

ТАВРИЧЕСКАЯ ГОСУДАРСТВЕННАЯ
АГРОТЕХНИЧЕСКАЯ АКАДЕМИЯ

На правах рукописи

ВАСИЛИШИН РОМАН ВИКТОРОВИЧ

УДК 631.331.92

**ОБОСНОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ
РЕЖИМОВ И ПАРАМЕТРОВ УСТРОЙСТВА
ДЛЯ ЛАЗЕРНОГО ПРЕДПОСЕВНОГО
ОБЛУЧЕНИЯ СЕМЯН ОВОЩНЫХ КУЛЬТУР**

05.09.16 – Электротехнологии и электрооборудование в агропро-
мышленном комплексе

Диссертация на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Научный руководитель

Диордиев Владимир Трифонович
кандидат технических наук, профессор

Мелитополь – 2005

СОДЕРЖАНИЕ

ПЕРЕЧЕНЬ УСЛОВНЫХ СОКРАЩЕНИЙ	5
ВВЕДЕНИЕ	6
РАЗДЕЛ 1. СОСТОЯНИЕ ПРОБЛЕМЫ И ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЗАДАЧ ИССЛЕДОВАНИЙ	14
1.1. Связь посевных качественных показателей семян с урожаем	15
1.2. Процессы, происходящие при прорастании семян	17
1.2.1. Покой, его нарушение, прорастание семян и роль факторов среды	18
1.2.2. Роль света в процессах прорастания семян	24
1.3. Основные методы предпосевной стимуляции семян овощных культур	28
1.3.1. Классификация методов предпосевной стимуляции семян овощных культур с использованием электро- магнитных полей	29
1.3.2. Сравнительный анализ методов предпосевной стимуляции семян с использованием электромагнитных полей	30
1.4. Обзор методов и устройств для лазерной обработки семян растений	34
1.5. Определение задач исследований	37
Выводы к разделу	38
РАЗДЕЛ 2. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПРЕДПОСЫЛКИ ДЛЯ ОБОСНОВА- НИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РЕЖИМОВ ПРЕДПОСЕВНОЙ СВЕТОЛАЗЕРНОЙ ИМПУЛЬСНОЙ СТИМУЛЯЦИИ ВСХОЖЕСТИ СЕМЯН	39
2.1. Моделирование процесса стимуляции всхожести семян световой энергией	39

2.2. Анализ модели и определение соотношений основных параметров режимов импульсного светолазерного облучения	41
Выводы к разделу	56
РАЗДЕЛ 3. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПАРАМЕТРОВ РЕЖИМОВ ИМПУЛЬСНОГО СВЕТО-ЛАЗЕРНОГО ПРЕДПОСЕВНОГО ОБЛУЧЕНИЯ СЕМЯН ОВОЩНЫХ КУЛЬТУР	
3.1. Методы и объекты исследований	57
3.1.1. Объекты исследований	57
3.1.2. Методика определения лабораторной всхожести и силы прорастания семян овощных культур	59
3.1.3. Статистическая обработка результатов	61
3.1.4. Оборудование и приборы для проведения экспериментальных исследований	62
3.2. Планирование и проведение активного эксперимента для определения параметров режимов предпосевного лазерного импульсного облучения семян овощных культур	75
3.2.1. Определение входных факторов	75
3.2.2. Определение оптимального типа и плана эксперимента и значений уровней варьирования входных факторов	86
3.2.3. Проведение эксперимента и обработка его результатов	86
3.2.3 Обобщение полученных экспериментальных результатов	103
3.2.4 Сравнение полученных экспериментальных результатов с теоретически полученными моделями	105
3.3. Пути реализации технологий предпосевного импульсного лазерного облучения семян овощных культур	107
Выводы к разделу	108

РАЗДЕЛ 4. РЕЗУЛЬТАТЫ ЛАБОРАТОРНЫХ И ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ИСПЫТАНИЙ РЕЖИМОВ ПРЕДПОСЕВНОГО ЛАЗЕРНОГО ИМПУЛЬСНОГО ОБЛУЧЕНИЯ СЕМЯН ОВОЩНЫХ КУЛЬТУР И ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИХ ВНЕДРЕНИЯ	110
4.1. Технология предпосевного импульсного облучения семян овощных культур	110
4.2. Исследование устойчивости работы лазерной приставки.	123
4.2.1. Разработка и анализ структурных схем управления	123
4.2.2. Определение технической устойчивости работы лазерной приставки	134
4.2.3. Анализ устойчивости импульсной системы управления	137
4.3 Результаты испытаний предпосевного лазерного импульсного облучения семян овощных культур в производственных условиях	141
4.4. Определение экономической эффективности от внедрения технологий предпосевного лазерного импульсного облучения семян овощных культур	145
Выводы к разделу	146
ОБЩИЕ ВЫВОДЫ	148
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ	150
ПРИЛОЖЕНИЯ	161

ПЕРЕЧЕНЬ УСЛОВНЫХ СОКРАЩЕНИЙ

ПФЭ – полнофакторный эксперимент;

РЦКП – ротатабельный центральный композиционный план;

ОЭ – отсеивающий эксперимент;

ПКС – посевные качества семян;

ЛВ – лабораторная всхожесть;

ЭП – энергия прорастания;

ВВЕДЕНИЕ

В современных условиях уровень развития любой страны измеряется не только и не столько экономическими показателями, а и развитием ее человеческого потенциала, что включает и показатели здоровья населения. Несомненно, эти показатели определяются в значительной степени не только количественными, но и структурными соотношениями имеющейся продовольственной базы. Так, незаменимым источником витаминов, без которых о здоровом питании населения, а, следовательно, и о его здоровье, говорить не приходится, служит овощная продукция. Между тем, положение в стране в этой области не может не вызывать тревогу. За последние годы потребление овощей снизилось с 102,5 кг на душу в 1990 до 92,3, тогда как норма потребления овощей по рекомендации Киевского НИИ гигиены питания должна составлять 134 кг, из них свежих 94,3 кг [1]. Таким образом, производство овощей, которое и ранее едва превышало критическую границу и было далеким от рациональной границы, снизилось до критических показателей [2]. Это прежде всего связано с недостаточной площадью, занимаемой овощными культурами как в открытом, так и в закрытом грунте. Примером служит тот факт, что площадь сооружений закрытого грунта не превышает 55% от необходимых для обеспечения населения страны [3].

Между тем, для решения проблемы повышения валового сбора овощей необходимо также и решение проблемы повышения урожайности. Так, в последние годы площадь под овощами даже несколько возросла при том, что падение валового сбора продолжается [4], что может быть объяснено целым рядом факторов, в том числе и перераспределением большей доли в производстве овощной продукции в пользу малых по площади хозяйств. Между тем, запланированное наращивание производства овощей в 2005 г. до 1625 тыс. т. (в 2,5 раза по сравнению с 1998 г.) и доведение рентабельности овощеводства до +43,3% [5] требует

тщательного анализа всей технологической цепочки и комплексного решения имеющихся проблем.

Первым и одним из наиболее важных звеньев в производстве овощей, которое во многом определяет эффективность всего производственного цикла, является обеспечение качественным посевным материалом. Между тем, именно здесь наметился ряд серьезных проблем. Так, разрушение единой системы «Укрсортсемяовощ», которая обеспечивала хозяйства качественными семенами (в 1985 году семян овощей 28 467 ц., из них огурцов 8837 ц., помидоров 2588 ц., баклажан 200 ц., перца сладкого 230 ц.) [6], перераспределение основной доли производства овощей в небольшие хозяйства, которые не имеют возможностей проверять посевные качества семенного материала и хранить семена в надлежащих условиях, отсутствие единой эффективной системы контроля качества, необходимость иметь значительный страховой фонд и другие привели к значительному снижению качества семян, а отсюда и повышению производственных затрат и снижению выхода продукции. Следует упомянуть, что в торговую сеть часто попадают семена с низкой всхожестью (40-60% и ниже) [7], причем эти проблемы актуальны не только для Украины, но и для России [8,9], других стран СНГ.

Поэтому важное значение имеет внедрение средств контроля качества семян, способов и устройств для предпосевной стимуляции их всхожести. Среди таких способов широкое распространение получило облучение лазером семян с целью повышения их посевных качеств, стимуляции развития растений и повышения урожайности [10,11]. Однако имеющиеся многочисленные рекомендации в своем большинстве имеют сугубо эмпирическое обоснование, рекомендуемые режимы выбирались зачастую произвольно или исходя из наличной технической базы, а порой и обобщались для других культур и условий, не выдерживая потом производственной проверки. Между тем, именно это и является препят-

ствием для их широкого внедрения, необходимость в котором несомненна [12]. Также сдерживает производственное применение лазерной стимуляции недостаточная проработка технической базы, поскольку сезонность применения универсального лазерного оборудования для предпосевного облучения делает его нерациональным, тогда как дешевых, применимых в условиях небольших хозяйств лазерных облучательных установок, способных менять технологические параметры облучения в зависимости от культуры, сорта и качества семян, не создано. Между тем, наличие современных микропроцессорных средств, высокочувствительных измерительных преобразователей и микролазерных излучателей дает основание утверждать о возможности создания и внедрения таких устройств.

Актуальность темы. Посевные качества семян во многом определяют урожайность овощных культур. Между тем необходимость иметь страховой фонд семян по целому ряду культур, снижение посевных качеств семян при хранении, особенно в неоптимальных условиях, отсутствие единой эффективной системы контроля за качеством поставляемого семенного материала приводят к снижению качественных показателей семян, что зачастую ведет к недостаточно рациональному использованию площадей под овощными культурами, повышению затрат на их выращивание и недобору урожая. Поэтому широко применяются различные методы предпосевной стимуляции семян, которые к тому же оказывают стимулирующее воздействие не только на процессы прорастания, но и на рост, развитие растений и позволяют тем самым повысить урожайность овощных культур.

Одним из наиболее эффективных способов предпосевной стимуляции семян является облучение их лазером, особенно импульсное. Однако существующие рекомендации в значительной степени основаны на эмпирических данных, носящих случайный характер и не имеющих достаточного теоретического обоснования, что существенно сдерживает

их широкое внедрение. Также относительно высокая стоимость универсального лазерного оборудования, сезонность его применения для предпосевного облучения семян препятствует его использованию в условиях сельскохозяйственного производства, особенно для небольших хозяйств (фермерских, индивидуальных и приусадебных), для которых они наиболее необходимы в силу невозможности проведения ими достаточного контроля приобретаемых семян. Поэтому поиск и обоснование наиболее эффективных технологических режимов облучения семян овощных культур с использованием информации об исходных качественных показателях семян, разработка технологических средств для облучения семян различных культур, сортов и исходного качества для условий различных хозяйств - одно из перспективных направлений для повышения эффективности импульсного лазерного стимулирования семян овощных культур и повышения эффективности овощеводства в целом.

Поставленная задача эффективно решается путем стимуляции фитохромной системы семян при импульсном лазерном облучении семян при использовании данных об исходных посевных качествах, данных о виде и сорте стимулируемых семян при использовании специальных приставок к универсальным установкам и специализированных облучательных установок с микропроцессорными системами управления параметрами облучения.

Поэтому исследование зависимостей посевных качеств семян от параметров режимов облучения, их влияния на развитие растений, разработка микропроцессорных средств управления и технических средств для реализации оптимальных режимов является одним из наиболее перспективных путей повышения эффективности предпосевного импульсного лазерного облучения семян овощных культур.

Связь работы с научными программами, планами, темами.
Работа выполнялась в соответствии с Государственной научно-

технической программой 3.12 “Энерго- и ресурсосберегающие технологии в сельскохозяйственном производстве”, тематикой межвузовских научных и научно-технических программ относительно приоритетных направлений развития науки и техники (Приказ Министерства образования Украины № 37 от 13.02.96, п. 2) и Программой №1 научно-исследовательских работ Таврической государственной агротехнической академии на 2001-2008 года "Разработка научных основ систем технологий и технических средств для обеспечения продовольственной безопасности Южного региону Украины" (подпрограмма 1.13.6. "Повышение эффективности предпосевного облучения семян овощных культур") – государственный регистрационный № 0102U000687.

Цель и задачи исследования. Целью исследования является повышение посевных качеств семян овощных культур предпосевным импульсным лазерным облучением путем обоснования наиболее эффективных технологических режимов и разработки соответствующих технических средств.

Поставленная цель обусловила такие **задачи исследования**:

1. Произвести сравнительный анализ способов предпосевной стимуляции семян овощных культур и определить пути повышения эффективности предпосевного облучения семян овощных культур.
2. Исследовать закономерности изменения посевных показателей качества семян овощных культур в зависимости от параметров технологических режимов предпосевного импульсного лазерного облучения.
3. Разработать технические средства для обеспечения оптимальных параметров технологических режимов предпосевного импульсного лазерного облучения семян овощных культур.

Объект исследования. Процесс предпосевного импульсного лазерного облучения семян овощных культур.

Предмет исследования. Параметры технологических режимов предпосевного импульсного лазерного облучения семян овощных культур.

