development for mechanization and automation of the technological process on providing the set thermal regime of fruit and berry cultures being in the opened soil at extremely low temperatures in the period of light frosts and frosts are examined

Keywords: agroecological system, thermal regime, technological process, technical means, automation, mechanization, decision support

1. Введение

Переохлаждение плодовых и ягодных культур, особенно их саженцев, находящихся в открытом грунте (агроэкологическая система), приводит к повреждению завязей, обмораживанию кроны и корневой системы. А это, в свою очередь, влечет частичное повреждение саженцев или полную их гибель. Особо эти вопросы волнуют садоводов в трех основных экстремальных периодах года: при первых осенних заморозках (-5°C, -10°C и ниже); в зимний период (-20°C, -25°C и ниже); при весенних заморозках (-2°C, -5°C и ниже). В связи с этим возникает с одной стороны проблема мониторинга теплового режима агроэкосистемы и вы-

явление экстремальных по температурному режиму периодов, а с другой – обеспечение выполнения технологического процесса по поддержанию заданного допустимого режима агроэкосистемы путем дополнительного ее обогрева.

2. Классификация технологий обогрева агроэкосистемы

Для обеспечения теплового режима садов в весенний период года издавна применялись дымовые костры, которые зажигали при ночной температуре воздуха в +2°C и гасили не раньше, чем пройдет 1-1.5 часа

после восхода солнца. Это позволяет повысить температуру воздуха на 1°C, 1.5°C. Затем эта технология была усовершенствована: например, для сравнительно малых площадей садов (до 1.5 га) использовался пылесос с вливанием воды в поток воздуха, что увлажняло и утяжеляло дым, который затем стелился по саду, защищая его от понижения температуры.

Технологии борьбы с обледенением и ломкой кроны деревьев основываются на предварительной обработке кроны специальными растворами. При этом применяется, например, следующий раствор: 10 частей воды; 0.5 части извести; 1.5 части просеянного песка или песчаной глины. Образовавшийся ледяной покров, вместе с раствором на кроне, легко осыпается с ветвей дерева. Защита корневой системы осуществляется укрытием наземного слоя под деревьями.

Недостатком предложенных в работе [1] средств для защиты плодово-ягодных культур от заморозков и морозов зимой в виде нагревателей воздуха (нефтяных горелок, факелов), которые равномерно размещены по площади агроэкосистемы, является значительный расход энергетических ресурсов. При этом, лишь незначительная часть тепла от сгорания нефти конвективным путем направляется в зону растений, а большая ее часть образует направленный вверх воздушный поток, который расходуется напрасно.

Мобильное устройство [2], размещенное на тракторе, которое содержит теплогенератор с горизонтально размещенным цилиндрическим корпусом, соединенным на выходе соосно с центробежным вентилятором, который имеет два выходных горизонтально и взаимно противоположно направленных патрубка для подогреваемого воздуха, обеспечивает направление потоков теплого воздуха в зону размещения растений. При этом такая защита растений от морозов является более эффективной, чем системы обогрева на базе нефтяных горелок [1].

Для повышения эффективности поддержания теплового режима плодово-ягодных культур в устройстве [3], по сравнению с устройством [2], предложено другое расположение выходных патрубков и другое размещение вентилятора.

Таким образом, на сегодняшний день актуальной по-прежнему остается задача обеспечения заданного теплового режима садов и питомников саженцев, находящихся в открытом грунте, в экстремальные промежутки времени года (весенние заморозки, зимние морозы, первые осенние морозы). В связи с этим концептуальная (содержательная) постановка этой задачи состоит в следующем.

3. Содержательная постановка основной задачи

Имеется участок земли, например, сад с плодово-ягодными культурами. Задана его геометрическая форма и рельеф. Известна структура насаждения плодово-ягодных культур, а также геометрические размеры междурядья и высота растений. Заданы местоположение и высота защитных насаждений по периметру сада. Для каждого из трех экстремальных по температурам периода года (весенние заморозки, зимние морозы, первые осенние морозы) заданы предельно допустимые значения температур воздуха, не травмиру-

ющие растения и обеспечивающие их выживаемость. Известны природно-климатические характеристики и параметры региона возделывания плодово-ягодных культур.

Необходимо предложить технологию и технические средства, обеспечивающие поддержание необходимого теплового режима плодово-ягодных культур, находящихся в открытом грунте, для каждого из трех экстремальных по отрицательным температурам периодов года.

