

На правах рукописи



ПЕТРУХИН Владимир Александрович

**ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ СТИМУЛЯЦИЯ ПРИЖИВАЕМОСТИ И РОСТА
ПРИВОЕВ ДРЕВЕСНЫХ РАСТЕНИЙ**

05.20.02 – Электротехнологии и электрооборудование в сельском хозяйстве

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание учёной степени
кандидата технических наук

Москва – 2016

Работа выполнена в Федеральном государственном образовательном учреждении высшего образования «Волгоградский государственный аграрный университет»

Научный руководитель:

Баев Виктор Иванович

доктор технических наук, профессор

Официальные оппоненты:

Воробьев Виктор Андреевич

доктор технических наук, профессор
кафедры «Электропривод и электро-
технологии» РГАУ – МСХА имени
К.А. Тимирязева

Королев Владимир Александрович

кандидат технических наук,
зав. лабораторией «Электрификации
мобильных процессов и водоснабжения»
ФГБНУ ВИЭСХ

Ведущая организация:

ФГБНУ «Нижне-Волжский научно-
исследовательский институт сельского
хозяйства»

Защита диссертации состоится «13» сентября 2016 года в 9:30 часов на заседании Диссертационного совета Д 006.037.01, созданного на базе Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Всероссийский научно-исследовательский институт электрификации сельского хозяйства» (ФГБНУ ВИЭСХ) по адресу: 109456, г. Москва, 1-й Вешняковский проезд, д.2.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГБНУ ВИЭСХ и на сайте <http://viesh.ru>

Автореферат разослан « ____ » _____ 2016 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета,



Некрасов Алексей Иосифович

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы.

Прививка плодово-ягодных культур является одним из важнейших способов их размножения, позволяющих сохранить ценные сортовые свойства. Кроме этого прививка позволяет использовать положительные особенности конкретных подвоев в сочетании с положительными свойствами привитого на него растения, что является полезнейшим свойством данного способа. Однако, несмотря на относительную простоту выполнения прививочных операций, им свойственен ряд проблем. Наиболее серьёзным затруднением является совместимость или несовместимость прививочных компонентов, что в свою очередь предопределяет подвои, на которые можно прививать те или иные сорта и виды растений. Для успеха прививочной операции крайне важным является правильное соединение различных тканей подвоя и привоя. Успешный результат прививки зависит также от быстроты и чистоты сделанных срезов, а сами срезы должны быть соединены с минимальной временной задержкой. Наиважнейшим фактором положительного результата операции является соблюдение сроков выполнения прививки. В условиях Волгоградской области – это март - апрель. Время срастания прививки зависит и от погодных условий. Оптимальной считается температура – плюс 18...22 °С, которая стабильно приходится на конец весеннего и начало летнего сезона.

Все перечисленное существенно влияет на приживаемость прививок. При этом положительный результат срастания прививки на укоренённом растении получается в среднем только в 30 % случаев (при благоприятном сочетании всех необходимых условий полевая приживаемость древесных растений при естественном сращивании, зависящая и от культуры, составляет около 60 %).

В настоящее время известны различные способы стимуляции прививок, в том числе и электрофизические. Однако они осуществимы только на черенках винограда и не могут быть применены на взрослых, укорененных деревьях.

Решением проблемы является применение электрической стимуляции места контакта привоя и подвоя током малой плотности для повышения эффективности срастания прививок. Это вызывает, в свою очередь, необходимость разработки технологии данного приема.

Цель и задачи исследований. Цель исследования – повысить эффективность прививок древесных растений воздействием электрического тока.

Для достижения вышеуказанной цели в теоретических и экспериментальных исследованиях необходимо решить следующие задачи:

- исследовать влияние электрического тока на прививки древесных растений;
- выявить режим наибольшей эффективности электрической стимуляции прививок и его параметры, обеспечивающие надежное прирастание прививок и расширение времени проведения прививочных операций на весь весенне-летний период;
- разработать методику электрической стимуляции каллусообразования, технологические условия и электротехнические средства стимуляции приживаемости привоев;

- уточнить электропроводные свойства растительной ткани древесных культур в процессе прирастания прививок;
- исследовать характер распределения биоэлектрических потенциалов по длине стебля в нормальном состоянии, их изменение в процессе подготовки подвоя, установить распределение биоэлектрических потенциалов по длине стебля в процессе приживаемости привоя;
- определить технологическую и экономическую эффективности электрической стимуляции прививок.

Объектом исследования являются прививки древесных растений при их электрической стимуляции.

Предметом исследования являются закономерности электрического воздействия на прививки.

Методы исследования. Использовались методы математической статистики, корреляционного и регрессионного анализов, интегрального и дифференциального исчислений, математического моделирования. Обработка экспериментальных данных выполнена с использованием компьютера, компьютерных прикладных программ (Microsoft Excel, MathCAD).

Научная новизна исследований:

- разработанная методика электрической стимуляции приживаемости привоев древесных растений, позволяет повысить положительный выход успешных прививок, а также расширить сроки выполнения прививочных операций на весь летний период (патенты РФ №2366159 и №2561932);
- полученные закономерности приживаемости прививки древесного растения под воздействием электрического тока описывают условия повышения процента выхода успешных прививок и расширения календарных сроков проведения данной операции.

Практическая ценность работы:

1. Разработанная методика электрической стимуляции приживаемости привоев обеспечивает повышение положительного выхода успешных прививок, а также расширение сроков выполнения прививочных операций на весь летний период.
2. запатентованный способ электрического стимулирования приживаемости прививок с параметрами, обеспечивающими режим наибольшей эффективности, позволяет надежно срывать прививки в течение всего весенне-летнего периода.
3. Полученные закономерности воздействия электрического тока на прививки растений позволяют повысить процент выхода успешных прививок и расширить календарные сроки проведения данной операции.

Апробация работы.

Материалы исследований доложены и положительно оценены на XII региональной конференции молодых исследователей Волгоградской области по направлению: агрономия, зоотехния и ветеринария (г. Волгоград, 2007 г.); на II международной научно-практической конференции 5-7 декабря 2007 г., посвященной 65-летней годовщине разгрома немецко-фашистских войск под Сталинградом (г. Волгоград, 2007 г.); на международной научно-практической конференции «Проблемы и тенденции устойчивого развития аграрной сферы»

(г. Волгоград, 2008 г.); на международной научно-практической конференции «Использование инновационных технологий для решения проблем АПК в современных условиях», посвященной 65-летию образования Волгоградской государственной сельскохозяйственной академии (г. Волгоград, 2009 г.); на международной научно-практической конференции «Новые направления в решении проблем АПК на основе современных ресурсосберегающих, инновационных технологий», посвященной 65-летию Победы в Великой Отечественной войне (г. Волгоград, 2010 г.); на международной научно-практической конференции «Перспективы инновационного развития АПК « в рамках XXIV Международной специализированной выставки «АгроКомплекс–2014» (г. Уфа, 2014 г.); на международной научно-практической конференции «Научные основы стратегии развития АПК и сельских территорий в условиях ВТО», посвященной 70-летию образования ВолГАУ (г. Волгоград, 2014 г.), на международной научно-практической конференции «Стратегическое развитие АПК и сельских территорий РФ в современных международных условиях», посвященной 70-летию Победы в Великой Отечественной войне 1941-1945 гг. (г. Волгоград, 2015 г.)