Методы исследований. При подготовке и проведении экспериментальных исследований и при обработке экспериментальных данных использовались методы планирования эксперимента, методы обработки статистических данных, методологические принципы системного анализа и синтеза. При построении и исследовании модели воздействия лучистой энергии при предпосевной лазерной обработке на механизмы регуляции прорастания семян использовались методы операционного исчисления и методы решения дифференциальных уравнений. При анализе работоспособности разработанной системы управления лазерной приставкой использовались методы теории автоматического регулирования и анализа импульсных систем управления.

Моделирование процессов и расчетная часть исследований проводилась на современных ПЭВМ путем разработки и использования моделирующих и расчетных программ, а также пакетов прикладных программ.

Экспериментальные исследования проводились с помощью серийных измерительных приборов и с использованием разработанных лабораторных установок.

Научная новизна полученных результатов. На основе проведенных теоретических и экспериментальных исследований полученные такие основные результаты:

Впервые получены зависимости всхожести и силы прорастания семян овощных культур от параметров технологических режимов предпосевного импульсного лазерного облучения и внутренних факторов, что позволило предложить новые эффективные в смысле сокращения времени облучения, повышения производительности и достигаемого

стимулирующего эффекта параметры технологических режимов предпосевного импульсного лазерного облучения семян овощных культур.

Впервые предложены методы для установления параметров технологических режимов предпосевного импульсного лазерного облучения семян овощных культур в зависимости от исходных посевных качеств семян, сорта и вида культур, что позволило разработать соответствующие технические средства для предпосевного импульсного лазерного облучения семян овощных культур.

Новизна исследований подтверждена получением патента Украины №63403 «Способ стимуляции семян лазерным облучением».

Практическое значение полученных результатов. На основании проведенных исследований обоснованы параметры технологических режимов предпосевного импульсного лазерного облучения семян овощных культур, разработаны технические средства для лазерного облучения семян овощных культур с установлением параметров технологических режимов предпосевного облучения семян овощных культур в зависимости от вида и сорта культур и исходных посевных качеств семян для использования в фермерских и индивидуальных хозяйствах. Эти технические средства внедрены в ТОО им. Котовского Токмакского района Запорожской области и подтвердили свою экономическую эффективность. Техническая документация и опытный образец разработанной диссертантом лазерной приставки переданы в НПО «Селта» для дальнейшего внедрения в производство и изготовления опытной партии.

Личный вклад соискателя. Диссертантом лично:

1. Исследованы зависимости всхожести и силы прорастания семян овощных культур от параметров технологических режимов предпосевного импульсного лазерного облучения и исходных посевных качеств для семян огурцов, томатов, перца и баклажан[58];

2. Найдены новые эффективные в смысле сокращения времени обработки, повышения производительности и стимулирующего эффекта параметры технологических режимов предпосевного импульсного лазерного облучения семян овощных культур [93];
3. Разработана модель воздействия лучистой энергии при предпосевной лазерной обработке на механизмы регуляции прорастания семян [86] ;
4. Разработаны технические средства для лазерного облучения семян овощных культур с установлением параметров технологических режимов предпосевного облучения семян овощных культур в зависимости от вида и сорта культур и исходных посевных качеств семян для использования в фермерских и индивидуальных хозяйствах [95,105];

Апробация результатов диссертации. Основные положения и материалы диссертации докладывались и обсуждались на Международной научно-технической конференции, посвященной 50-летию факультета «Энергетика» Таврической государственной агротехнической академии (Мелитополь, 2002), на XVIII Международной научно-практической конференции "Применение лазеров в медицине и биологии" (г. Ялта, 2002), на Международной научно-практической конференции "Проблемы энергообеспечения и энергосбережения в АПК Украины" (г. Харьков, 2002, 2003 г.г.), на научных конференциях профессорско-преподавательского состава, научных работников и аспирантов Таврической государственной агротехнической академии 2002 - 2005 годов

Публикации. Основные положения диссертации изложены в 8 печатных работах.

РАЗДЕЛ 1

СОСТОЯНИЕ ПРОБЛЕМЫ И ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЗАДАЧ ИССЛЕДОВАНИЙ

Приближение валового сбора овощей до уровня, соответствующего научно обоснованным нормам потребления и последующее его наращивание для использования имеющихся экспортных возможностей страны требует существенного наращивания производства овощей и повышения рентабельности овощеводства [5]. Качество же посевного материала, которое во многом определяет эффективность всего производственного цикла, снизилось не только вследствие поставок семян несоответствующего качества [7] или отсутствия у производителей овощной продукции оптимальных условий для хранения семян [1,12], но и по причине того, что при необходимости иметь страховой фонд семян для основных культур в объеме около 50% годовой потребности [8] возникает проблема использования большого объема семян с пониженными вследствие длительного хранения посевными качествами [13,14]. Подобная же проблема возникает и при селекционной работе с хранящимися в коллекциях семенами.

Кроме того, следует помнить, что для современного сельского хозяйства основным направлением является интенсификация, которая предполагает преимущественное повышение урожайности культур вместо наращивания площадей под ними. В этом отношении важное значение имеет обеспечение производства семенным материалом с должными посевными качествами. Поэтому целесообразно более подробно рассмотреть влияние этих качеств на развитие растений и на показатели конечной урожайности.

1.1. Связь посевных качественных показателей семян с урожайностью

Поскольку прорастание семян и сбор урожая являются соответственно начальной и конечной стадиями развития растительного организма в условиях агробиоценоза, регулируемого совместным воздействием человека и природы, т.е. сельскохозяйственного производства, то наличие связи между посевными качественными показателями семян и урожайностью является очевидным. Действительно, снижение количества растений на единицу площади по отношению к оптимальному значению, т.е. по отношению к ожидаемой полевой всхожести, очевидно, ведет к соответствующей потере урожая. Полевая всхожесть определяется как процент семян, дающих жизнеспособные ростки на поверхности почвы при данных (благоприятных и неблагоприятных) условиях окружающей среды [13,15]. Прямо пропорциональная связь полевой всхожести и урожайности установлена многими исследователями для целого ряда культур, в частности для пшеницы [15,16], ячменя [13,15], кукурузы [15], других зерновых [17] столовых корнеплодов [18,19] и овощей [7,13,16,19,20]. Так, исследователями установлено, что снижение полевой всхожести на 1% приводит к снижению урожайности на 1,0-2,2 % в зависимости от вида культуры [6,7,9,15,16,19,20,21].

Однако же полевая всхожесть определяется для некоторых конкретных условий окружающей среды [13,15], поэтому в силу невоспроизводимости этих конкретных условий она не может служить объективным показателем посевных качеств семян [6,13,14,21]. Попытка введения в научную терминологию и в практику семеноводства таких понятий, как жизнеспособность (под которой понимается число живых семян в образце вне зависимости от того, прорастают ли они в данных конкретных условиях или нет), жизненность (качественный показатель, определяющий скорость и интенсивность прорастания семян) [13,22] и

сила (к сильным относятся здоровые, механически прочные и быстро прорастающие семена, которые могут всходить при благоприятных и неблагоприятных условиях окружающей среды и образуют в полевых условиях быстро развивающиеся проростки) [13,23] не увенчалась успехом по той же причине.

Несмотря на существование различных методов прогнозирования всхожести семян в полевых условиях, ни один из них не оказался пригодным даже для одной культуры [13,23] прежде всего по причине наличия множества факторов, ее определяющих. Эти факторы можно условно разделить на метеорологические, антропогенные, почвенные и биотические [15], к последним из которых также относятся всхожесть и энергия прорастания. Зависимость полевой всхожести от упомянутых показателей установлена для целого ряда культур многими исследователями [7,12,13,15,16,17,21,22,23,24,25], причем установлено, что снижение лабораторной всхожести вызывает опережающее снижение полевой всхожести: чем ниже лабораторная всхожесть, тем больше ее разрыв с полевой [13,15,16,17,23]. Это может быть объяснено тем, что партия семян с низкой всхожестью не просто смесь живых и мертвых семян, ибо у части живых семян ослаблен зародыш или нарушено нормальное течение физиологических процессов при прорастании, поэтому проростки в полевых условиях могут не выйти на поверхность почвы [15]. Поэтому всхожесть в некоторых стандартных условиях, т.е. лабораторная всхожесть [24,26], характеризует качество семян, поскольку чем выше доля непроросших семян, тем ниже качество проросших, поскольку в пределах каждого семени потере способности к прорастанию предшествует потеря качества или силы [13,17,21].

Посевы семенами с низкой лабораторной всхожестью помимо снижения полевой всхожести и увеличения продолжительности появления всходов также приводило к понижению качества семян в урожае

[15]. Снижение же такого показателя, как энергия прорастания, также ведет к опережающему снижению полевой всхожести, особенно в неблагоприятных с точки зрения увлажнения условиях [13,15,21], тогда как ростки таких семян менее устойчивы к грибковым заболеваниям и вредителям [15], а урожайность от каждого растения понижается, поскольку всходы, образующиеся позже, дают растения с продуктивностью на 15-20% ниже номинальной [16]. Следует отметить, что определение таких показателей, как лабораторная всхожесть и энергия прорастания являются показателями, определение которых является стандартной процедурой, выполняемой в воспроизводимых условиях [6,24,26].

Таким образом, получение максимального урожая требует использования семенного материала с максимальными посевными качествами, определяемыми существующими стандартами, которыми предусмотрено как объективные показатели посевных качеств семян использовать три показателя: энергия прорастания – дружность прорастания семян, лабораторная всхожесть – способность семян за определенное время давать проростки при оптимальных условиях, и чистота семян – масса семян основной культуры в процентах [6,24,26]. Улучшение первых двух показателей и является возможным при предпосевной стимуляции семян, особенно когда она есть составной частью единой биотехнической системы подготовки семян [27].

1.2. Процессы, происходящие при прорастании семян, роль света в прорастании

Процессы прорастания семян весьма сложны, разнообразны и, не смотря на многочисленные исследования, во многих отношениях все еще остаются не до конца изученными. Ввиду того, что этим процессам посвящено много работ исследователей, в том числе и достаточно пол-

ных итоговых обзоров [13,14,15,21,23,28,29,30,31], то здесь целесообразно ограничиться только кратким обзором основных процессов, происходящих при выходе из покоя и прорастании семян, факторов среды, влияющих на ход этих процессов, и в особенности роли света в прорастании.

1.2.1. Покой, его нарушение, прорастание семян и роль факторов среды

Как известно, до окончания формирования плода семя является органом растения, тогда как после отделения зрелого семени от материнского растения оно становится самостоятельным зачатком нового растения. Семена, обладая свойствами сохранять на протяжении длительного времени жизнеспособность и при наступлении благоприятных условий прорасти, образуя новые растения, являются важнейшим средством сохранения видового разнообразия и самого существования земных растений [13,17,25,30]. Между тем, общая структура семени довольно проста, в нем можно выделить зародыш, эндосперм и кожуру. Вместе с тем, строение и свойства отдельных элементов семян различных видов растений сильно варьируются. Вопросам строения семян различных видов, их формирования в процессе созревания, влияния на него условий произрастания материнских растений, изучению изменений в семенах при различных условиях хранения, а также и вопросам изменения структур семени при прорастании посвящено достаточно много работ исследователей [13-15;21-25;27,31-34], поэтому здесь целесообразно ограничиться лишь коротким обзором основных аспектов явления покоя семян, процессов при прорастании и роли факторов среды в выведении из покоя, приняв, что для нового посева используются зрелые семена, полученные от растений, произраставших в благоприятных условиях, как это и предусмотрено существующими требованиями [6,9,24,26].

Семена большинства растений имеют способность находиться продолжительное время в состоянии покоя, причем способность к прорастанию — это фактически способность зародыша семени возобновлять ростовые процессы, приостановленные ранее [13]. Природа покоя, несмотря на длительное и интенсивное изучение, все еще остается во многом неясной. Различают вынужденный покой, когда семена не прорастают из-за отсутствия необходимых внешних условий, и органический покой, когда семена не прорастают даже при самых благоприятных условиях среды [13,17,21,29,30,31,34]. Именно благодаря способности находиться в состоянии покоя семена застрахованы от несвоевременного прорастания, однако же, необходимость вывода семян из органического покоя требует применения предпосевной подготовки как необходимого звена технологических процессов в растениеводстве. Таким образом, прорастание—это приведение осевой части зародыша в состояние, в котором оно было задержано в период вынужденного или органического покоя, и осуществление новых генетических программ, т.е. возобновление дифференциальной транскрипции генома [13,33].

Для обеспечения непрерывности вида при прорастании семян должны соблюдаться некоторые необходимые общие требования. Очевидно, что семя должно прорасти лишь при наличии достаточной вероятности достижения образовавшимся из него растением этапа плодоношения. Семя должно иметь механизмы для переноса прорастания с конца одного вегетационного периода до начала следующего и если условия окружающей среды таковы, что шансы на выживание незначительны, семя должно иметь механизмы для задержки прорастания до появления благоприятных условий. Вместе с тем, семена должны обладать способностью довольно широкого варьирования прорастания при различных сочетаний условий внешней среды. При этом наиважнейшими параметрами внешней среды, определяющими прорастание, являются световой и водный режимы, аэрация и температура [13].