Таким образом, основными частными задачами, которые должны быть реализованы при создании комплекса технических средств для реализации технологического процесса, являются: разработка мобильного агрегата для механизации процесса обогрева открытой агроэкосистемы; разработка средств автоматизации, включающих средства мониторинга теплового состояния агроэкосистемы, средств управления мощностью, траекторией и скоростью движения источника обогрева.

Рассмотрим постановку этих частных, но взаимосвязанных подзадач.

5. Постановка частных задач

Задача 1. Предложить математическую модель динамики процессов в открытой агроэкосистеме с дискретным, в общем случае подвижным и нестационарным, источником тепла. Исследовать особенности математической модели. На основе этого выделить и провести анализ следующих параметров: предварительно задаваемые параметры математической модели; параметры математической модели, получаемые на основе измерения динамических характеристик агроэкосистемы; параметры математической модели, контролируемые в процессе выполнения технологического процесса; параметры математической модели, характеризующие управление источником обогрева; параметры, характеризующие динамику управления агроэкосистемой.

Задача 2. На основе заданной геометрической формы насаждений обосновать выбор и размещение датчиков текущего контроля температуры воздуха в агроэкосистеме.

Задача 3. Обосновать выбор источника обогрева: стационарный или подвижный по местоположению; распределенный или направленный тепловой поток; стационарный, импульсный или нестационарный источник по интенсивности теплового воздействия.

Задача 4. Обосновать значения параметров управления подвижным источником тепла: мощность источника; температура воздуха на выходе источника; влажность выходящего из источника воздуха; вид примеси воздушной массы; скорость выходящей из источника воздушной массы; скорость движения источника по территории насаждения; траектория движения источника с учетом геометрии насаждений и расстояний между рядами насаждений; повторяемость технологического процесса обогрева в зависимости от результатов текущего контроля температуры воздуха в агроэкосистеме.

Задача 5. Обосновывая выбор и параметры источника тепла для поддержания необходимой темпера-

туры воздуха, особое внимание необходимо уделить предотвращению (вблизи источников обогрева) возможных разрывов клеточных тканей коры деревьев и образования морозобойных трещин вдоль штамбов и оснований скелетных сучьев. Это обусловлено действием источника на ближайшие к нему деревья, что вызывает (со стороны источника) большие градиенты температуры в коре деревьев и, следовательно, порождает большие термонапряжения. Поэтому актуальной является задача минимизации термонапряжений в коре деревьев путем управления параметрами источника обогрева агроэкосистемы.

Задача 6. Предложить структуру специализированного процессора для осуществления расчета и задания значений параметров источника обогрева по результатам рассогласования между заданным допустимым значением температурного поля воздуха и измеренными с помощью системы датчиков температуры воздуха агроэкосистемы.

Задача 7. Обосновать выбор механизированного транспортного средства, осуществляющего перемещение источника в пределах агроэкосистемы по найденной (задача 4) траектории и с заданной скоростью.

Задача 8. Для малых размеров сада (до 2 - 3 га) предложить, возможно на основе соответствующей электротехнологии, стационарный (по местоположению), но вращающийся вокруг своей оси источник (или несколько стационарных по местоположению источников) обогрева. Предложить метод выбора рационального местоположения источника (источников) внутри сада, основываясь на учете сторон света, розы ветров, геометрической форме насаждения и рельефа местности.

Задача 9. Осуществить оценку суммарных затрат на создание комплекса технических средств и реализацию технологического процесса обеспечения заданного температурного режима воздуха агроэкосистемы. Сравнить суммарные затраты с возможной прибылью от продажи плодов садоводства (продажи саженцев).

6. Анализ путей реализации частных задач

С точки зрения теории систем, рассматриваемая агроэкосистема относится к многомерным, нестационарным, нелинейным системам с распределенными параметрами. Это обусловлено тем обстоятельством, что процессы в агроэкосистеме с подвижным источником обогрева описываются нестационарной, нелинейной краевой задачей математической физики для дифференциального уравнения в частных производных второго порядка [4].

Решение краевой задачи по расчету температурного поля в агроэкосистеме требует значительных затрат времени персональной ЭВМ [5]. Поэтому не целесообразно положить такую постановку задачи в основу процедуры расчета температурного поля агроэкосистемы. Скорее необходимо заменить этот этап утилизацией стационарных датчиков температур, определенным образом размещенных в наиболее информативных местах агроэкосистемы.