Положения, выносимые на защиту:

1. Выявленное благотворное влияние малых значений плотности постоянного электрического тока при наложении отрицательного полюса на привой позволяет поддерживать жизнедеятельность привоя при различных параметрах окружающей среды в течение не только весеннего, но и летнего периодов.

2. Выявленный режим наибольшей эффективности электрической стимуляции прививок и его параметры, обеспечивает надежное прирастание прививок и расширение времени проведения прививочных операций на весь весенне-летний период.

3. Разработанная методика электрической стимуляции каллусообразования позволяет повысить выход успешных прививок древесных растений в 2 раза по сравнению с естественным сращиванием.

4. Предложенный критерий оценки процесса прирастания по изменяющемуся сопротивлению места срастания привоя с подвоем позволяет производить количественную оценку выхода прививки.

5. Экспериментально установленный характер распределения биоэлектрических потенциалов по длине стебля в нормальном состоянии, их изменение в процессе подготовки подвоя, а также установленное распределение биоэлектрических потенциалов по длине стебля в процессе приживаемости привоя позволяет определить стимулирующую разность потенциалов для обеспечения стимулирующей плотности электрического тока.

Реализация результатов исследований.

Результаты исследований внедрены в учебный процесс по дисциплине «Электротехнология» для студентов энергетического факультета ФГБОУ ВО Донской ГАУ (бывш. АЧГАА) и электроэнергетического факультета ФГБОУ ВО Волгоградского ГАУ, обучающихся по специальности «Электрификация и автоматизация сельского хозяйства». Способ электрического стимулирования

приживаемости прививок растений, реализуемый устройством, внедрен в производственном питомнике ФГУП «Волгоградское» г. Волгограда.

Публикация результатов исследований.

По материалам диссертации опубликовано 14 научных работ, в том числе 4 статьи в ведущих рецензируемых научных журналах, рекомендованных ВАК РФ и 2 патента РФ на изобретения.

Структура и объем работы.

Диссертация состоит из введения, пяти глав, общих выводов, списка использованной литературы и приложений. Общий объем диссертации 160 страниц машинописного текста, включая 42 страницы приложения, содержит 4 таблицы и 31 рисунка. Список литературы включает 107 источников, из них 13 на иностранных языках.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность темы исследования.

В первой главе «Прививка древесных растений – основной способ размножения культурных сортов» приведено описание назначения и сущности прививок древесных растений, описаны существующие способы, методы и приёмы повышения приживаемости прививок, рассмотрены строение и физиология прививочного материала древесных культур, сформулированы цель и задачи исследования.

Прививка – это перенесение части одного растения – почки или черенка – на другое растения с целью их взаимного срастания.

К прививочным материала древесных растений относят привой и подвой. Прививаемую часть называют привоем, а то растения, на которое осуществляется прививка, – подвоем. Основной прививаемый компонент – черенок, то есть стебель растения. Выделяют основные ткани стебля: кора, камбий, древесина и сердцевина.

Существующие приемы и способы повышения приживаемости прививок наряду с достоинствами обладают и недостатками, снижающими их эффективность применения. Так, многие способы осуществимы только на саженцах и не могут быть применены на взрослых, укорененных деревьях, либо применимы только при подготовке посадочного материала определенных видов растений, например, винограда.

Помимо прочего в описанных методах имеет место физические факторы, параметры которых могут привести к нежелательным последствиям для здоровья и жизни человека (применение лазерного излучения, высокого напряжения). Это в свою очередь требует наличия специальной подготовки и квалификации персонала, осуществляющего данные операции, а также сложного, громоздкого и дорогостоящего оборудования, с которым затруднительно работать в полевых условиях.

Во второй главе «Теоретические представления о процессе электрической стимуляции прививок древесных растений» приведено описание распределения биоэлектрического потенциала по древесной коре древесных культур, электропроводные свойства растительных тканей прививочных компонентов, рассмотрены гипотеза и количественная оценка процесса электрической стимуляции прививки древесного растения.

Способность проводить электрический ток характеризует электрическое сопротивление тканей древесных растений. Разделяют объёмное и поверхностное сопротивления. Объёмное сопротивление численно характеризует препятствие прохождению тока сквозь толщу ткани растения, а поверхностное сопротивление определяет препятствие прохождению тока по поверхности. Основным показателем электрического сопротивления прививочных компонентов – отрезанных веточек – служит удельное объёмное сопротивление.

Электропроводность зависит от породы древесного растения и направления движения тока.

Для характеристики электропроводности наибольшее значение имеет удельное объёмное сопротивление. Сопротивление тканей растения сильно зависит от наличия влаги в них, а также от клеточной структуры (назначения ткани). Однако влага, с наличием в ней ионов различных питательных веществ, является определяющим фактором электропроводности растения. Очевидно, что с повышением содержания влаги сопротивление уменьшается.

По своей структуре стебель древесных растений представляет собой несколько соосно расположенных слоёв из различных тканей: кора, камбий, древесина и сердцевина.

Таким образом, суммарное удельное объёмное сопротивление стебля складывается из удельных объёмных сопротивлений различных слоёв.

Электропроводность в растительных тканях обусловлена главным образом диффузией ионов (главным образом K^+ , Na^+ и Cl^-) и играет важную роль в транспорте веществ между отдельными клеточными структурами, в генерировании и проведении биоэлектрических импульсов и создании разности потенциалов как между отдельными органеллами клетки, так и между её наружной и внутренней средой.

Стоит отметить, что различие ионного состава среды по обе стороны биологических мембран обуславливает наличие электрических потенциалов в тканях и клетках растения – биоэлектрические потенциалы.

Для срастания привоя и подвоя к плоскости их соприкосновения A_{Π} необходимо доставить ко всем точкам контактирования воду и все химические элементы, из которых образуется растительная ткань по всей площадке A_{Π} . При плохом или полном отсутствии соприкосновения срастание не произойдёт. При полном соприкосновении привоя и подвоя основным способом – процессом доставки перечисленных материалов по древесной структуре – является электрический ток i_{e2} (i_{e1} – сила электрического тока в целой, неразрезанной ветви) под действием естественной разности потенциалов ΔU_e (рис. 1).

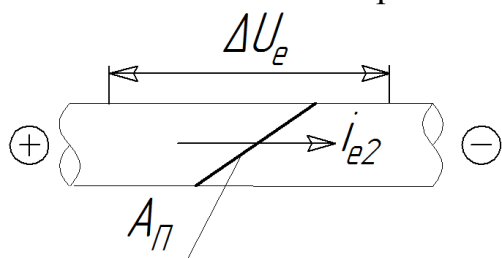


Рисунок 1 – К гипотезе качественного описания процесса электрической стимуляции.

Одновременно с этим с поверхности привоя и подвоя происходит испарение влаги. Количество испаряющейся влаги пропорционально температуре окружающего воздуха t_v и обратно пропорционально его влажности w_v . С течением времени от апреля к июлю-августу t_v воз-

растает, а w_b снижается, количество испарившейся влаги m_w возрастает. Наступает момент, когда количество испаряющейся влаги равно или даже превышает количество воды, поставляемой электрокинетическим процессом из подвоя. С этого момента привой начинает просто высыхать и его прирастание становится невозможным. Прививку при таких t_b и w_b уже проводить бессмысленно – привой просто засыхает.