Существует целый ряд концепций и теорий покоя семян [13,17,28,29,30,31,33,34], однако можно выделить основные факторы, влияющие на этот процесс: 1) барьерный эффект семенной кожуры и изменение ее проницаемости; 2) наличие и отсутствие ингибиторов прорастания; 3) избирательное действие гормонов и изменение их соотношений; 4) действие света, определяемое прежде всего активной и неактивной формами фитохрома; 5) изменение процессов окисления; 6) изменения на молекулярном уровне [13,14,21].

Поскольку семена, находящиеся в покое, обычно почти сухие, то при прорастании существенным моментом является поглощение воды. При набухании семян проходит активация гидролиза при участии наличных еще до прорастания гидролитических ферментов, к которым присоединяются гидролазы, образующиеся при активации механизма синтеза белка и сопутствующего окислительного метаболизма. При этом происходят существенные анатомические изменения на клеточном и субклеточном уровнях, к которым на последующих этапах присоединяются процессы морфогенеза. Происходят активация и реактивация генома, сложные процессы которых все еще далеки от окончательного понимания, при этом происходит, по-видимому, последовательная активация нескольких различных генетических программ. Уже сразу после набухания увеличивается интенсивность дыхания, которая продолжает возрастать примерно в течении 12 часов. Затем наступает лаг-период, связанный с изменениями в генетическом аппарате и (или) исчерпанием начальных дыхательных субстратов, в течении которого скорость поглощения кислорода и воды не нарастает или даже падает. После окончания лаг-периода интенсивность упомянутых процессов снова увеличивается, при этом по мере продолжения процессов прорастания постепенно разрушаются запасные белки и ферменты и происходят существенные изменения в синтезе белков и коферментов. В процессах прорастания существенна роль фитогормонов, где можно выделить такие

основные группы, как гиббереллины, абсцизины, цитокинины, ауксины и этилен. Гормоны действуют как переключатели для перехода в разные физиологические состояния путем регулирования процессов трансляции и транскрипции генов, а также изменения проницаемости мембран. [13,17,21,31].

Общая схема физиологических процессов, происходящих при прорастании семян, приведена на рисунке 1.1 [13].

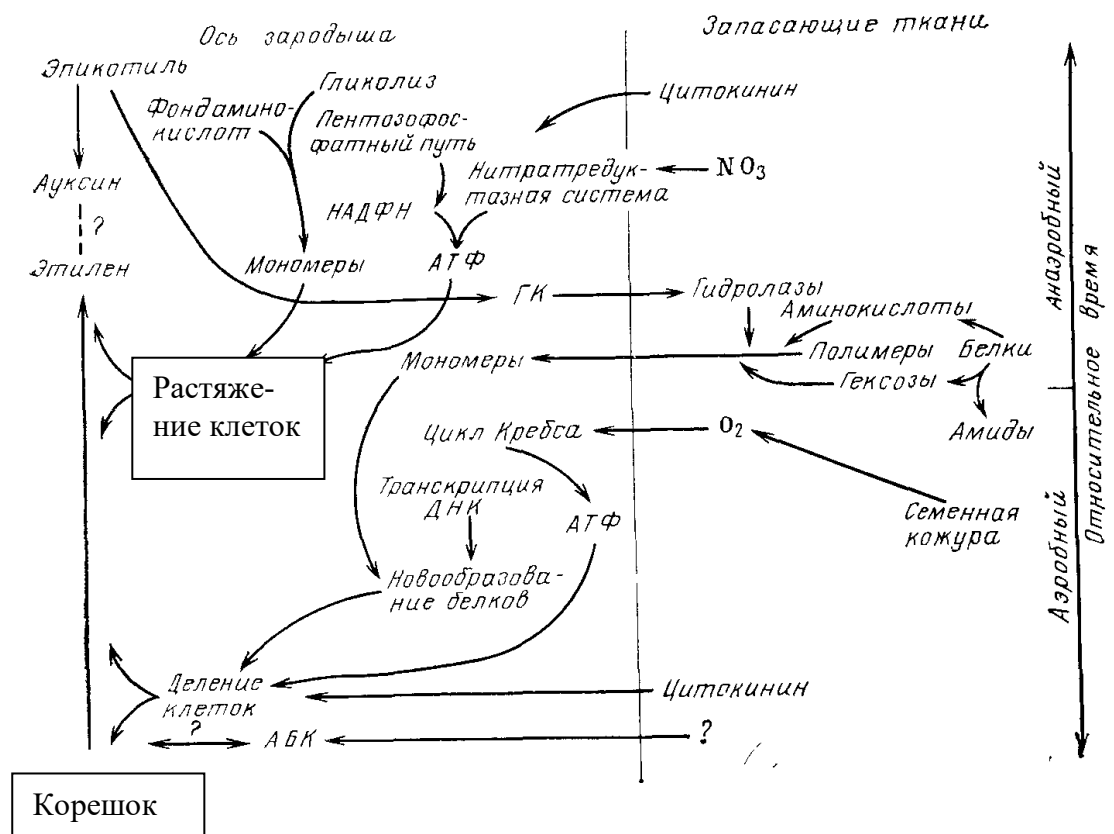


Рис. 1.1. Предполагаемая схема основных физиологических процессов при прорастании семян.

Предполагаемая последовательность событий, имеющих место при прорастании, представлена ниже согласно [13].

«Динамика метаболических событий:

1. Набухание.
2. Дезаминирование аминокислот, находящихся в аминокислотном

фонде в осевой части зародыша.

3. Передвижение мономеров из аминокислотного фонда для использования на гликолиз.

4. Восстановление пиридиннуклеотидов через пентозофосфатный путь и гликолиз.

5. Окисление пиридиннуклеотидов через систему нитратредуктазы с образованием АТФ.

6. Использование мономеров в процессе клеточного растяжения (ауксин-индуцированном).

7. Гидролиз запасных полимеров (индуцированный гиббереллинами).

8. Передвижение мономеров запасных веществ в осевую часть .; зародыша (на данном этапе зародыш, вероятно, переходит от анаэробного окислительного метаболизма к аэробному).

9. Усиление цикла Кребса.

10. Усиление транскрипции ДНК в осевой части зародыша.

11. Синтез белка *de novo* в зародыше.

12. Репликация ДНК и деление клеток в зародыше (индуцированное цитокининами).

13. Увеличение интенсивности дыхания и синтез белка в зародыше.

Динамика гормональных событий:

1. Передвижение ауксина, блокируемое этиленом.

2. Рассеивание этилена в воздухе.

3. Передвижение ауксина и образование гиббереллина.

4. Растяжение клеток и гидролиз полимеров.

5. Образование цитокининов и деление клеток.» [13].

В регулировании покоя и прорастания семян существенна, как уже отмечалось выше, роль факторов внешней среды. Влияние этих факторов начинается уже на этапе созревания семян, а при прорастании они

определяют как само начало прорастания, так и возможность развития из семени жизнеспособного проростка.

При пребывании семян в почве им приходится сталкиваться с такими неблагоприятными условиями, как неоптимальные температуры (слишком низкие или сильно высокие), неоптимальная влажность, неблагоприятные газовый и световой режимы, наличие почве загрязнителей, гербицидов, пестицидов, солей, токсичных газов, болезнетворных организмов, неблагоприятного состава или структуры почвы, а также возможного повреждения птицами, грызунами или насекомыми. Перечисленные факторы не только определяют возможность прорастания семян в данный момент времени, но и их сочетание и действие во времени определяет возможность прорастания семян в будущем в силу снижения их способности к прорастанию. Поэтому такое большое значение имеют для прорастания выбор предшественников, обработка и качество почвы, применение удобрений, сев и агротехнические мероприятия [15,19,20,21,35]. Следует также упомянуть, что большое влияние на прорастание семян имеют условия уборки, хранения, сева и т.п. в силу возможности механических повреждений, что снижает всхожесть [15,18,21]. В силу разнообразия конкретных условий прорастания семян и множества действующих факторов, подробное рассмотрение почвенного развития семян различных видов не представляется возможным в рамках короткого обзора. Однако необходимо заметить, что конечный результат, т.е. полевая всхожесть конкретного посева, определяется не столько отдельными факторами или приемами, сколько их взаимодействием и сочетанием [13,15,18,20,35].

Вместе с тем следует отметить, что, поскольку в период набухания семена весьма чувствительны к условиям внешней среды, когда кратковременные или довольно незначительные изменения некоторых параметров могут существенно повлиять на развитие всходов, то понятно стремление применять предварительную обработку с целью сокращения

времени между посевом и появлением всходов [7,12,13,15,18,19,21]. Таким образом, понятной становится необходимость для получения максимально высокого урожая применять семена не только с высокой лабораторной всхожестью, но и с максимально возможной энергией прорастания, что обеспечивает появление дружных всходов при сокращении срока от посева до появления всходов.

1.2.2. Роль света в процессах прорастания семян

О влиянии света на прорастание семян было известно еще чуть ли не с самого зарождения земледелия, на основе чего еще и сейчас известны народные приметы о том, что семена следует высевать в определенное время. Первые научные наблюдения о влиянии света на прорастание семян относятся еще к рубежу XVIII и XIX веков, а уже в начале XX века было установлено наличие светочувствительности у многих видов семян. С тех пор было установлено, что свет имеет прямое отношение к выведению семян из состояния покоя, однако механизм его действия все еще остается не до конца расшифрованным [13,35].

Еще в ставших классическими исследованиях Флинта и Мак-Алистера в 30-х годах XX века [36] было установлено, что красный свет (с длиной волны 0,63—0,68 мкм) ускоряет прорастание семян, а дальний красный свет (с длиной волны 0,73—0,75 мкм) подавляет прорастание. В дальнейшем большинство исследователей пришло к выводу, что эта обратимая фотореакция (действие красного света снимается дальним красным светом и наоборот) обусловлена свойствами специфического фоторецепторного пигмента - фитохрома [11,13,28,31,33], который имеет две взаимопереходные формы — Φ_k и Φ_{dk} . с разными спектральными чувствительностями (см. рис. 1.2 и рис.1.3). В последние годы появилось много работ, посвященных изучению действия фитохрома при различных условиях, расшифровке структуры фитохрома, роли его различных

форм, экологическим, агрономическим и эволюционным аспектам его механизма действия и т.п. [13,17,31,35,37-45], однако во многом объяснение многообразия светозависимых реакций и механизма действия на клеточном и молекулярном уровне все еще не завершено.

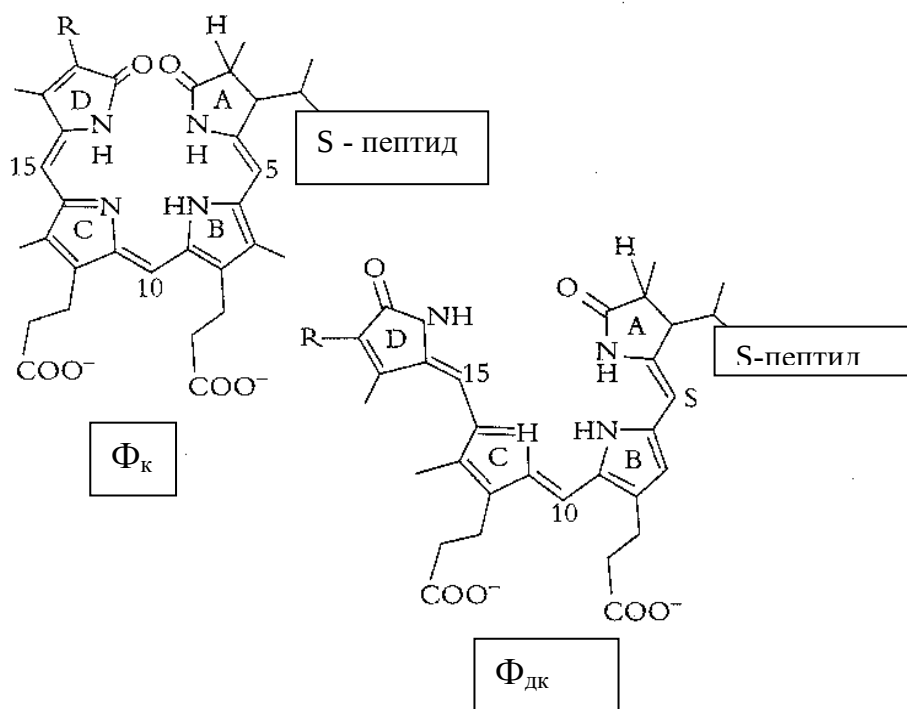


Рис. 1.2. Структура форм фитохрома Φ_k и Φ_{dk} .