Теоретически поиск оптимальных параметров подвижного источника обогрева можно сформулировать как обратную задачу теории поля. Однако, постановка

и точное решение такой задачи сопряжено с рядом сложностей, требующих, как правило, проведения специальных теоретических исследований. Потому имеет смысл воспользоваться, в качестве примера, аппаратными реализациями соответствующих частных задач так, как это осуществлено в работе [5, гл. 7].

Направленный перебор и анализ допустимых значений параметров источника обогрева можно реализовать с помощью специализированных электронных аппаратных моделей, позволяющих осуществить как имитационное моделирование процессов в агроэкосистеме, так и оптимизацию искомых параметров управления [5, гл. 7] агроэкосистемой. Это дает возможность исключить дорогостоящую ПЭВМ из состава технических средств, обеспечивающих технологический процесс поддержания заданного температурного режима воздуха агроэкосистемы. Кроме того, установка серийной ПЭВМ на мобильном агрегате (тракторе), может вывести ее из строя из-за вибраций.

Задача построения рациональных трасс передвижения механизированного транспортного средства по территории насаждений плодово-ягодных культур относится к классу сложных дискретных многоэкстремальных задач оптимизации трассировки [6].

При этом основной функцией цели, характеризующей качество выполнения рассматриваемого технологического процесса, выступает функция энергетических затрат, включающая: затраты на расчистку трассы от снега; затраты энергии на передвижение мобильного устройства [3] по данной трассе; затраты энергии на функционирование источника обогрева агроэкосистемы. Решение такой задачи необходимо осуществлять с учетом соответствующих геометрических, теплофизических и энергетических ограничений.

7. Характеристика основных операций технологического процесса обогрева открытой агроэкосистемы

Создание мобильного сельскохозяйственного агрегата, обеспечивающего комплексную механизацию и автоматизацию технологического процесса обогрева агроэкосистемы, требует разработки средств, образующих в совокупности комплекс технических средств для поддержки принятия рациональных проектных решений на каждой технологической операции. Основными технологическими операциями при этом являются:

- мониторинг текущего состояния открытой агроэкосистемы;
- оценка текущего состояния агроэкосистемы исходя из заданных нормативных допустимых значений температурного поля агроэкосистемы;
- принятие решения о вмешательстве в динамические процессы открытой агроэкосистемы, если текущие значения температурного поля агроэкосистемы ниже допустимых нормативных значений;
- формирование возможных путей ликвидации экстремального (по тепловому режиму) состояния агроэкосистемы;
- выбор и реализация соответствующих частных задач по ликвидации экстремального состояния агроэкосистемы;

- получение допустимого множества вариантов принятия решений о ликвидации экстремального состояния агроэкосистемы;

- экспертное оценивание полученных допустимых вариантов принятия решений;

- реализация окончательного экспертного решения о пути ликвидации экстремального (по тепловому режиму) состояния открытой агроэкосистемы.

На рисунке приведена общая схема основных этапов поддержки принятия рациональных проектных решений при выполнении основных операций технологического процесса обогрева открытой агроэкосистемы.