Очевидно, что для предотвращения высыхания и повышения эффективности процесса прирастания нужно увеличить значение силы тока i_{e2} , то есть увеличить массу M доставляемых к A_n воды, химических элементов и молекул соединений (а точнее dM/dt , так как в данном случае по сути протекает электролиз с той лишь разницей, что вещества не выделяются на электроде, а накапливаются возле него внутри растения из-за наличия большого сопротивления коры. Таким образом мы изменяем i , а согласно первому закону Фарадея $M \equiv q - \text{заряду}$),. Скорость dM/dt тем больше, чем больше значение тока.

Однако с ростом тока увеличивается его плотность и при каком-то её значении мембраны клеток деформируются так, что клеточный сок начинает выходить в межклеточные полости. Под действием температуры t_b вода из клеточного сока будет испаряться и привой, и подвой между наложенными электродами начнут засыхать. Вместо интенсификации срастания привоя и подвоя погибнут.

Из сказанного следует, что процесс срастания привоя и подвоя будет наиболее эффективным при каком-то определенном стимулирующем значении плотности тока.

Изложенные процессы можно описать количественно следующим образом.

Введём понятие степени срастания (степени прирастания) – это отношение сопротивлений места контактирования привоя и подвоя текущего к начальному (сразу после проведения прививки):

$$S_{cp} = R_t / R_n, \quad (1)$$

где R_t , R_n – соответственно, текущее и начальное сопротивление места контактирования привоя и подвоя, Ом.

Сначала это отношение будет равно 1, а затем оно должно падать и в конечном итоге будет существенно меньше 1.

Однако целесообразно иметь такое выражение, чтобы оно было равно в начале 0, а в конце, при полном срастании привоя с подвоем, равнялось 1. Например:

$$S_{cp} = (1 - R_t / R_n). \quad (2)$$

Текущее значение сопротивления уменьшается (рис. 2).

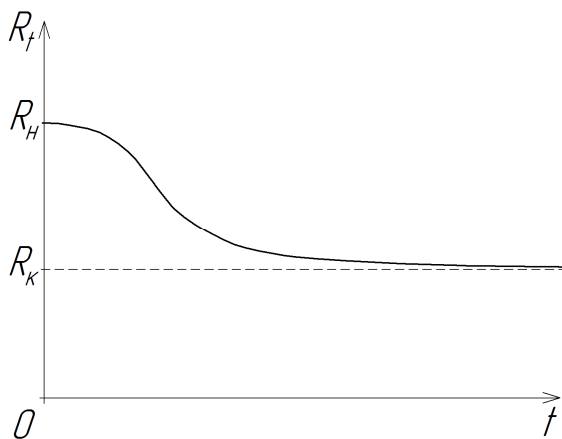


Рисунок 2 – К пояснению степени срастания

Но текущее сопротивление R_T не дойдёт до 0 и S_{cp} не возрастёт до 1. Да и вначале измерений S_{cp} не будет равно 0.

Таким образом оставляем выражение (2) и введём следующие обозначения: масса химических элементов питательных веществ в месте срастания пусть будет M , она, согласно первому закону Фарадея, пропорциональна прошедшему через разрез электрическому заряду Q , то есть $M=k \cdot Q$, где k – электрохимический эквивалент вещества, кг/Кл.

Для того чтобы в месте срастания не «скапливались» лишние ионы, скорость подведения ионов dM/dt должна быть равна скорости течения химических реакций образования элементов растительной ткани в месте срастания прививки.

Очевидно, что скорость подведения ионов питательных веществ $v_M=dM/dt$ (кг/с) будет пропорциональна скорости подведения электрических зарядов v_Q (Кл/с), т.е. $v_M = k \cdot v_Q = k \cdot dQ/dt$. При этом dQ/dt есть электрический ток – i . $dQ/dt=i$.

Электрический ток (заряды) играет роль «транспортного средства» для атомов химических элементов (ионов), из которых образуются молекулы соединительной ткани и сама ткань

$$i = \frac{dQ}{dt} = \frac{1}{k} \cdot \frac{dM}{dt} \quad (3)$$

Откуда скорость нарастания массы клеток будет

$$\frac{dM}{dt} = i \cdot k \quad (4)$$

Степень срастания изменяется во времени. Но зависит от подводимой энергии W из-за изменения сопротивления места срастания. Следовательно, нужно установить зависимость $S_{cp}=f(W)$.

В общем случае подводимая энергия по перемещению зарядов выглядит следующим образом:

$$W = Q \cdot E \cdot l = Q \cdot i \cdot R_{cp} = Q \cdot \frac{1}{k} \cdot \frac{dM}{dt} \cdot R_{cp}, \quad (5)$$

где E – средняя напряженность электрического поля между электродами, В/м,

l – расстояние между электродами, м,

R_{cp} – сопротивление места срастания, а $R_{cp}=f(t)$; t – время, с.

В итоге получаем:

$$e^{W-W_0} = \left(\frac{S \cdot (\alpha \cdot S_0 + (\gamma - \alpha))}{S_0 \cdot (\alpha \cdot S + (\gamma - \alpha))} \right)^{\frac{1}{\alpha - \gamma}} \cdot \left(\frac{S + (\gamma - \alpha)}{S_0 + (\gamma - \alpha)} \right)^{\frac{1}{\alpha}}, \quad (6)$$

где α – коэффициент пропорциональности, 1/Дж; $\gamma=\beta/R_n$ – введённое обозначение (β – коэффициент пропорциональности, Ом/Дж); S_0 – начальное значение степени срастания, о.е.; W_0, W – соответственно, начальное и текущее значение энергии, Дж.

Однако такое выражение не позволяет провести анализ зависимости $S_{cp}=f(W)$. Поэтому произведем упрощение, в выражение степени срастания $S_{cp}=1-(R_T/R_H)$ введём $(R_T/R_H)=S$, то получим

$$S_{cp}=(1-S). \quad (7)$$

Далее будем рассматривать только S .

Проделав аналогичные предыдущим рассуждениям математические преобразования, имеем $dW = -\frac{dS}{\alpha \cdot S - \gamma}$. Интегрируя $\int_{W_0}^W dW = -\int_{S_0}^S \frac{dS}{\alpha \cdot S - \gamma}$, получаем

$$W - W_0 = \frac{1}{\alpha} \ln(\alpha \cdot S_0 - \gamma) - \frac{1}{\alpha} \ln(\alpha \cdot S - \gamma).$$

$$\text{Далее } e^{\alpha(W-W_0)} = \frac{\alpha \cdot S_0 - \gamma}{\alpha \cdot S - \gamma}; \quad (\alpha \cdot S - \gamma) = \frac{(\alpha \cdot S_0 - \gamma)}{e^{\alpha(W-W_0)}},$$

$$S = \left(S_0 - \frac{\gamma}{\alpha} \right) \cdot e^{-\alpha(W-W_0)} + \frac{\gamma}{\alpha}. \quad (8)$$

Проведём анализ полученного выражения.

$$\text{При } W \approx W_0 \quad S = S_0 - \frac{\gamma}{\alpha} + \frac{\gamma}{\alpha} = S_0, \quad S_0 \rightarrow 1 \text{ и } S_{cp} = 1 - S_0 = 0.$$

То есть в начале стимуляции степень срастания $S_{cp}=0$.

$$\text{При } W_0 < W < W_\infty \quad S_{cp} = 1 - \left(S_0 - \frac{\gamma}{\alpha} \right) \cdot e^{-\alpha(W-W_0)} - \frac{\gamma}{\alpha},$$

то есть $S_{cp} \equiv 1 - e^{-\alpha W}$. В диапазоне изменения возможных численных значений показателя степени срастания от 0,1 до 1,5, в который входят его реальные значения в рассматриваемом процессе стимуляции, это выражение описывает линию близкую к прямой.