Тем не менее, непреложным фактом считается связь светочувствительности семян именно с фитохромной системой, при этом установлено, что функция фитохрома в прорастании семян аналогична его функциям в других процессах морфогенеза [39,44,46], не смотря на тот факт, что найдены, по крайней мере, три фоторецепторные системы у семян [44]. Фитохром может стимулировать или подавлять прорастание семени, что зависит от типа семян и активности других эндогенных регуляторов роста. Установлено наличие разных форм фитохрома на различных этапах развития растений, в частности, определено, что главную роль в прорастании играет фитохром В, а на последующих этапах развития проростка и растения возрастает роль фитохрома А [40,42,47,48]. Большинство исследователей полагают, что определяющую роль в про-

растании семян и выходе их из покоя после действия света на $\Phi_{\text{дк}}$. играет синтез гиббереллинов и цитокининов [13,28,43]. При этом предполагается участие активной формы фитохрома в непосредственном переносе через клеточные и субклеточные мембраны важных метаболитов, запускающих синтез гормонов, регулирующих прорастание [13,44,49].

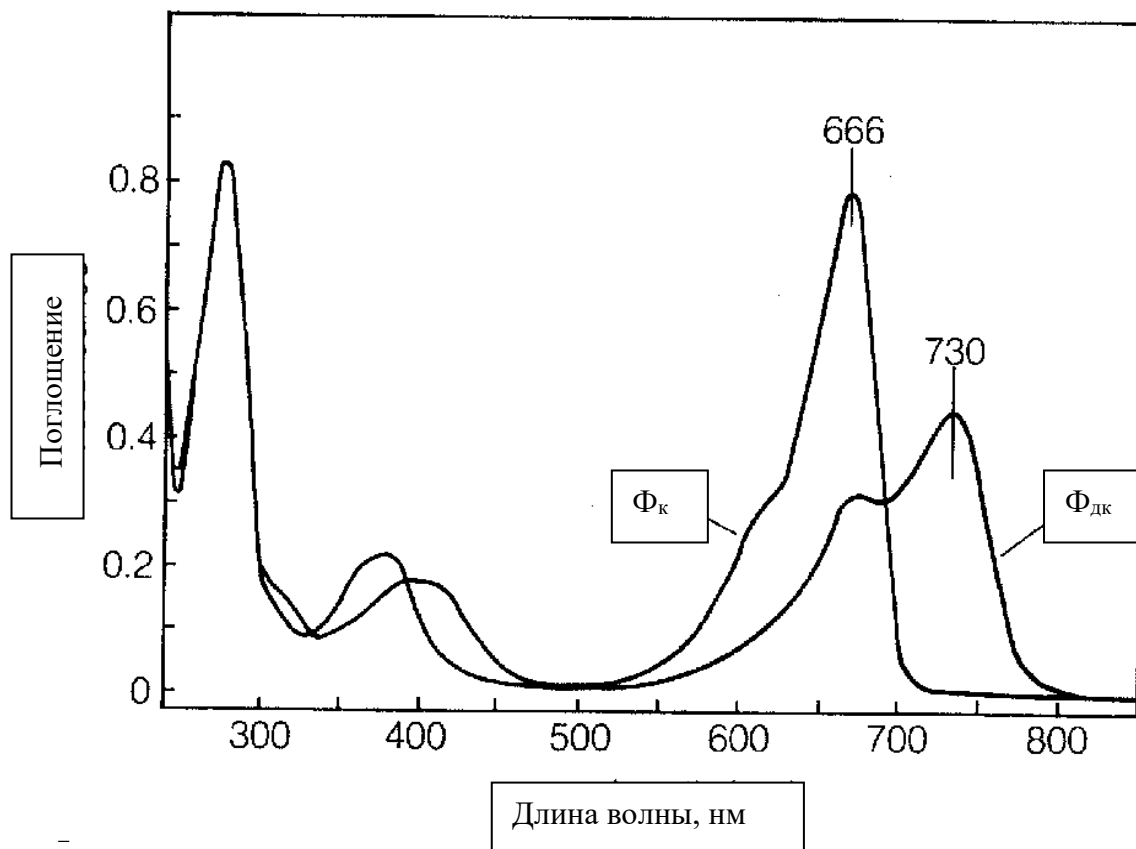


Рис. 1.3. Спектральная чувствительность двух форм фитохрома.

Установлено, что эффект от светового воздействия зависит от длительности освещения, его периодичности и уровней освещения, что также связано со свойствами фитохромной системы [13,41,42,48,49]. Так, общепринятым фактом считается превращение $\Phi_{\text{дк}}$ в $\Phi_{\text{к}}$ не только при воздействии ДКС, но и в темноте, происходящее со значительно меньшей скоростью [13,35,38,42]. В значительной степени определена связь оптических свойств опавшей листвы, почвы, их изменений во время обработки земли с ролью фитохромной системы и ходом процесса

прорастания [13,35,50,51].

Механизмы прорастания и соответственно, светочувствительность семян, находятся в тесной связи с генетическим аппаратом растений [13,39,44,52]. В свою очередь, содержание фитохрома (как и других важных для прорастания метаболитов) определяется в значительной степени условиями выращивания материнских растений и условиями хранения, послеуборочной и предпосевной обработки семян, что определяет степень светочувствительности семян [13,14,16,30,35,38,51]. В частности, ненадлежащие условия хранения семян и его большая длительность ведут к снижению содержания важных гормонов, самого фитохрома, снижению проницаемости мембран, обратимым и необратимым изменениям генетического аппарата, что имеет непосредственное влияние на светочувствительность при прорастании [13,31,32,53].

Сама же светочувствительность в конкретных условиях прорастания находится в значительной степени определяется условиями среды, прежде всего водным и температурным режимами [13,16,28,30]. Так, при изучении действия дальнего красного света на прорастание семян огурца было установлено, что ингибирование прорастания наблюдается только в диапазоне температур от 18 до 23 °С и полностью снимается при температуре выше 25 °С [45].

Таким образом, среди различных факторов, от которых зависит светочувствительность семян, следует выделить условия роста материнского растения, условия послеуборочной и предпосевной обработки семян, условия их хранения, наследственно обусловленный генотип и условия во время прорастания семян.

Целесообразно рассмотреть влияние перечисленных факторов на светочувствительность при прорастании с биологической и агрономической точки зрения. Семена воспринимают изменения температуры и влажности, а также обладают эффективными рецепторами света, и вероятно, способны измерять время. Таким образом, семена многих растений

имеют способность оценивать воспринимаемую информацию о свете, влаге и температуре и определять, следует ли пытаться прорасти, поскольку в сочетании с восприятием температуры светочувствительность может давать семенам дополнительную информацию [13,25,35,38].

Светочувствительность семян культурных и дикорастущих растений качественно схожа, однако отбор растений по критерию их продуктивной ценности может привести к потере адаптивной приспособляемости к факторам окружающей среды, происходящей при участии фитохрома, поэтому семена многих важных культурных растений, сохраняя способность реагировать на свет, не могут противостоять условиям окружающей среды, т.е. эти растения утратили способность к независимому выживанию и зависят от действий человека в выборе времени и условий прорастания [13,16,17].

Таким образом, для культурных растений важное значение имеет правильное определение времени посева и верный выбор стимулирующих воздействий на семена. Поэтому целесообразно рассмотреть методы предпосевной стимуляции семян.

1.3. Основные методы предпосевной стимуляции семян овощных культур

Как уже отмечалось выше, в своем большинстве культурные растения, особенно овощные культуры, в значительной утратили способность к независимому выживанию и зависят от действий человека в выборе времени и условий прорастания. Поскольку на формирование урожая существенное влияние оказывает начальная скорость роста растений и поскольку относительно небольшие затраты энергии на предпосевную стимуляцию семян имеют наибольшую отдачу по сравнению с другими технологическими операциями в растениеводстве [54], то широкое применение нашли различные способы предпосевной стимуляции семян.

Для определения наиболее перспективных из них целесообразно произвести классификацию и сравнительный анализ различных методов предпосевной стимуляции семян, применяемых для овощных культур.

1.3.1. Классификация методов предпосевной стимуляции семян овощных культур с использованием электромагнитных полей

На основании обзора литературных источников по данному вопросу [7,10,12,13,15,21,27,28,54,55,56,57] составлена классификация основных методов предпосевого воздействия на семена сельскохозяйственных культур, включая и овощные культуры, которая представлена на рис. 1.4. Существующие методы воздействия можно условно разделить на две большие группы: химические и физические воздействия. Безусловно, следует иметь в виду, что такое разделение носит достаточно условный характер, поскольку различные методы из этих групп могут применяться совместно в различных сочетаниях.

При этом учтено, что перечисленные на рис. 1.4. методы предпосевого воздействия на семена сельскохозяйственных культур находятся на разных этапах разработки. Так, некоторые методы находятся лишь на этапе экспериментальных исследований, тогда как для других созданы экспериментальные или даже промышленные установки, что, впрочем, не всегда связано с эффективностью воздействия или его экономической эффективностью. Степень внедрения в производство различных методов варьируется от экспериментальных исследований до широкого применения. При этом в классификацию не включены различные методы отбора семян, поскольку отбор является отдельным этапом общей системы подготовки семян к посеву, обычно предшествующий применению тех или иных методов стимуляции [12,24,27,54].

1.3.2. Сравнительный анализ методов предпосевной стимуляции семян с использованием физических воздействий

Ввиду большого разнообразия методов воздействия на семена овощных культур целесообразно провести аналитическое сравнение преимуществ и недостатков отдельных методов для того, чтобы определить наиболее перспективные из них для использования в практике сельскохозяйственного производства и в том числе овощеводства.

Поэтому целесообразно рассмотреть основные черты тех из них, которые можно применять для семян овощных культур, и определить из них наиболее эффективные для дальнейшего применения и исследования. Сравнение таких методов за основными показателями приведен в табл. 1.1. Анализ проведен в основном для физических методов воздействия, поскольку исследование химических методов выходит за рамки данной работы и поэтому приведены для сравнения только наиболее перспективные из них. Анализ проведен по таким показателям, как: стоимость материалов и энергии; сложность оборудования и необходимость в наличии высококвалифицированного персонала; продолжительность обработки; необходимость в точности дозирования в силу возможного отрицательного эффекта при передозировке; возможность повреждения семян при обработке; наличие вредного воздействия на обслуживающий персонал; возможность обработки семян в упаковке; идентификация биологических механизмов, лежащих в основе эффекта от данного воздействия; пригодность метода для его автоматизации и степень изученности процесса. В число показателей включен в частности и такой фактор, как понятность механизма действия, которое дает возможность выбирать режимы обработки сознательно, а не только эмпирически, поскольку эмпирический выбор режимов может в ряде случаев носить случайный характер, не обладать воспроизводимостью и может быть далеким от оптимального [12,27,58].

Необходимо учитывать, конечно, тот факт, что семена растений, в особенности в процессе роста и прорастания, являются сложной системой, действие на которую стимулирующего фактору носит всегда сложный комплексный характер, однако выделение действующих механизмов возможно и имеет большое научное и практическое значения [12,13,27,58]. В этом отношении ключевые механизмы активации всхожести для ряда воздействий, в частности, при использовании магнитных полей [55,56,59], тока [60,61], гамма-излучения [56,62,63] и других, до сих пор не до конца определены, что в частности и сдерживает их применение в широкой практике [12,63].

Как видно из анализа, наиболее перспективными будет использование методов обработки с целью стимуляции всхожести с помощью электромагнитных полей, в особенности с использованием источников лазерного облучения и электромагнитных полей диапазона СВЧ. Кроме того, следует учесть, что для лазерного излучения, в отличие от, например, гамма-излучения, вид кривой «доза – эффект (т.е. всхожесть семян) – доза» для лазерного излучения имеет вид кривой с насыщением, что исключает опасность передозировки в отличие от, например, гамма-излучения, для которого эта кривая имеет колоколообразный вид, как показано на рис. 1.5. [64].

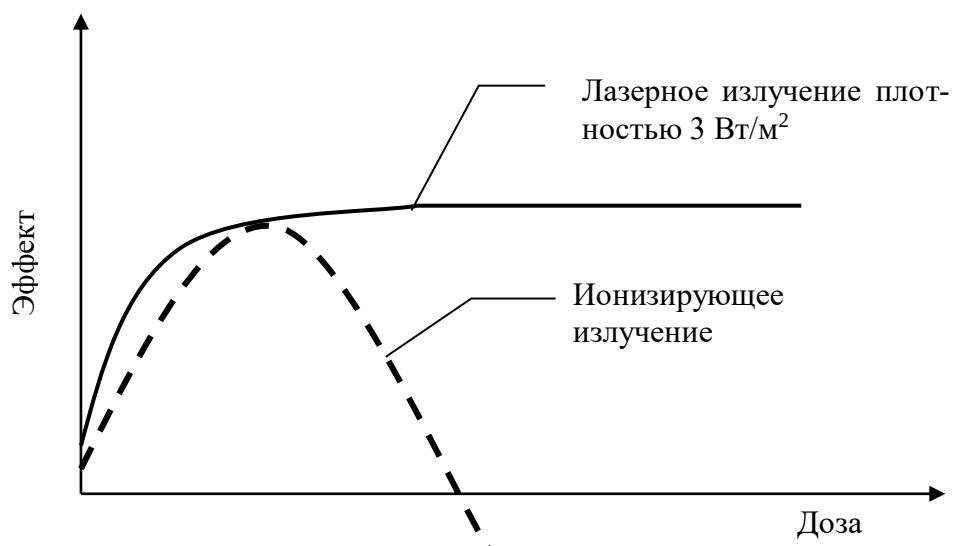


Рис. 1.5. — Вид кривой «доза — эффект - доза» для разных видов воздействий на семена [64].