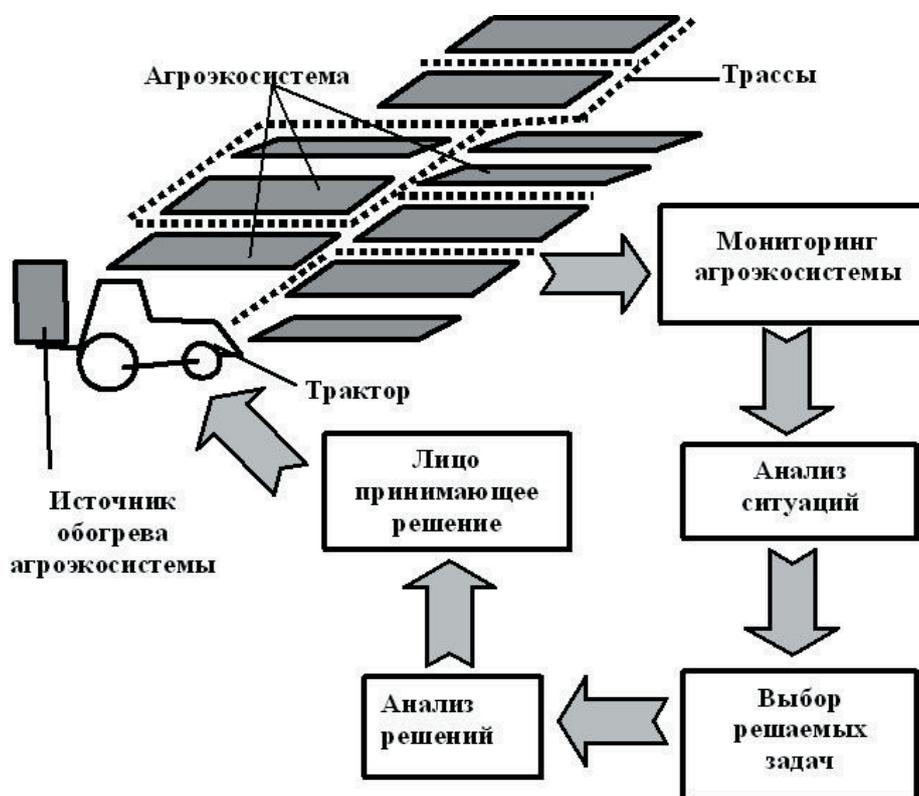


Схема основных этапов поддержки принятия решений при выполнении операций технологического процесса

Схема основных этапов поддержки принятия решений при выполнении операций технологического процесса

ит из центробежного вентилятора, теплогенератора, цилиндрический корпус которого соосно соединен с центробежным вентилятором. Кожух центробежного вентилятора, профиль которого выполнен в виде двухзавитковой улитки, имеет два выходных горизонтальных и взаимно противоположно направленных патрубка для подогретого воздуха. Привод вентилятора осуществляется с помощью конического редуктора через карданный вал от вала отбора мощности трактора. При этом размещение выходных патрубков на одном уровне относительно горизонта, за счет вертикального размещения общей оси вентилятора и теплогенератора, обеспечивает равномерное по высоте

распределение теплого воздуха в зоне растений. Предложенное мобильное устройство [3], по сравнению с аналогом [1] и прототипом [2], дает возможность значительно сократить расход энергетических ресурсов на обогрев открытой агроэкосистемы.

Устройство по патенту [7] предназначено для мониторинга теплового состояния открытой агроэкосистемы в период заморозков и морозов. Измерительными блоками фиксируются текущие значения температуры воздуха агроэкосистемы. Эти значения температур поступают в блок выделения минимального значения. Полученное минимальное значение температуры воздуха агроэкосистемы подается в блок сравнения, где осуществляется его сравнение с ранее заданным допустимым значением температуры. Результат сравнения поступает на вход следящей системы, которая устанавливает необходимую мощность источника тепла. Реализация на устройстве [7] процесса мониторинга теплового режима агроэкосистемы и принятие мер по его поддержанию позволяют экономить энергетические ресурсы.

Устройства по патентам [8, 9] предназначены для реализации процесса поиска мощности дискретного и управляемого по мощности, траектории и скорости движения источника тепла для поддержания наперед заданного теплового режима агроэкосистемы. Устройство [8] позволяет определить мощность источника обогрева по результатам сравнения текущего значения температурного поля агроэкосистемы с заданными нормативными значениями. Устройство [9] дает возможность определить оптимальную (по затратам энергии) трассу передвижения мобильного устройства [3] для обеспечения заданного теплового режима открытой агроэкосистемы. При этом в энергозатраты включены: затраты на расчистку трассы от снега; затраты

8. Технические средства для реализации основных операций технологического процесса

Предложенные авторами патенты [3, 7 – 9] относятся к средствам для механизации и автоматизации процесса обеспечения заданного теплового режима открытой агроэкосистемы. Это обеспечивается целенаправленным воздействием на агроэкологическую систему дискретным, управляемым по мощности, траектории и скорости движения источником тепла. Дадим характеристику этим техническим средствам.

Мобильное устройство по патенту [3] предназначено для транспортировки по заданной трассе источника обогрева открытой агроэкосистемы. Оно состо-

енергии на передвижение мобильного устройства [3] по этой трассе; затраты энергии на функционирование источника обогрева агроэкосистемы [8].

Выводы

1. Результаты анализа особенностей технологического процесса обогрева открытой агроэкосистемы дали возможность сделать вывод о том, что необходимо создание мобильного агрегата для механизации процесса обогрева агроэкосистемы, разработка средств автоматизации, включающих средства мониторинга теплового состояния агроэкосистемы, средств управления мощностью, траекторией и скоростью движения источника обогрева.

2. Для реализации операций рассматриваемого технологического процесса предложены [3, 7 – 9] и защищены патентами на полезные модели: мобильное устройство, совмещенное с трактором, позволяющее повысить эффективность обогрева агроэкосистемы за счет равномерности воздушного потока обогрева агроэкосистемы [3]; устройство для мониторинга теплового режима агроэкосистемы [7]; устройство для управления мощностью источника обогрева агроэкосистемы [8]; устройство для оптимизации трасы передвижения источника обогрева агроэкосистемы [9].