При $W \rightarrow \infty$ в рассматриваемых условиях $\left(S_0 - \frac{\gamma}{\alpha} \right) \cdot e^{-\alpha(W-W_0)} \rightarrow 0$, а

$$S \rightarrow \frac{\gamma}{\alpha} = const \text{ и } S_{cp} = 1 - \frac{\gamma}{\alpha} = const.$$

То есть степень срастания стремится к своему окончательному значению для сросшейся ткани.

Таким образом, степень срастания привоя и подвоя в зависимости от энергии электрической стимуляции имеет S-образный характер (рис. 3).

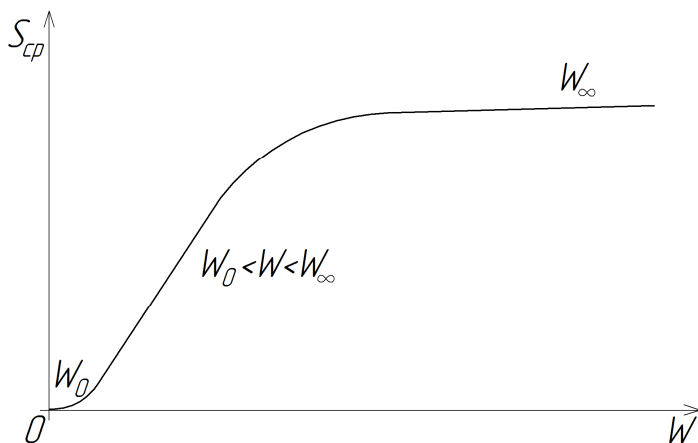


Рисунок 3 – S-образный характер степени срастания от подводимой энергии

Для того чтобы поддерживать при электростимуляции постоянную плотность тока (силу тока), необходимо измерить и вычислить площадь поперечно-

го сечения прививаемых компонентов. Однако проще и точнее измерить сопротивление места контакта привоя с подвоем перед началом стимуляции прививки. В связи с этим для поддержания требуемой плотности тока необходимо изменять приложенное к прививке напряжение, т.е. параметром регулирования процесса следует брать напряжение стимуляции, которое необходимо изменять во времени по выражению

$$u(t) = \sqrt{\frac{R_{cp}}{\alpha t} \ln \left(\frac{1-b}{1-b-S_{cp}} \right)}, \quad (9)$$

где $b=\gamma/\alpha$ – введённое обозначение.

Однако здесь и сопротивление места срастания изменяется во времени, т.е. $R_{cp}=f(t)$.

Экспериментально полученная зависимость $R_{cp}(t)$ имеет экспоненциальный характер и может быть описана различными выражениями, из которых наиболее предпочтительны кусочно-линейная аппроксимация и для анализа, и для практической её реализации специальной электрической схемой, обеспечивающей автоматическое выполнение оптимального режима технологического процесса стимуляции.

$$u(t) = \sqrt{\frac{a_i t + b_i}{\alpha t} \cdot \ln \left(\frac{1-b}{1-b-S_{cp}} \right)} = \sqrt{\left(\frac{a_i}{\alpha} + \frac{b_i}{\alpha t} \right) \cdot \ln \left(\frac{1-b}{1-b-S_{cp}} \right)}, \quad (10)$$

где a – коэффициент пропорциональности; (i принимает значение 1, 2 и 3 по числу линейных участков).

Для упрощения анализа зависимости $u(t)$ и её реализации электрической схемой введём обозначения: $\frac{a_i}{\alpha} \cdot \ln \left(\frac{1-b}{1-b-S_{cp}} \right) = a_c$; $\frac{b_i}{\alpha} \cdot \ln \left(\frac{1-b}{1-b-S_{cp}} \right) = b_c$.

Получаем общее упрощённое выражение

$$u(t) = \sqrt{\frac{b_c}{t} + a_c}. \quad (11)$$

Для каждого линейного участка функции $R_{cp}=f(t)$ выражение для напряжения стимуляции будет

$$u_1 = \sqrt{\frac{b_{c1}}{t} + a_{c1}}; \quad u_2 = \sqrt{\frac{b_{c2}}{t} + a_{c2}}; \quad u_3 = \sqrt{\frac{b_{c3}}{t} + a_{c3}}. \quad (12)$$

В третьей главе «Методика экспериментальных исследований» описаны методика измерения электрических потенциалов на коре древесных культур, методика измерения электропроводных свойств прививочных компонентов, схема и методика электрической стимуляции прививок, методика обработки результатов экспериментальных исследований.

Эксперименты по определению распределения потенциала по длине растения в неповреждённом и повреждённом состоянии проводились на традесканции обычной, Золотом усе и яблони сорта «Лоуфам».

Измерение электропроводных свойств прививочных компонентов сводилось к определению их удельного сопротивления. Измерение сопротивления проводилось по методу амперметра-вольтметра.

Измерение и расчёт удельного сопротивления проводился на черенках сливы сорта «Гернослив», яблоне сорта «Фиолетовая» («Лоуфам»), вишне сорта «Владимирская» и абрикосе сорта «Краснощекий». При этом измерение и расчёт удельного объёмного сопротивления осуществлялся для различных слоёв черенка, а именно:

- целый черенок (внешний электрод наложен на кору);
- с удалённой корой (внешний электрод наложен на луб) (для семечковых);
- с удалённым лубом и с удалённым камбием (чистая древесина).

Способ электрической стимуляции приживаемости прививки осуществляется следующим образом: после выполнения прививки (производилось наложение электродов, выполненных из нержавеющей фольги в виде полоски размером 10x40 мм с припаянными проводами. Электроды накладывались кольцевым охватом на привой и подвой рядом с защитной обмоткой места «спая» прививки. Оба конца полоски электрода фиксировались зажимом. Под электроды подкладывалась вата, смоченная 5 %-ым раствором NaCl (либо KCl). Принципиальная электрическая схема стимуляции прививки представлена на рис. 4.