С учетом того, что при использовании этих методов стимуляции при использовании стационарных установок эти установки будут работать только на протяжении ограниченного периода в году (перед посевом семян в грунт), более рациональным будет использование лазерного оснащения, которое имеет большую универсальность и может использоваться для других хозяйственных целей, что в конечном итоге удешевляет и обработку семян.

При создании же дешевых специализированных устройств малой производительности для приусадебных и небольших фермерских хозяйств применение лазерного излучения также имеет преимущество при обеспечении безопасности для людей и меньшей стоимости при использовании выпускаемых промышленностью маломощных лазерных излучателей [58].

1.4. Обзор методов и устройств для лазерной обработки семян растений

Как уже отмечалось ранее, большинство исследователей считают основным механизмом действия оптического (включая и лазерное) излучения на семена активацию фитохрома, поэтому для лазерной стимуляции всхожести семян применяются главным образом лазеры, излучающие в диапазоне КС. Впрочем, появлялись сообщения о применении для этой цели лазеров, излучающих в других диапазонах, но здесь скорее всего проявляется действие лазерного облучения на молекулярном уровне, изучение которого продолжается. При высокой интенсивности лазерного излучения несомненно имеет место и эффект теплового воздействия. Однако вряд ли можно согласиться с мнением, что основное действие лазерного излучения проявляется в локальном нагревании объекта и носит характер термического эффекта [65], поскольку эффект облучения имел место даже при весьма низкой плотности энергии [10,11]. Поэтому превалирующее распространение получила гипотеза многих факторов, при этом все же главное значение имеют механизмы, связанные с активностью фитохромной системы [11,13]. По признакам селективности воздействия можно сделать вывод о том, что фотостимуляция прорастания вызывается каскадом преобразований, инициированных восприятием внешнего сигнала соответствующим рецептором (прежде всего фитохромом) и запуском с помощью веществ типа гормонов процессов прорастания и развития растения [13,17,39,40].

Большинство исследователей пришли к согласию в вопросе о сроке между обработкой и посевом. Считается, что обработка должна предшествовать посеву на 5-7 дней для овощных и на 10-20 дней для зерновых культур, что прежде всего связывают с необходимостью про-

хождения к моменту посева физиологических процессов, запускаемых обработкой [10,12,13,17,21,50,53,54].

В качестве первичных источников световой энергии прежде всего используются лазеры небольшой мощности, как твердотельные, так и газовые, причем последние, прежде всего, гелий-неоновые, считаются многими исследователями наиболее перспективными [11,55]. Использовались как универсальные лазерные установки, так и специализированные, например, ЛОВО-1 [11]. При этом применяется как непрерывное облучение семян [11,64,65,66], в том числе и повторное [67,68,69], так и импульсное [11,55,69]. При этом следует отметить, что применение импульсного облучения значительно сокращает необходимое время облучения (в 5-10 раз) при сохранении той же мощности источника или даже ее уменьшении (т.е. при значительном, до двух порядков, снижении суммарной дозы облучения!), что, впрочем, характерно и при применении других источников оптического излучения [10,41,53,55,56,57,69], что, по всей видимости, связано с особенностями ответных реакций фитохромной системы [11,13,41,57]. Для создания импульсного облучения использовались такие методы, как прерывание луча непрозрачным диском с прорезями (обюртатором), использование вращающихся призм и зеркал. При этом следует отметить широкий диапазон мощностей излучения, его времени и соответствующих доз. Так, разными исследователями рекомендовалась плотность мощности для облучения семян овощных культур от 0,1 до 20 и более мВт/см² при дозах от 10⁻⁵ до 1 Дж/см² [10,11,12,55,56,64,67,69]. Не исключая возможности теплового воздействия (вплоть до негативного) на семена, следует, по-видимому, приписать такой большой разброс параметров режимов отмеченному выше явлению насыщения при лазерном облучении [64], но заметить, что с экономической точки зрения оптимальными были бы режимы, соответствующие выходу кривой «доза – эффект» на насыщение (рис. 1.5).

Следует заметить, что при анализе накопленных многочисленных опытных данных, касающихся режимов лазерного предпосевного облучения семян, явственно замечен тот факт, что в большинстве случаев параметры режимов выбирались из ограниченного ряда проведенных опытов, варьирование параметров которых носило довольно случайный характер или же даже исходя из имеющихся аппаратных возможностей [10,11,44,66,68,70]. Во многих случаях в качестве критериев эффективности таких режимов зачастую выбирались такие показатели, как урожайность, семенная продуктивность плодов, грунтовая всхожесть, темп развития растений и т.п. [10,11,66,68,71,72,73], которые (за исключением случаев выращивания растений в полностью контролируемых условиях, например, в защищенном грунте), в силу их зависимости от большого числа одновременно и последовательно действующих агроклиматических факторов, могут быть оценены лишь в сравнимых вариантах и не могут служить для обоснования режимов облучения. Необходимо также иметь в виду тот факт, что в разных агроклиматических условиях одинаковые посевные качества семян (лабораторная всхожесть и энергия прорастания) могут оказывать совершенно разное влияние на упомянутые показатели [13,15,67,73]. Также вызывает сомнение в оптимальности рекомендуемых режимов применение тех же режимов к семенам не только имеющих разную всхожесть (в силу разных факторов, включая и режимы хранения) в пределах одного сорта, а тем более для разных сортов той же культуры и даже для разных культур [10,11,56,67,68,71], тогда как из общебиологических соображений и экспериментальных данных следует необходимость поиска для них специфических режимов [13,21,44,53,73,74].

Таким образом, не отбрасывая имеющийся опыт в области методов лазерного предпосевного облучения семян овощных культур, необходимо его критическое осмысление и продолжение исследований

прежде всего в направлении поиска оптимальных режимов для различных культур, сортов и исходных показателей всхожести семян.

1.5. Определение задач исследований

При обзоре методов предпосевного стимулирования семян овощных культур установлено, что в современных условиях для разных по объемам хозяйств наиболее перспективным для применения является облучение лазером, при этом наиболее целесообразно использовать импульсное облучение с применением лазеров, излучающих в диапазоне КС. Однако необходимо найти оптимальные параметры режимов облучения для различных культур, сортов и исходных показателей всхожести, используя как показатели эффективности определенные стандартом посевные качества семян (лабораторная всхожесть и энергия прорастания). Для этого необходимо определить факторы, от которых зависят эти показатели, интервалы их варьирования, провести активный эксперимент и определить оптимальные параметры режимов для данных культур, сортов и исходных показателей всхожести семян.

Полученные таким образом результаты можно использовать для разработки технических средств в виде приставок к универсальным лазерным установкам или в виде специализированных устройств на основе маломощных лазерных излучателей для применения в хозяйствах с различными объемами производства овощей. Необходимо также разработать рекомендации по применению различных режимов импульсного лазерного облучения для соответствующих овощных культур, провести экспериментальные и производственные испытания технологических режимов и оборудования.

Выводы к разделу

1. Для повышения урожайности овощных культур целесообразно использование предпосевной стимуляции их семян. Наиболее перспективным способом такой стимуляции является импульсное лазерное облучение диапазона красного света с длиной волны 630-680 нм.
2. Необходимо методами активного эксперимента определить оптимальные параметры технологических режимов облучения для различных культур, сортов и исходных показателей всхожести семян.
3. При оптимизации указанных режимов в качестве показателей следует использовать определенные стандартом посевные качества семян - лабораторную всхожесть и энергию прорастания.

РАЗДЕЛ 2

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПРЕДПОСЫЛКИ ДЛЯ ОБОСНОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РЕЖИМОВ ПРЕДПОСЕВНОЙ ЛАЗЕРНОЙ ИМПУЛЬСНОЙ СТИМУЛЯЦИИ ВСХОЖЕСТИ СЕМЯН

2.1. Моделирование процесса стимуляции всхожести семян световой энергией

Как отмечалось в предыдущем разделе, установлено прямое отношение света к выходу семян из состояния покоя. Установлено, что свет с длиной волны 630-680 нм ускоряет прорастание семян, а с длиной волны 730-750 нм замедляет его [13,21,36,44]. Этот физиологический эффект обусловлен прежде всего фоторецепторным пигментом – синим хромопротеином, называемым фитохромом, который имеет активную ($\Phi_{\text{ДК}}$) и неактивную ($\Phi_{\text{К}}$) формы, которые переходят друг в друга и обуславливают индукцию светом синтез и активацию участвующих в регуляции покоя семян биологически активных химических соединений [13,40,42,44,75,76]. Именно существование формы фитохрома $\Phi_{\text{К}}$ с максимумом поглощения в диапазоне 630-680 нм и обусловило преимущественное применение для лазерной активации всхожести семян лазеров с излучением в указанном диапазоне [11,53,66,75,77].

Ряд исследований показывают, что действие указанных форм фитохрома осуществляется на мембранном уровне [13,49,52,78]. Среди предложенных гипотез и моделей действия световой энергии на процессы прорастания заслуживает модель, предложенная Г. Смитом (рис. 2.1). Он предположил, что воздействие фитохрома подобно действию некоторой специфической пермеазы для важного метаболита (предположительно гормона или группы химически сходственных гормонов) с запуском действия указанных форм при их непосредственным взаимном превращении под действием света [13]. Однако данная модель весьма слож-

на даже для качественного анализа – достаточно сравнить ее с гораздо более простой реакцией фермент-субстратного комплекса [79], по отношению к которой данная модель представляет собой двойную реакцию с взаимным превращением конечного продукта. Поэтому встает задача построения более простой для анализа модели воздействия световой энергии на процессы активации метаболитов, необходимых для прорастания семян, с сохранением основных особенностей рассмотренной выше модели, а именно: мембранного уровня воздействия фитохрома, наличия взаимно превращающихся под действием света форм фитохрома, а также отображать наличие явления насыщения при воздействии света на фитохром [75,79,80].

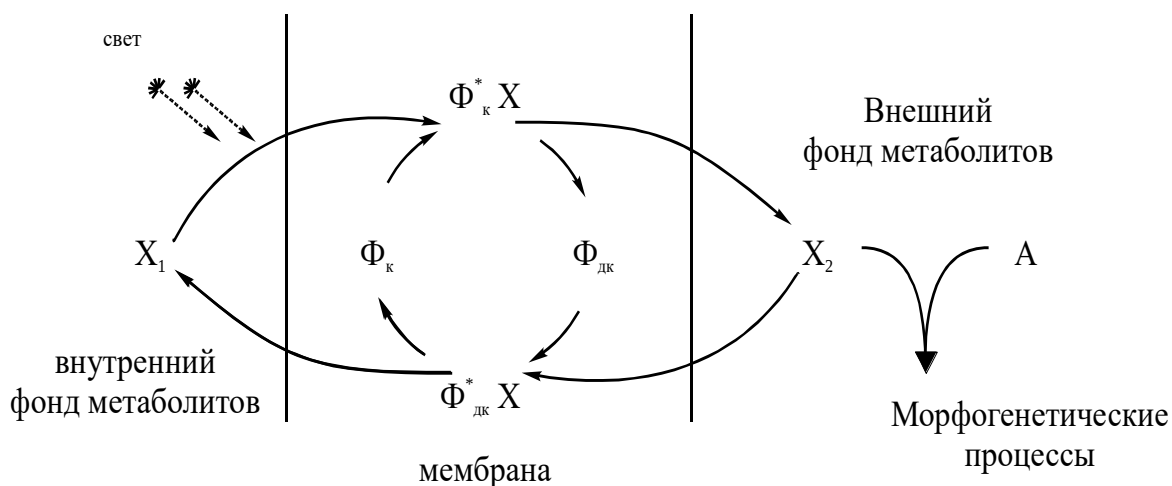


Рис. 2.1. Модель действия фитохрома при световом воздействии на процессы прорастания семян Г. Смита [13].

Поскольку комплексы $\Phi_K^* X$ и $\Phi_{DK}^* X$ являются крайне нестабильными и реакции их распада идут с большой скоростью, накопление веществ в виде промежуточных продуктов будет весьма незначительным и им можно пренебречь. Явление насыщения можно промоделировать наличием двух разнонаправленных реакций, одна из которых имеет постоянную скорость, а скорость другой зависит от интенсивности светового воздействия. Обозначив формы на поверхности мембраны клетки с

индексами со знаком «*», получим модель стимуляции процессов прорастания семян при световом воздействии, показанную на рис. 2.2.