3. Предложенные устройства [3, 7 – 9] могут быть интегрированы в мобильный сельскохозяйственный агрегат для выполнения операций технологического процесса по обеспечению теплового режима открытой агроэкосистемы. Результаты данной работы могут быть использованы при разработке серийных мобильных сельскохозяйственных агрегатов, оснащенных бортовыми специализированными устройствами для обеспечения теплового режима насаждений плодовых культур, находящихся в открытом грунте. Кроме того, такие технические средства могут быть интегрированы в системы точного земледелия [10 – 14].

Литература

1. Берлянд, М. Е. Предсказание заморозков и борьба с ними / М. Е. Берлянд, П. Н. Красилов. – Ленинград: Гидрометеиздат, 1960. – 148 с.
2. Agtec Frost control. Frost Dragon [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.agtecsprayers.com/frostcontrol.html> – загал. з екрану.
3. Мобільний пристрій для захисту рослин від заморозків: пат. № 32163 Україна. / С. Г. Фришев, Г. В. Рудницька, І. О. Колосок; замовник та патентовласник Національ-

ний аграрний університет. – № 2007 13756; заявл. 10.12.2007; опубл. 12.05.2008. Бюл. № 1.

4. Полуэктов, Р. А. Динамические модели агроэкосистемы / Р. А. Полуэктов. – Л.: Гидрометиздат, 1991. – 311 с.
5. Стоян, Ю. Г. Размещение источников физических полей / Ю. Г. Стоян, В. П. Путятин. – К.: Наукова думка, 1981. – 186 с.
6. Смеляков, С. В. Численная реализация математической модели дискретной задачи оптимизации сети трасс / С. В. Смеляков, А. Б. Элькин. // Вісник Харк. нац. ун-ту. № 806. Сер. «Математичне моделювання. Інформаційні технології. Автоматизовані системи керування» – Х.: Харк. нац. ун-т ім. В.Н. Каразіна, 2008. – Вип. 9. – С. 178–191.
7. Пристрій для моніторингу теплового режиму агроекосистеми: пат. № 43162 Україна. / В. І. Пастухов, В. П. Путятін, Г. В. Рудницька; замовник та патентовласник Харків. нац. техн. ун-т сільск. госп. ім. П. Василенка. – № 2009 00695; заявл. 30.01.2009; опубл. 10.08.2009. Бюл. № 15.
8. Пристрій для керування джерелом обігріву агроекосистеми: пат. № 42497 Україна. / В. І. Пастухов, В. П. Путятін, Г. В. Рудницька; замовник та патентовласник Харків. нац. техн. ун-т сільск. госп. ім. П. Василенка. – № 2009 00678; заявл. 30.01.2009; опубл. 10.07.2009. Бюл. № 13.
9. Пристрій для пошуку раціональної траси обігріву агроекосистеми: пат. № 2009 10571. Україна. / В. П. Путятін, Г. В. Рудницька, Б. С. Елькін, О. Б. Елькін; замовник та патентовласник Харків. нац. техн. ун-т сільск. госп. ім. П. Василенка. – № 2009 10571; заявл. 19.10.2009; позит. рішення від 11.01.2010.
10. Ушкаренко, В. О. Система точного землеробства як об'єкт управління / В. О. Ушкаренко, Е. К. Міхеев // Вісник аграрної науки. – 2002. – № 4. – С. 11–16.
11. Кравчук, В. Г. Концептуальні основи побудови систем точного землеробства України / В. Г. Кравчук, Г. А. Баранов // Техніка АПК. – 2000. – № 9. – С. 4–8.
12. Крыжачковский, Н. Анализ разрабатываемых систем «точного земледелия» / Н. Крыжачковский, В. Трагов // Труды Таврической гос. агротехн. акад. – 1999. – Вып. 1. – Том 10. – С. 63–69.
13. Ромащенко, М. І. Концептуальні засади організації інформаційного забезпечення точного землеробства на меліорованих землях / М. І. Ромащенко // Вісник аграрної науки. – 2002. – № 4. – С. 60–64.
14. Шаповалов, В. Д. Автоматика топоориентированных технологий растениеводства / В. Д. Шаповалов // Техника в сельском хозяйстве. – 2001. – № 1. – С. 3–5.