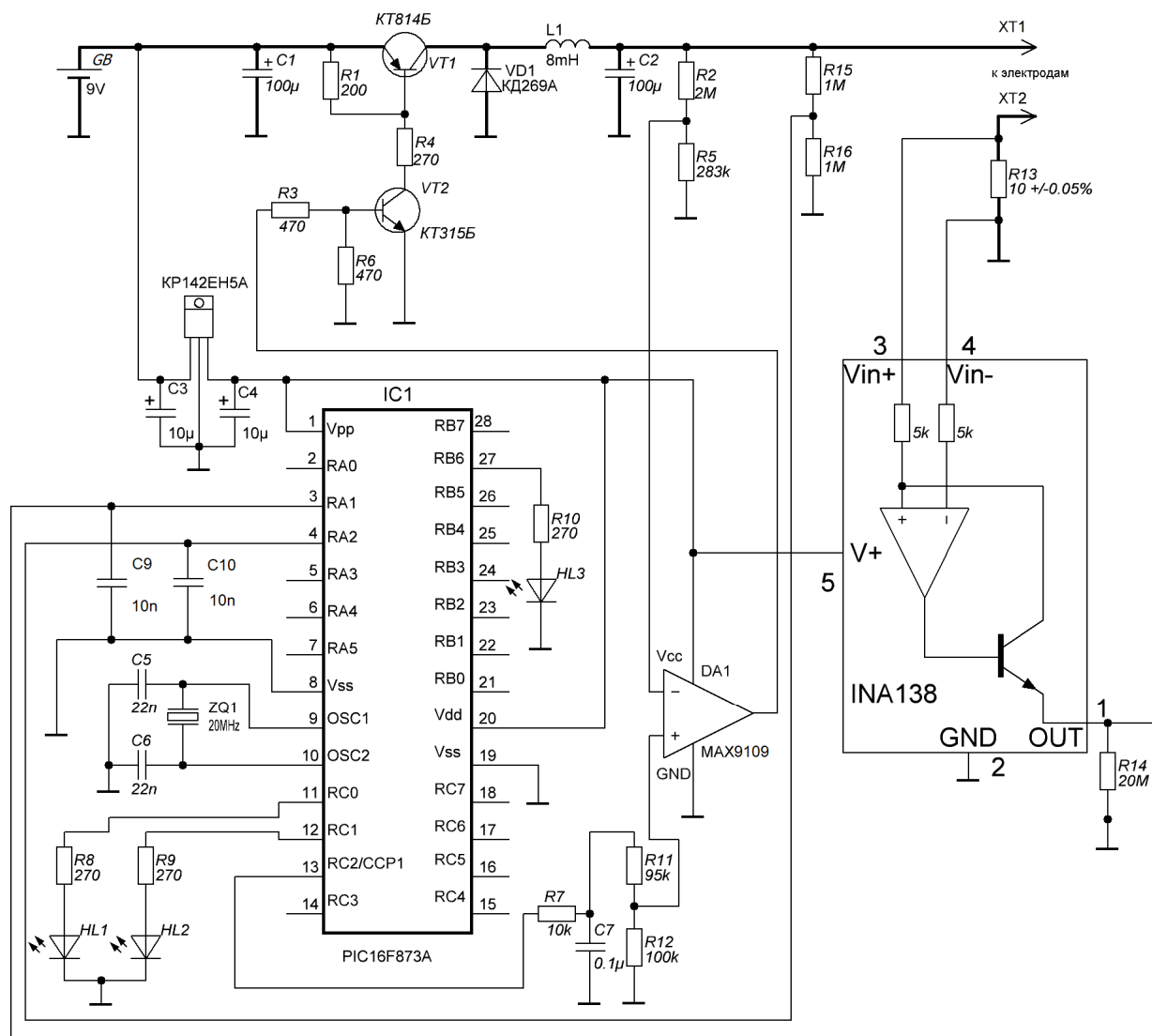


Рисунок 4 – Схема принципиальная электрическая стимуляции прививки.

После наложения электродов электрическая цепь замыкалась. Электростимулирование осуществлялось постоянным током с плотностями тока 0,25; 0,50; 0,75; 1,00; 1,25; 1,50 мкА/мм². Положительный потенциал подводился к подвою, отрицательный к привою. Электростимулирование продолжалось в течение 7...10 суток. Значение стимулирующего тока контролировалось с помощью микроамперметра и поддерживалось путём изменения напряжения на электродах потенциометром. По прошествии вышеуказанного временного промежутка стимулирование прекращалось, обвязка снималась, и делался вывод о срачивании прививки. Параллельно проводилась контрольная прививка, без стимуляции электрическим током.

В четвертой главе «Экспериментальные исследования электрической стимуляции прививок древесных культур» представлены распределение потенциалов по поверхности коры в функции параметров среды (влажность и температура), определение режима наибольшей эффективности электрической стимуляции прививок.

Биоэлектрический потенциал может достаточно точно характеризовать уровень жизнедеятельности дерева. Однако следует учитывать, что этот потенциал подвержен суточной ритмике, а также тесно связан с климатическими факторами.

На основании опытов получена однозначная суточная периодичность биоэлектрического потенциала, снимаемого с подвоя возле среза (ϕ_2) и у основания черешка – гипоподия (ϕ_3), с температурой и относительной влажностью окружающего воздуха.

Таким образом, по полученным результатам и литературным данным между биоэлектрическим потенциалом и температурой существует прямая, а относительной влажностью воздуха – обратная зависимости. Однако стоит отметить, что, в отличие от ранее выполненных исследований, описываемые опыты проводились в процессе повреждения ветви, коим являются прививки.

На рис. 5, 6, 7 приведены графики суточного изменения потенциала в разных точках ветви дерева: при отсутствии спая прививки, как контроля, при наличии спая без наложения стимулирующей разности потенциала, как второго контроля и при наличии спая прививки с наложенной стимулирующей разностью потенциала.

Данные кривые получены при относительно постоянных температуре и влажности воздуха.

Из графиков видно, что наличие разреза потенциал ϕ_1 привоя в несколько раз превышает потенциал ϕ_2 подвоя до места спая. Это означает, что место спая прививки имеет очень высокое электрическое сопротивление, что свидетельствует о препятствии прохождению ионов химических соединений («строительных материалов»), необходимых для срачивания привоя с подвоем.

Для устранения этого препятствия, как следует из рис 6, к месту спая необходимо приложить внешнюю разность потенциалов, компенсирующую разность потенциалов по рис. 7. Эта разность потенциалов и обеспечивает стимулирующую плотность электрического тока.