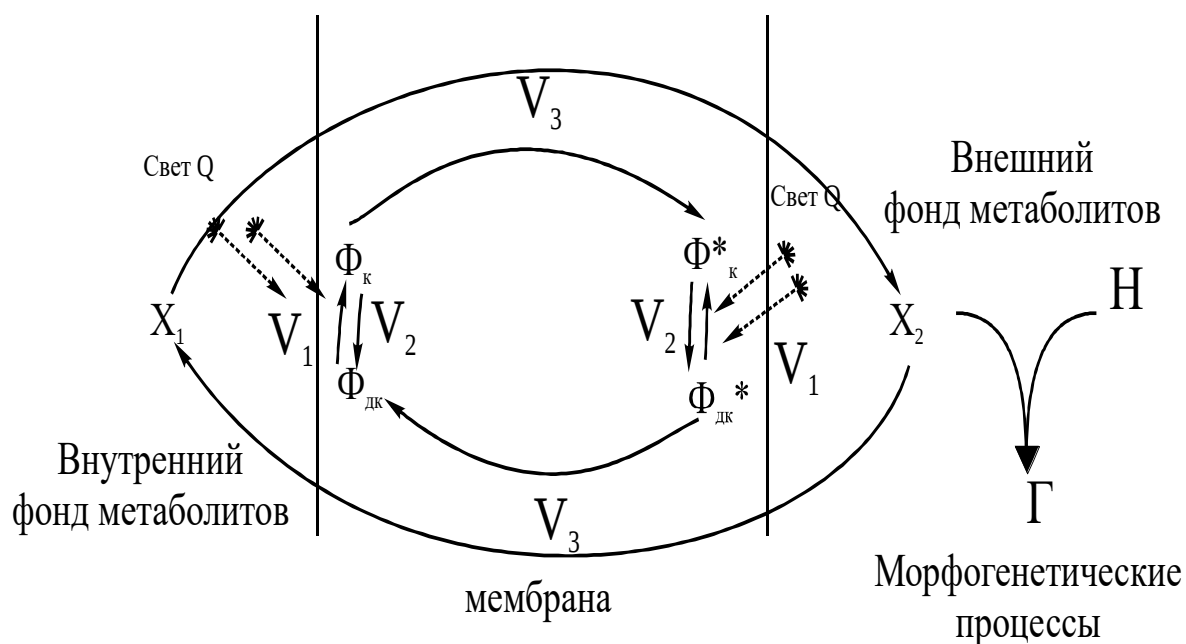
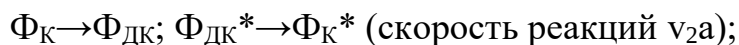
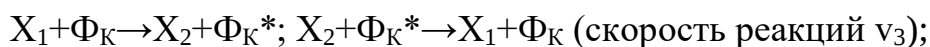


Рис. 2.2. Модель действия фитохрома при световом воздействии на процессы прорастания семян.

2.2. Анализ модели и определение соотношений основных параметров режимов импульсного лазерного облучения

Для анализа эффективности действия световой энергии при синтезе необходимых в процессах прорастания семян метаболитов согласно представленной на рис. 2.2. модели необходимо представить происходящие процессы в виде химических реакций, для которых, в свою очередь, будет возможно составить и решить систему описывающих ход реакций дифференциальных уравнений. Следует учесть, что в силу идентичности химических свойств у взаимно превращающихся форм фитохрома скорости происходящих при их участии реакций будут равными. Запишем происходящие в системе химические реакции с учетом введения действия световой энергии как формального действующего веще-

ства Q с концентрацией, пропорциональной интенсивности падающей световой энергии в диапазоне максимума поглощения формы фитохрома Φ_K :



В предпоследней реакции введен для скорости реакции параметр для нормирования размерности скорости реакции. Точные значения скоростей реакций определить затруднительно, однако можно сделать некоторые заключения о соотношениях между ними [13,75,79], а именно:

$$v_2 \geq v_1 > v_4 \gg v_3 \quad (2.1).$$

С учетом того, что концентрация внутри клеток метаболита X_1 , переносимого через мембрану соединениями фитохрома значительно превосходит концентрацию самого фитохрома (не менее чем на 3-4 порядка) можно считать эту концентрацию постоянной и равной константе a . Также постоянной считаем концентрацию взаимодействующего с перенесенным через мембрану метаболитом X_2 метаболита H и обозначим ее как постоянную h . Введем теперь для сокращения размеров записей следующие обозначения для концентраций действующих веществ:

$$\{X_1\} = \text{const} = a; \{X_2\} = F; \{H\} = h; \{Q\} = \text{const} = q;$$

$$\{\Phi_K\} = B; \{\Phi_{DK}\} = D; \{\Phi_K^*\} = C; \{\Phi_{DK}^*\} = E.$$

С учетом скоростей реакций на основе закона действующих масс [18] можно записать следующую систему дифференциальных уравнений:

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{dB}{dt} = v_1 qD - v_2 aB - v_3 aB \\ \frac{dC}{dt} = v_3 aB + v_1 qE - v_2 aC \\ \frac{dD}{dt} = -v_1 qD + v_2 aB + v_3 EF \\ \frac{dE}{dt} = v_2 aC - v_1 qE - v_3 EF \\ \frac{dF}{dt} = v_3 aB - v_3 EF - v_4 hF \end{array} \right. \quad (2.2)$$

Что же касается начальных условий, то в силу того, что при отсутствии светового воздействия $q=0$ и все формы фитохрома постепенно преобразуются в форму $\Phi_{\text{дк}}$, т.е. $D=D_0$; $B_0=C_0=E_0=F_0=0$, откуда кроме того следует, что $D+B+C+E=D_0$. Система уравнений (2.2) содержит три нелинейных дифференциальных уравнения и может быть сведена к одному нелинейному уравнению, решение которого в радикалах найти весьма затруднительно. Однако эту систему уравнений можно значительно упростить, если учесть, что при переходе через мембрану одной молекулы фитохрома переносится только одна молекула исходного метаболита, откуда следует, что $a \gg D_0 \geq F \geq E$. Таким образом, с учетом соотношений (2.1) и того факта, что концентрация исходных метаболитов превосходит концентрацию всех форм фитохрома на 3-4 порядка, можно сделать вывод о том, что нелинейный член в указанной системе уравнений будет не менее чем на 4-5 порядков меньше любого из всех стоящих в правых частях уравнений членов, поэтому им можно пренебречь и тогда, оставив четыре первых уравнения для решения и пренебрегая нелинейными членами, можно записать следующую систему уравнений с учетом начальных условий переходя от оригиналов к изображениям [81,82]:

$$\begin{cases} p\bar{B} = v_1q\bar{D} - v_2a\bar{B} - v_3a\bar{B} \\ p\bar{C} = v_3a\bar{B} + v_1q\bar{E} - v_2a\bar{C} \\ p\bar{D} - D_0 = -v_1q\bar{D} + v_2a\bar{B} \\ p\bar{E} = v_2a\bar{C} - v_1q\bar{E} \end{cases} \quad (2.3)$$

отсюда получим

$$\begin{cases} (p + v_2a + v_3a)\bar{B} = v_1q\bar{D} \\ (p + v_2a)\bar{C} = v_3a\bar{B} + v_1q\bar{E} \\ (p + v_1q)\bar{D} = D_0 + v_3a\bar{B} \\ (p + v_1q)\bar{E} = v_2a\bar{C} \end{cases} \quad (2.4)$$

Поскольку скорость переноса исходного метаболита через мембрану определяется концентрацией формы $\{\Phi_K\}=B$, то исходную систему целесообразно решать относительно изображения B . После очевидных преобразований получаем:

$$\bar{B} = \frac{v_1qD_0}{p^2 + (v_1q + v_2a + v_3a)p + v_1qv_3a} \quad (2.5)$$

Для перехода к оригиналу необходимо разложить выражение в правой части на элементарные дроби. В силу приведенных выше соотношений между концентрациями действующих веществ и скоростями реакций стоящее в знаменателе выражение может быть представлено как произведение двух сомножителей, поэтому разложение ищем в виде

$$\begin{aligned} \bar{B} = & \frac{A_1}{p + \frac{1}{2}(v_1q + v_2a + v_3a) + \sqrt{\left(\frac{1}{2}(v_1q + v_2a + v_3a)\right)^2 - v_1qv_3a}} + \\ & + \frac{A_2}{p + \frac{1}{2}(v_1q + v_2a + v_3a) - \sqrt{\left(\frac{1}{2}(v_1q + v_2a + v_3a)\right)^2 - v_1qv_3a}} \end{aligned} \quad (2.6)$$

После приведения к общему знаменателю выражения (2.6) и вычисления значений A_1 и A_2 получаем

$$\begin{aligned} \bar{B} = & \frac{v_1 q D_0}{2 \sqrt{\left(\frac{1}{2}(v_1 q + v_2 a + v_3 a)\right)^2 - v_1 q v_3 a}} \times \\ & \times \left(\frac{1}{p + \frac{1}{2}(v_1 q + v_2 a + v_3 a) + \sqrt{\left(\frac{1}{2}(v_1 q + v_2 a + v_3 a)\right)^2 - v_1 q v_3 a}} - \right. \\ & \left. - \frac{1}{p + \frac{1}{2}(v_1 q + v_2 a + v_3 a) - \sqrt{\left(\frac{1}{2}(v_1 q + v_2 a + v_3 a)\right)^2 - v_1 q v_3 a}} \right) \end{aligned} \quad (2.7)$$

Отсюда, переходя к оригиналам, окончательно имеем

$$\begin{aligned} B = & \frac{v_1 q D_0}{\sqrt{\left(\frac{1}{2}(v_1 q + v_2 a + v_3 a)\right)^2 - v_1 q v_3 a}} \cdot \exp\left(-\frac{1}{2}(v_1 q + v_2 a + v_3 a)t\right) \times \\ & \times \operatorname{sh}\left(\sqrt{\left(\frac{1}{2}(v_1 q + v_2 a + v_3 a)\right)^2 - v_1 q v_3 a} \cdot t\right) \end{aligned} \quad (2.8)$$

Если принять условно $v_3 a = 1$ и построить зависимости $B(t)$ для некоторых соотношений скоростей реакций, приведенные на рис. 2.3, то после анализа полученных зависимостей можно сделать некоторые важные выводы [83].

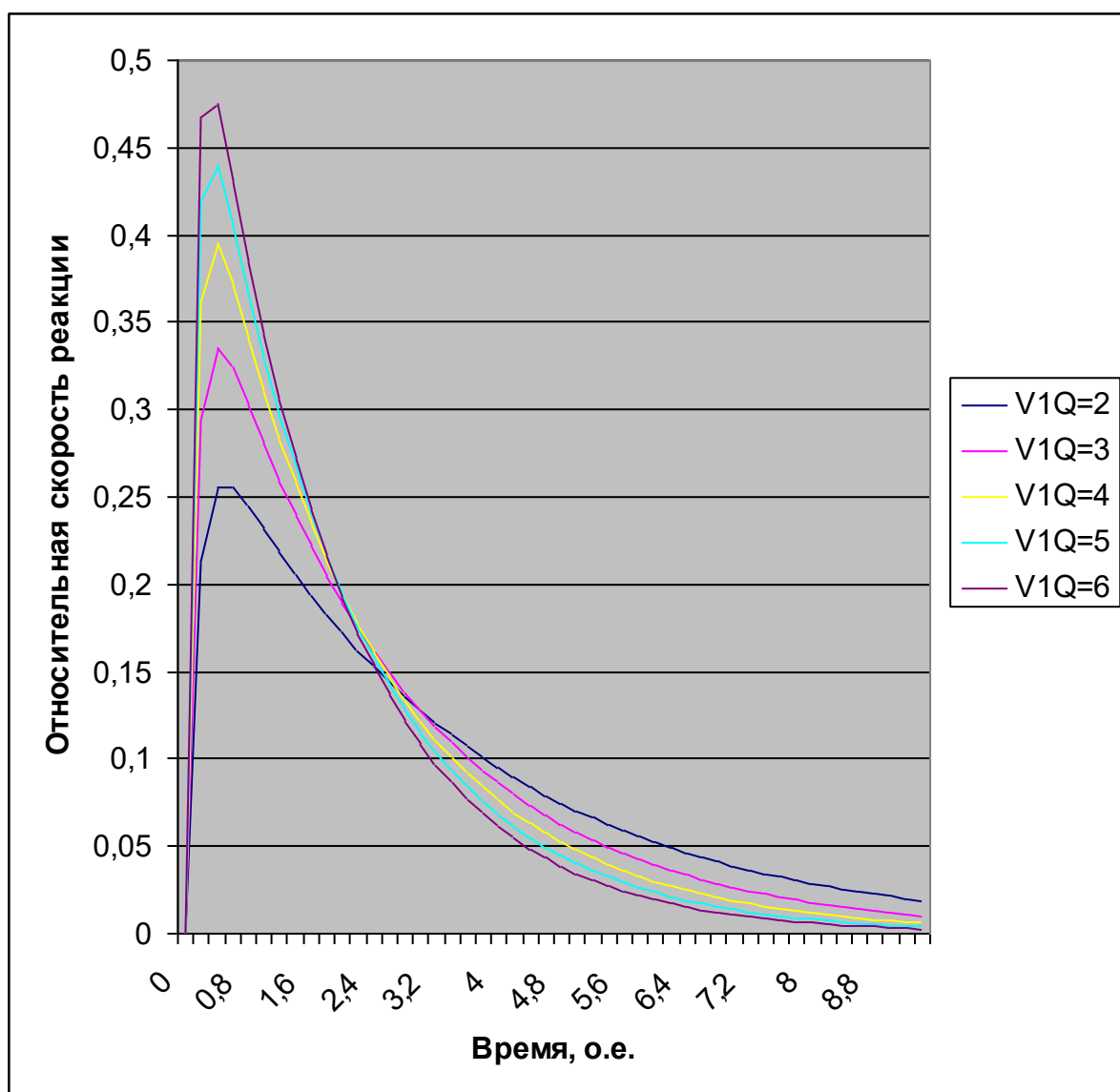


Рис. 2.3. Изменение скорости переноса исходного метаболита через мембрану во времени (отсчитывая от начала облучения) при $v_{2a}=4$.