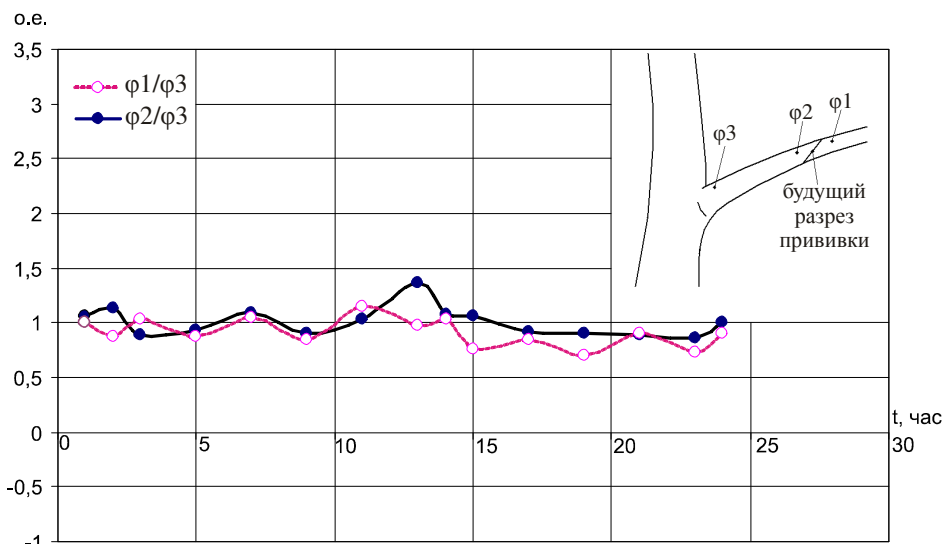


Рисунок 5 - Изменение биоэлектрических потенциалов целой ветви

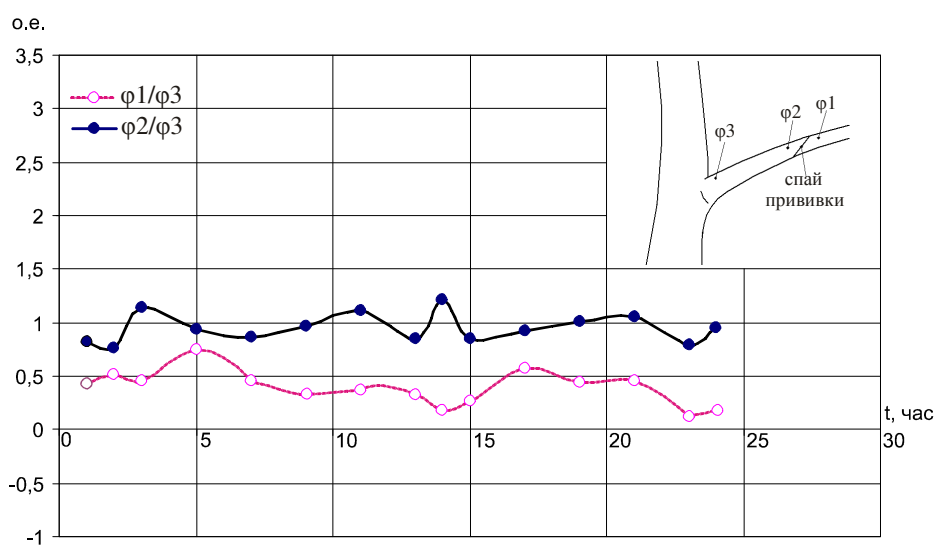


Рисунок 6 - Изменение биоэлектрических потенциалов контрольной прививки без стимуляции

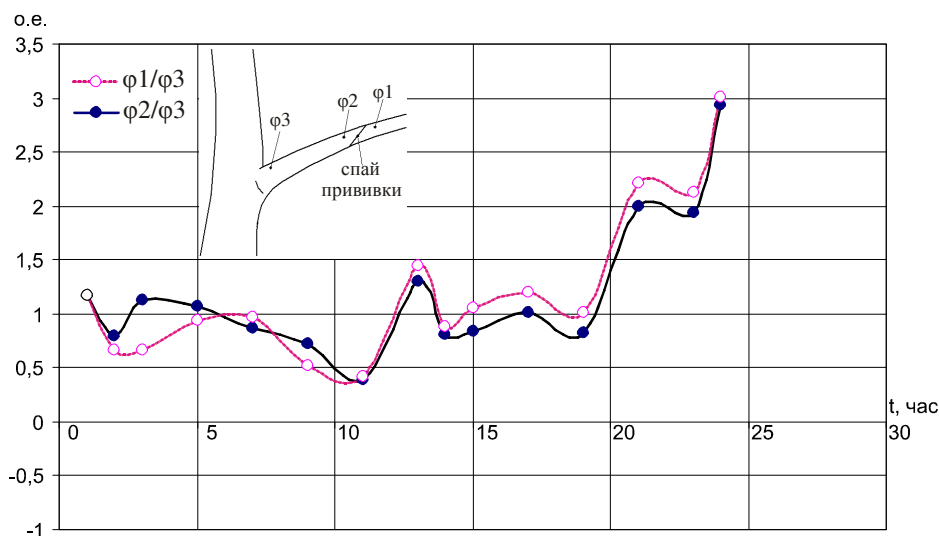


Рисунок 7 - Изменение биоэлектрических потенциалов прививки со стимуляцией

С целью проверки теоретических представлений о том, что срастание привоя и подвоя в зависимости от энергии электрической стимуляции имеет S-образный характер, были проведены экспериментальные измерения сопротивлений и значений степени срастания для разных сечений (диаметров) прививок.

На основании расчетов по формуле (7) и (8) и результатов экспериментальных измерений построены графики зависимости степени срастания от энергии электрической стимуляции (рис. 8).

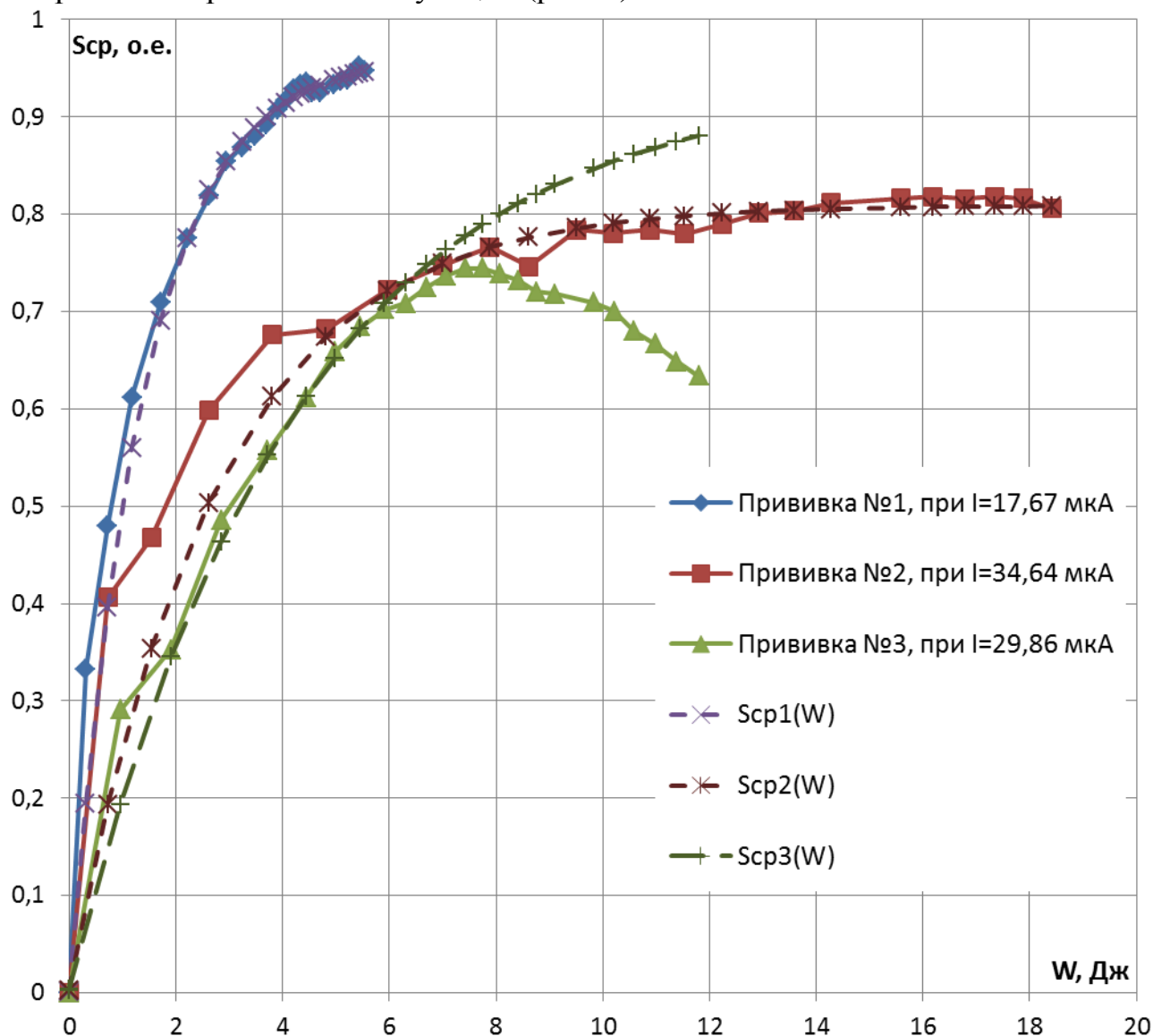


Рисунок 8 – Зависимость степени срастания от подводимой энергии при электрической стимуляции прививки яблони сорта «Лоуфам» (при $j = 0,9$ мкА/мм²).