Прежде всего, необходимо заметить, что вне зависимости от длительности облучения при однократном облучении через мембрану переносится не более чем D_0 молекул исходного метаболита. С точки зрения биологической целесообразности это явление может быть объяснено тем фактом, что в противном случае при случайном однократном или двукратном облучении семян стимулирование их всхожести вызвало бы их гибель при выведении из состояния покоя в неблагоприятных для последующего развития растений условиях. Таким образом, для выведения

из состояния покоя наиболее приемлемым является именно неоднократное импульсное облучение с определенными параметрами. Также получает объяснение тот установленный рядом исследователей факт, что импульсное облучение семян даже при малой интенсивности падающей энергии является более эффективным, чем непрерывное при гораздо большей интенсивности [11,53,67,72,84,85].

Также из анализа полученных зависимостей становится очевидным, что при увеличении удельной энергии падающего излучения возможно сокращение периода следования импульсов, а значит и общего времени обработки семян. Поскольку квантовые генераторы (лазеры), излучающие в диапазоне красного света, соответствующем максимуму поглощения фитохрома активной формы, являются к тому же наиболее стабильными при работе в импульсном режиме из искусственных источников, могущих обеспечить необходимую плотность световой энергии, то для предпосевного импульсного облучения семян целесообразно использование именно их.

Следует заметить, что при прекращении светового воздействия система постепенно приходит в исходное состояние, т.е. все формы фитохрома превращаются в форму $\Phi_{\text{ДК}}$, при этом наиболее медленно убывает концентрация формы $\Phi_{\text{ДК}}^*$, которая изменяется по закону

$$E = \left(E_0 + \frac{v_2 a C_0}{v_2 a - v_3 h} \right) \cdot \exp(-v_3 h t) - \frac{v_2 a C_0}{v_2 a - v_3 h} \cdot \exp(-v_2 a t), \quad (2.8)$$

где E_0 – значение E по окончанию светового воздействия;

C_0 - значение C по окончанию светового воздействия.

Поскольку при отсутствии облучения процессы релаксации системы происходят довольно медленно (в силу меньших скоростей соответствующих реакций), то заполнение периода между импульсами должно быть небольшим.

Представленную на рис. 2.2 модель можно несколько упростить, если принять учесть допущение, что при переходе веществ через мембрану имеет место процесс типа диффузии [79] (тогда скорости реакций при переходе через мембрану будут одинаковы) и что переносимый метаболит присоединяется к одной молекуле фитохрома и при этом обратным переносом его через мембрану можно пренебречь, во-первых, в силу соотношения 2.1 и во-вторых, в силу того факта, что переносимый метаболит при прорастании семян связывается запускаемыми при этом последующими биохимическими реакциями и потому скорость его возможного обратного переноса будет достаточно мала для того, чтобы ею можно было пренебречь. Такая модель приведена на рисунке 2.4. Для ее рассмотрения применим те же соотношения, что и при рассмотрении модели на рис. 2.2, при этом сохраняя значение скорости реакций $X_1 + \Phi_K \rightarrow X_2 + \Phi_K^*$; $\Phi_K^* \rightarrow \Phi_K$ как v_{3a} и $\Phi_K \rightarrow \Phi_{DK}$; $\Phi_{DK}^* \rightarrow \Phi_K^*$ как v_{2a} для сохранения тех же размерностей.

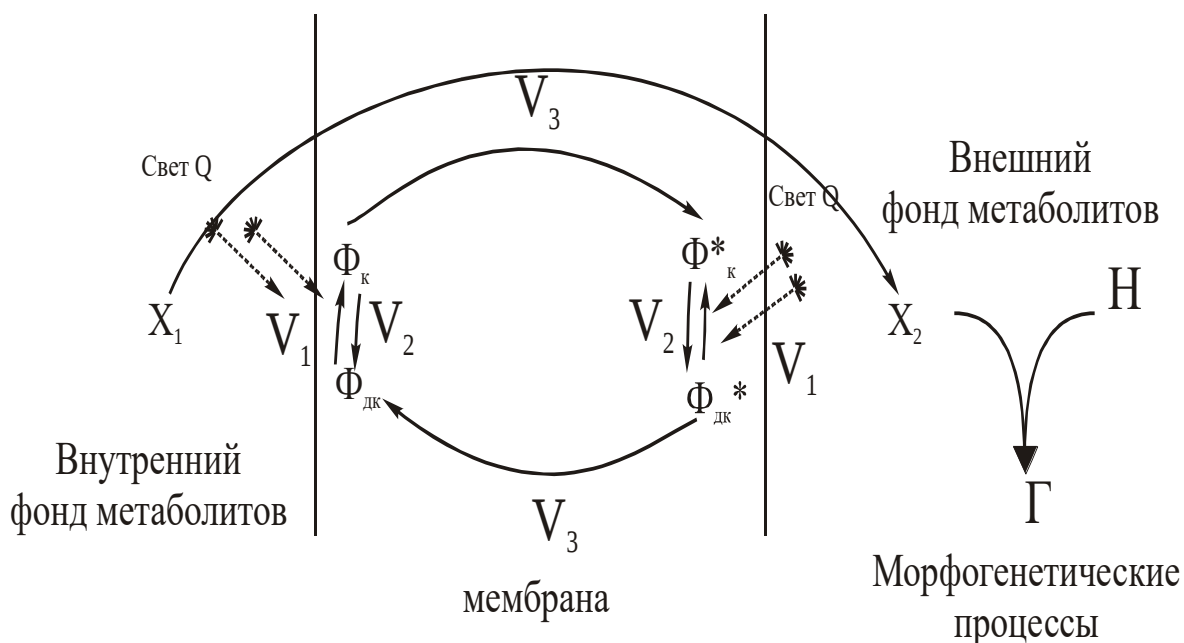


Рис. 2.4 – Упрощенная модель действия фитохрома при световом воздействии на процессы прорастания семян.

Тогда вместо системы уравнений 2.2. можно записать следующую систему уравнений:

$$\begin{cases} \frac{dB}{dt} = v_1 q D - v_2 a B - v_3 a B \\ \frac{dC}{dt} = v_3 a B + v_1 q E - v_2 a C \\ \frac{dD}{dt} = -v_1 q D + v_2 a B + v_3 a E \\ \frac{dE}{dt} = v_2 a C - v_1 q E - v_3 a E \end{cases} \quad (2.9)$$

При переходе от оригиналов к изображениям [81,82] аналогично (2.3) получаем:

$$\begin{cases} p\bar{B} = v_1 q \bar{D} - v_2 a \bar{B} - v_3 a \bar{B} \\ p\bar{C} = v_3 a \bar{B} + v_1 q \bar{E} - v_2 a \bar{C} \\ p\bar{D} - D_0 = -v_1 q \bar{D} + v_2 a \bar{B} + v_3 a \bar{E} \\ p\bar{E} = v_2 a \bar{C} - v_1 q \bar{E} - v_3 a \bar{E} \end{cases} \quad (2.10)$$

а отсюда, с учетом того, что в течении всего процесса концентрация $\Phi_{\text{ДК}}^*$ незначительна и того, что скорость реакции v_{3a} по сравнению с другими очень мала, можем записать, пренебрегая в третьем уравнении последним из слагаемых:

$$\begin{cases} (p + v_2 a + v_3 a) \bar{B} = v_1 q \bar{D} \\ (p + v_2 a) \bar{C} = v_3 a \bar{B} + v_1 q \bar{E} \\ (p + v_1 q) \bar{D} = D_0 + v_3 a \bar{B} \\ (p + v_1 q + v_3 a) \bar{E} = v_2 a \bar{C} \end{cases} \quad (2.11)$$

Отсюда получаем:

$$\bar{B} = \frac{v_1 q D_0}{p^2 + (v_2 a + v_3 a)p + v_1 q v_3 a} \quad (2.12)$$

$$\bar{D} = \frac{(p + v_2 a + v_3 a) D_0}{p^2 + (v_2 a + v_3 a)p + v_1 q v_3 a} \quad (2.13).$$

Отсюда, переходя к оригиналам, получаем

$$B = \frac{v_1 q D_0}{\sqrt{\left(\frac{1}{2}(v_2 a + v_3 a)\right)^2 - v_1 q v_3 a}} \cdot \exp\left(-\frac{1}{2}(v_2 a + v_3 a)t\right) \times \\ \times \operatorname{sh}\left(\sqrt{\left(\frac{1}{2}(v_2 a + v_3 a)\right)^2 - v_1 q v_3 a} \cdot t\right) \quad (2.14)$$

$$D = D_0 \cdot \exp\left(-\frac{1}{2}(v_2 a + v_3 a)t\right) \times \left\{ \operatorname{ch}\left(\sqrt{\left(\frac{1}{2}(v_2 a + v_3 a)\right)^2 - v_1 q v_3 a} \cdot t\right) + \right. \\ \left. + \frac{1}{\sqrt{\left(\frac{1}{2}(v_2 a + v_3 a)\right)^2 - v_1 q v_3 a}} \times \operatorname{sh}\left(\sqrt{\left(\frac{1}{2}(v_2 a + v_3 a)\right)^2 - v_1 q v_3 a} \cdot t\right) \right\} \quad (2.15)$$

Принимая условно $v_3 a = 1$ и построим зависимости $B(t)$ для некоторых соотношений скоростей реакций, которые приведены на рис. 2.5.

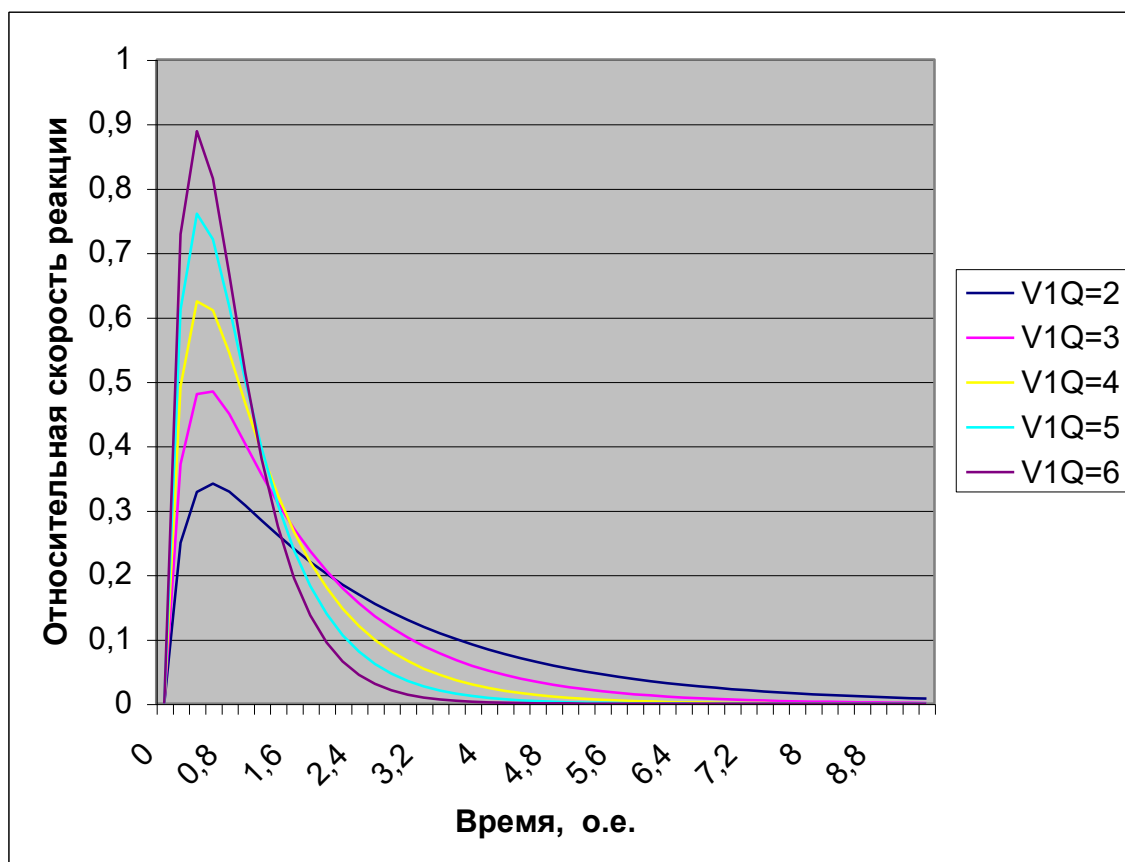


Рис. 2.5. Изменение скорости переноса исходного метаболита через мембрану во времени (отсчитывая от начала облучения) при $v_2 a = 4$.