В связи с тем, что электростимуляция места контактирования привоя и подвоя осуществлялась сразу же (с минимальной задержкой по времени) после выполнения прививочной операции, то в этом случае при малых значениях энергии степень срастания имеет очень малые значения.

Но вместе с этим степень срастания очень быстро изменяется вначале подачи стимулирующего напряжения, поэтому самые начальные значения степени срастания появляются при очень малых количествах подведенной энергии, то есть начальный изгиб графика будет при сотых долях Джоуля.

Анализ графиков говорит о достоверности теоретических представлений о S-образном характере степени срастания.

Здесь необходимо отметить несовпадение зависимостей $S_{cp}(W)$ для приведенных вариантов прививок. Это объясняется заметным различием диаметров прививочных компонентов ($d_1=5$ мм, $d_2=7$ мм, $d_3=6,5$ мм) и различными значениями их сопротивлений.

Анализ характера графиков на рисунке 8 показывает, что степень срастания прививки №3 после подведения 7,75 Дж начала уменьшаться. Это говорит о том, что процессы срастания в ней прекратились и, не смотря на электростимуляцию, данный образец начал усыхать. Таким образом, данный факт позволяет сделать вывод о правильности принятия степени срастания в качестве показателя критерия оценки эффективности электрической стимуляции прививок.

Среднее относительное расхождение результатов расчетов по теоретической формуле степени срастания и ее значений по результатам измерений составляет $\Delta_1=1,995\%$, $\Delta_2=3,747\%$, $\Delta_3=3,241\%$ (до момента усыхания).

С целью нахождения режима наибольшей эффективности электрической стимуляции прививок экспериментальным путём получены средневзвешенные значения времени жизни привоя от плотности стимулирующего электрического тока и представлены на рисунке 9. Принятые обозначения: t – время, в течение которого усыхание привоя составило более 50 %, сутки; j – плотность стимулирующего электрического тока, $\mu\text{кА}/\text{мм}^2$.

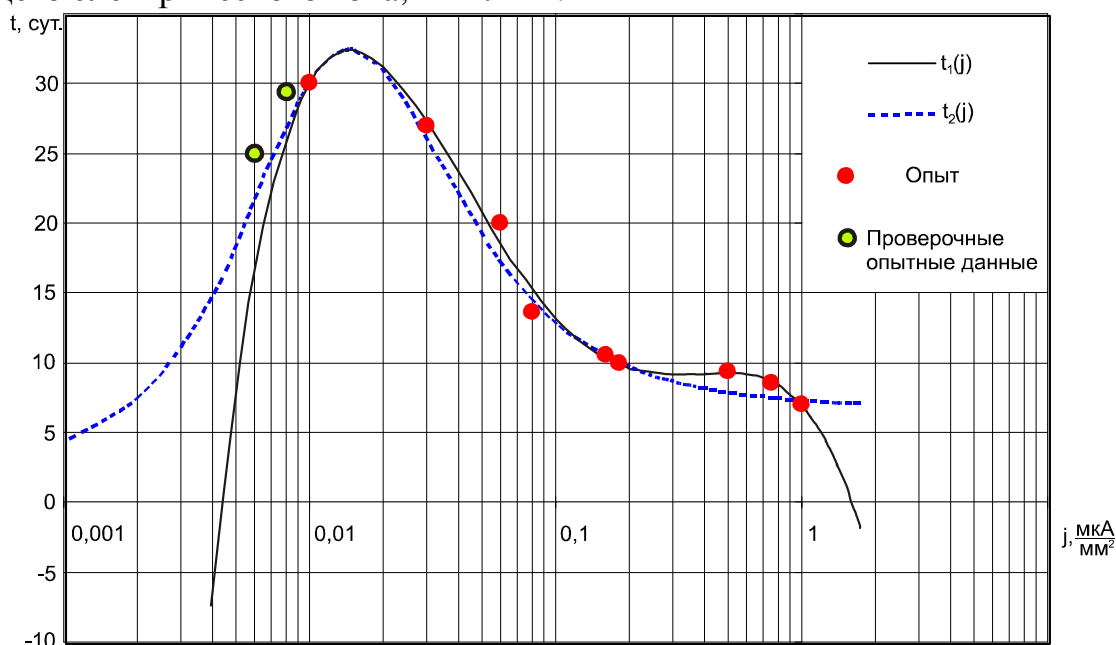


Рисунок 9 - Опытные данные времени жизни привоя от плотности стимулирующего электрического тока и регрессионные зависимости, аппроксимирующие результаты экспериментов.

Анализа результатов экспериментов привел к двум вариантам математического описания приведённой зависимости. Первый вариант:

$$t_1(j)=0,015\ln(j)^5-0,471\ln(j)^4-4,580\ln(j)^3-10,433\ln(j)^2-8,629\ln(j)+6,922,$$

коэффициент детерминации при этом равен $R^2=0,991$.

Второй вариант:

$$t_2(j) = 11,922e^{1 - \left(\frac{0,0321}{j+0,011} - 1,252 \right)^2},$$
$$R^2 = 0,977.$$

Графики формульных зависимостей экспериментальных данных приведены на рисунке 9.

Обе зависимости имеют совпадающие максимумы, однако в крайних значениях имеются различия. При малых плотностях тока значения функции $t_2(j)$ соответствуют гипотезе о стимулирующей роли электрического тока, но при больших плотностях тока не соответствует ей, так как при некоторой плотности тока должно наступить полное поражающее влияние на растение. Этому соответствует $t_1(j)$. Однако, всё же второй вариант – $t_2(j)$ – с введением граничного условия достаточно точно описывает зависимость стимулирующего действия электрического тока от его плотности.

В пятой главе «Технико-экономическая оценка электрической стимуляции прививок древесных культур» представлена оценка технологической и экономической эффективности электрической стимуляции прививок древесных растений. Электрическая стимуляция прироста прививок древесных культур в 2 раза сокращает затраты труда на выполнение прививочных операций. Полные трудозатраты на получение ожидаемого положительного выхода прививок уменьшаются на 47,05%, при этом рост производительности труда составит 1,89. Годовой коммерческий экономический эффект от применения 100 устройств в течение летнего периода составит 35037,87 руб.

ВЫВОДЫ

1. Анализ существующих способов электрического воздействия на растения показал благотворное влияние на их рост и развитие. Воздействие электрическим током на прививки древесных растений позволяет поддерживать жизнедеятельность привоя при различных параметрах окружающей среды. Для этого к привою и подвою подводится регулируемое напряжение от источника постоянного тока, обеспечивающее протекание через место прививки тока плотностью в сотые доли мкА/мм². При этом к электродам на привое подключается отрицательный, на подвое – положительный полюс источника.

2. Проведенные в весенний и летний периоды исследования влияния электрического тока показали S-образный характер степени срастания прививок от подведенной энергии и наличие максимума кривой времени жизни привоя от плотности тока, что свидетельствует о наличии параметров наибольшей эффективности электрического стимулирования для конкретного вида плодовых культур. Поскольку с течением времени степень срастания прививки возрастает, а сопротивление места срастания нелинейно уменьшается, то для наибольшей эффективности электрической стимуляции прививок воздействие необходимо осуществлять при нелинейном изменении стимулирующего напряжения на электродах в соответствии с полученными аналитическими выражениями.

3. Разработана методика электрической стимуляции каллусообразования, позволяющая обеспечить режим наибольшей эффективности. Для этого на привой и подвой накладываются специальные электроды на расстоянии 30...40 мм друг от друга, к которым подводится регулируемое напряжение от источника постоянного тока, и поддерживается плотность тока в диапазоне 0,008...0,03 мкА/мм² в течение 7 суток.

4. Экспериментальное уточнение сопротивления древесных растений как проводников с удельным объемным сопротивлением, зависящим от содержания влаги и контакта места соприкосновения привоя и подвоя, позволило обоснованно ввести критерий оценки степени срастания прививок как отношение сопротивлений места контактирования: текущего к начальному, сразу после выполнения прививки.

5. Экспериментально установлено, что после выполнения прививки естественный потенциал привоя в несколько раз превышает потенциал подвоя до места контактирования прививочных компонентов, то есть место контакта привоя и подвоя имеет очень высокое электрическое сопротивление, что свидетельствует о препятствии прохождению ионов химических соединений (питательных веществ), которые необходимы для срастивания привоя с подвоем. Это позволяет определить величину внешней большей разности потенциалов, которую необходимо приложить к месту контакта прививочных компонентов, что и обеспечивает стимулирующую плотность электрического тока.

6. Выполненными исследованиями установлено, что электрическая стимуляция увеличивает технологическую и экономическую эффективности прививок:

- положительный выход прививок возрастает в 2 раза;
- электрическая стимуляция прироста прививок древесных культур в 2 раза сокращает затраты труда на выполнение прививочных операций;
- полные трудозатраты на получение ожидаемого положительного выхода прививок уменьшаются на 47,05% при росте производительности труда в 1,89 раза;
- расход прививочных материалов уменьшается в 2 раза;
- годовой экономический эффект от применения 100 устройств в течение весенне-летнего периода составит 35037,87 руб.

СПИСОК РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Статьи, опубликованные в изданиях, рекомендованных ВАК

1. Баев, В. И. Влияние электрического тока на приживаемость привоя [Текст] / В.И. Баев, В.А. Петрухин // Механизация и электрификация в сельском хозяйстве. – 2010. – №2. – С. 12-13.

2. Баев, В. И. Улучшение приживаемости прививок плодовых деревьев при электростимулирующем воздействии [Текст] / В.И. Баев, В.А. Петрухин // Техника в сельском хозяйстве. – 2012. – №2. – С. 13-16.

3. Баев, В.И. Качественное описание процесса прирастания прививок растений при электрической стимуляции [Текст] / В.И. Баев, В.А. Петрухин // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование – Волгоград: ИПК Волгоградский ГАУ «Нива», 2014. – №4 (36) – С. 241-245.

4. Баев, В.И. Количественная оценка процесса электрической стимуляции прирастания прививок древесных растений [Текст] / В.И. Баев, В.А. Петрухин // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование – Волгоград: ИПК Волгоградский ГАУ «Нива», 2015. – №1 (37) – С. 179-183.

Патенты

5. Способ электрического стимулирования приживаемости прививок растений [Текст]: пат. 2366159 Рос. Федерация: МПК А01G 7/04 (2006.01)/ Баев В.И., Петрухин В.А.; заявитель и патентообладатель Волгоградская государственная сельскохозяйственная академия (РФ). – № 2007145142/12; заявл. 04.12.2007; опубл. 10.09.2009, Бюл. № 25. – 4 с.

6. Способ электрического стимулирования приживаемости прививок растений [Текст]: пат. 2561932 Рос. Федерация: МПК А01G 7/04, А01G 1/06 (2006.01)/ Баев В.И., Петрухин В.А.; заявитель и патентообладатель Волгоградский государственный аграрный университет (РФ). – № 2014131635/13; заявл. 29.07.2014; опубл. 10.09.2015, Бюл. № 25. – 6 с.

Статьи, опубликованные в других изданиях

7. Петрухин, В.А. Воздействие электрического тока на развитие привоев растений [Текст] / В.А. Петрухин // Материалы XII региональной конференции молодых исследователей Волгоградской области / ФГОУ ВПО «ВГСХА». – Волгоград, 2008. – С. 159-160.

8. Баев, В.И. Электрическая стимуляция приживаемости привоев растений [Текст] / В.И. Баев, В.А. Петрухин // Энергосберегающие технологии. Проблемы их эффективного использования: материалы II междунар. науч.-практ. конференции 5-7 декабря 2007 г.: [посвящ. 65-летней годовщине разгрома немецко-фашистских войск под Сталинградом] / редкол.: И. В. Юдаев [и др.] – Волгоград: ИПК ФГОУ ВПО ВГСХА «Нива», 2008. – С. 81-82.

9. Петрухин, В.А. Методика исследования электрической стимуляции приживаемости привоев растений [Текст] / В.А. Петрухин, В.И. Баев // Проблемы и тенденции устойчивого развития аграрной сферы. Материалы Международной научно-практической конференции: в 2 т. – Волгоград: ИПК ФГОУ ВПО ВГСХА «Нива», 2008. – Т.2.– С. 246-248.

10. Баев, В.И. Стимуляция приживаемости привоев древесных растений электрическим воздействием [Текст] / В.И. Баев, В.А. Петрухин // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса – Волгоград: ИПК ФГОУ ВПО ВГСХА «Нива», 2008. – №4 (12) – С. 168-172.

11. Петрухин, В.А. Расширение сроков прививок древесных растений воздействием электрическим током [Текст] / В.А. Петрухин, В.И. Баев // Ис-

пользование инновационных технологий для решения проблем АПК в современных условиях. Материалы Международной научно-практической конференции, посвященной 65-летию образования Волгоградской государственной сельскохозяйственной академии: в 3 т. – Волгоград: ФГОУ ВПО Волгоградская ГСХА, 2009. – Т.3.– С. 55-57.

12. Петрухин, В.А. Повышение эффективности прививки древесных растений воздействием электрического тока [Текст] / В.А. Петрухин, В.И. Баев // Новые направления в решении проблем АПК на основе современных ресурсосберегающих, инновационных технологий. Материалы научно-практической конференции, посвященной 65-летию Победы в Великой Отечественной войне, Волгоград 26 – 28 января 2010 г.: в 3 т. – Волгоград: ИПК «Нива», 2010. – Т.3. – С. 299-302.

13. Баев, В.И. Приживаемость прививок древесных растений с помощью электрического тока [Текст] / В.И. Баев, В.А. Петрухин // Перспективы инновационного развития АПК: материалы международной научно-практической конференции в рамках XXIV Международной специализированной выставки «АгроКомплекс–2014». Часть II. – Уфа: Башкирский ГАУ, 2014. – С. 212-217.

14. Баев, В.И. Гипотеза и количественное описание процесса прирастания прививок растений под воздействием электрического тока [Текст] / В.И. Баев, В.А. Петрухин // Научные основы стратегии развития АПК и сельских территорий в условиях ВТО. Материалы Международной научно-практической конференции, посвященной 70-летию образования ВолГАУ, Волгоград 28 – 30 января 2014 г.: в 3 т. – Волгоград: ИПК «Нива», 2014. – Т.3. – С. 464-468.