Анализируя приведенные зависимости, можно сделать выводы, аналогичные полученным при анализе зависимостей на рис. 2.3. о дискретности переноса метаболитов и о большей эффективности импульсного предпосевного облучения семян. Кроме того, становится очевидным, что при увеличении плотности энергии перенос метаболита осуществляется при меньшем числе импульсов.

При анализе зависимости $D(t)$ (рис. 2.6) видно, что при истечении достаточного времени от начала подачи светового импульса $D \rightarrow 0$, а фитохром будет накапливаться в формах $\Phi_{\text{дк}}^*$ и $\Phi_{\text{к}}^*$, соотношение между которыми определяется временем, прошедшим от начала подачи импульса и параметрами облучения.

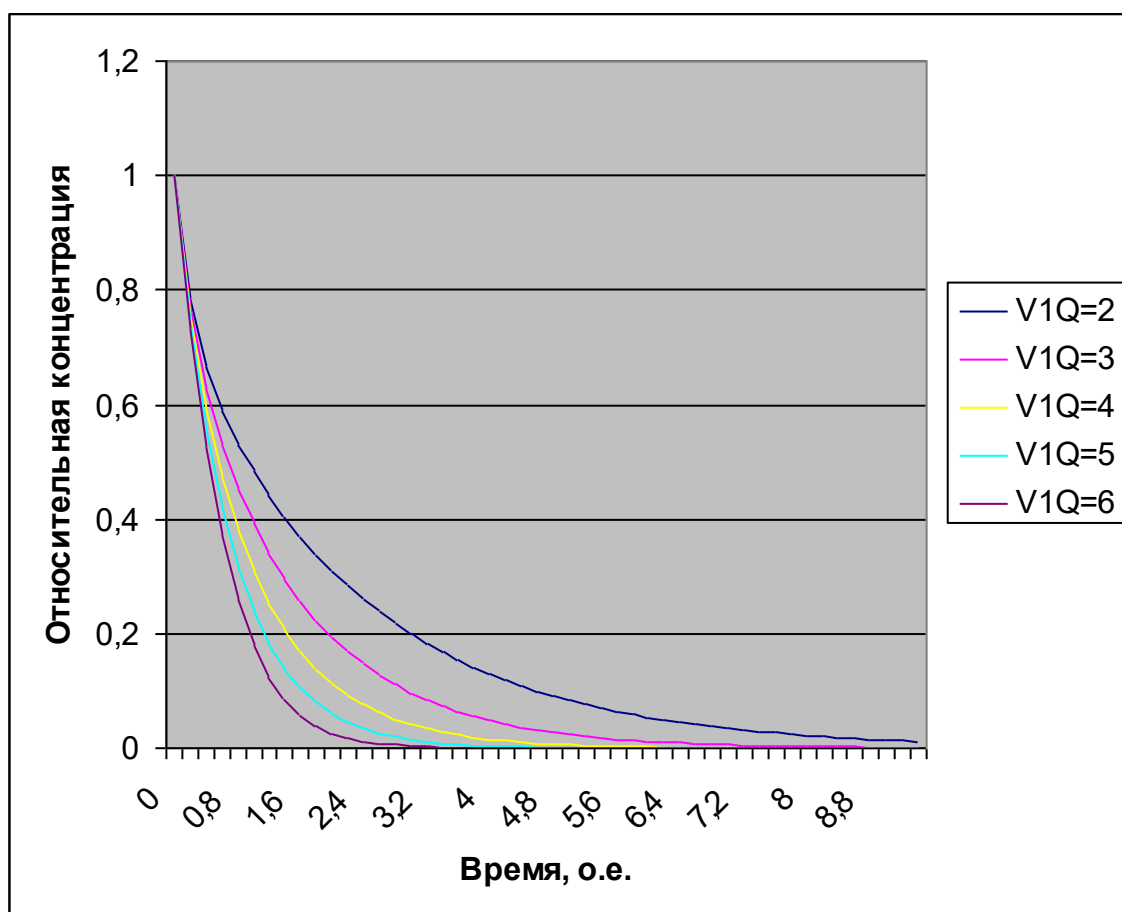


Рис. 2.6. Изменение концентрации формы $\Phi_{\text{дк}}$ во времени (отсчитывая от начала облучения) при $v_{2a}=4$.

Если обозначить концентрации этих форм по окончании облучения через C_0 и E_0 , то по прекращению импульса система (2.10) будет представлена с учетом $v_1q=0$ в виде

$$\begin{cases} p\bar{C} - C_0 = -v_2 a \bar{C} \\ p\bar{D} = v_3 a \bar{E} \\ p\bar{E} - E_0 = v_2 a \bar{C} - v_3 a \bar{E} \end{cases} \quad (2.16)$$

Тогда для изменения концентрации E , которая определяет скорость перемещения фитохрома через мембрану во внутренний компартмент, при переходе к оригиналам получаем

$$E = E_0 e^{-v_3 a t} + \frac{v_2 a C_0}{v_2 a - v_3 a} (e^{-v_3 a t} - e^{-v_2 a t}), \quad (2.17)$$

аналогично выражению (2.8), при анализе которого можно сделать подобные же выводы. Кроме того, как видно из формулы 2.17, скорость протекания всего процесса можно увеличить, если увеличить скорость перехода форм фитохрома Φ_K и Φ_K^* в Φ_{DK} и Φ_{DK}^* соответственно, т.е. скорость v_2 , что можно осуществить путем подачи импульса дальнего красного света в паузе между импульсами красного света. Такой способ облучения семян получил свое экспериментальное подтверждение [86], хотя его осуществление сопряжено с некоторыми техническими трудностями.

Для того, чтобы оценить количество метаболита, переносимого за время действия одного импульса F_1 , при условии принятия постоянства концентрации исходного метаболита a (что обусловлено его значительно большей концентрацией по сравнению с концентрацией фитохрома во всех его формах), очевидно, необходимо вычислить следующий интеграл (см. последнее уравнение системы 2.2):

$$F_1 = v_3 a \int_0^T B(t) dt, \quad (2.18)$$

где T – длительность импульса,

то, подставляя в 2.18 выражение 2.14 получаем:

$$F_1 = \frac{v_1 q v_3 a D_0}{\sqrt{\left(\frac{1}{2}(v_2 a + v_3 a)\right)^2 - v_1 q v_3 a}} \cdot \int_0^T \left\{ \exp\left(-\frac{1}{2}(v_2 a + v_3 a)t\right) \times \right. \\ \left. \times \operatorname{sh}\left(\sqrt{\left(\frac{1}{2}(v_2 a + v_3 a)\right)^2 - v_1 q v_3 a} \cdot t\right) \right\} dt \quad (2.19)$$

Сначала вычислим методом интегрирования по частям следующий неопределенный интеграл:

$$J = \int \left\{ \exp\left(-\frac{1}{2}(v_2 a + v_3 a)t\right) \times \operatorname{sh}\left(\sqrt{\left(\frac{1}{2}(v_2 a + v_3 a)\right)^2 - v_1 q v_3 a} \cdot t\right) \right\} dt = \\ = -\frac{2}{(v_2 a + v_3 a)} \exp\left(-\frac{1}{2}(v_2 a + v_3 a)t\right) \times \operatorname{sh}\left(\sqrt{\left(\frac{1}{2}(v_2 a + v_3 a)\right)^2 - v_1 q v_3 a} \cdot t\right) + \\ + \frac{2\sqrt{\left(\frac{1}{2}(v_2 a + v_3 a)\right)^2 - v_1 q v_3 a}}{(v_2 a + v_3 a)} \int \left\{ \exp\left(-\frac{1}{2}(v_2 a + v_3 a)t\right) \times \right. \\ \left. \times \operatorname{ch}\left(\sqrt{\left(\frac{1}{2}(v_2 a + v_3 a)\right)^2 - v_1 q v_3 a} \cdot t\right) \right\} dt = -\left(\frac{2}{(v_2 a + v_3 a)} \exp\left(-\frac{1}{2}(v_2 a + v_3 a)t\right) \times \right. \\ \left. \times \operatorname{sh}\left(\sqrt{\left(\frac{1}{2}(v_2 a + v_3 a)\right)^2 - v_1 q v_3 a} \cdot t\right) - \frac{4\sqrt{\left(\frac{1}{2}(v_2 a + v_3 a)\right)^2 - v_1 q v_3 a}}{(v_2 a + v_3 a)^2} \times \right. \\ \left. \times \exp\left(-\frac{1}{2}(v_2 a + v_3 a)t\right) \times \operatorname{ch}\left(\sqrt{\left(\frac{1}{2}(v_2 a + v_3 a)\right)^2 - v_1 q v_3 a} \cdot t\right) + \right. \\ \left. + \frac{4\left\{\left(\frac{1}{2}(v_2 a + v_3 a)\right)^2 - v_1 q v_3 a\right\}}{(v_2 a + v_3 a)^2} \times \int \left\{ \exp\left(-\frac{1}{2}(v_2 a + v_3 a)t\right) \times \right.$$

$$\times \operatorname{sh} \left(\sqrt{\left(\frac{1}{2}(\mathbf{v}_2 \mathbf{a} + \mathbf{v}_3 \mathbf{a}) \right)^2 - \mathbf{v}_1 \mathbf{q} \mathbf{v}_3 \mathbf{a} \cdot \mathbf{t}} \right) dt \quad (2.20)$$

Поскольку последний интеграл в выражении 2.20 и есть искомый интеграл J , то отсюда можно найти его значение:

$$\begin{aligned} J = & -\frac{1}{\mathbf{v}_1 \mathbf{q} \mathbf{v}_3 \mathbf{a}} \exp \left(-\frac{1}{2}(\mathbf{v}_2 \mathbf{a} + \mathbf{v}_3 \mathbf{a}) \mathbf{t} \right) \times \left[\frac{1}{2}(\mathbf{v}_2 \mathbf{a} + \mathbf{v}_3 \mathbf{a}) \times \right. \\ & \times \operatorname{sh} \left(\sqrt{\left(\frac{1}{2}(\mathbf{v}_2 \mathbf{a} + \mathbf{v}_3 \mathbf{a}) \right)^2 - \mathbf{v}_1 \mathbf{q} \mathbf{v}_3 \mathbf{a} \cdot \mathbf{t}} \right) + \sqrt{\left(\frac{1}{2}(\mathbf{v}_2 \mathbf{a} + \mathbf{v}_3 \mathbf{a}) \right)^2 - \mathbf{v}_1 \mathbf{q} \mathbf{v}_3 \mathbf{a} \cdot \mathbf{t}} \times \\ & \left. \times \operatorname{ch} \left(\sqrt{\left(\frac{1}{2}(\mathbf{v}_2 \mathbf{a} + \mathbf{v}_3 \mathbf{a}) \right)^2 - \mathbf{v}_1 \mathbf{q} \mathbf{v}_3 \mathbf{a} \cdot \mathbf{t}} \right) \right] \end{aligned} \quad (2.21)$$

Тогда выражение 2.19 будет иметь вид:

$$\begin{aligned} F_1 = & \frac{D_0}{\sqrt{\left(\frac{1}{2}(\mathbf{v}_2 \mathbf{a} + \mathbf{v}_3 \mathbf{a}) \right)^2 - \mathbf{v}_1 \mathbf{q} \mathbf{v}_3 \mathbf{a}}} [1 - \exp \left(-\frac{1}{2}(\mathbf{v}_2 \mathbf{a} + \mathbf{v}_3 \mathbf{a}) \mathbf{T} \right) \times \left[\frac{1}{2}(\mathbf{v}_2 \mathbf{a} + \mathbf{v}_3 \mathbf{a}) \times \right. \\ & \times \operatorname{sh} \left(\sqrt{\left(\frac{1}{2}(\mathbf{v}_2 \mathbf{a} + \mathbf{v}_3 \mathbf{a}) \right)^2 - \mathbf{v}_1 \mathbf{q} \mathbf{v}_3 \mathbf{a} \cdot \mathbf{T}} \right) + \sqrt{\left(\frac{1}{2}(\mathbf{v}_2 \mathbf{a} + \mathbf{v}_3 \mathbf{a}) \right)^2 - \mathbf{v}_1 \mathbf{q} \mathbf{v}_3 \mathbf{a} \cdot \mathbf{T}} \times \\ & \left. \times \operatorname{ch} \left(\sqrt{\left(\frac{1}{2}(\mathbf{v}_2 \mathbf{a} + \mathbf{v}_3 \mathbf{a}) \right)^2 - \mathbf{v}_1 \mathbf{q} \mathbf{v}_3 \mathbf{a} \cdot \mathbf{T}} \right) \right] \end{aligned} \quad (2.22)$$

При анализе этого выражения можно заметить, что принимая $T \rightarrow \infty$ получаем очевидное решение $F_1 = D_0$; кроме того, поскольку аргумент показательной функции по модулю больше аргументов гиперболических функций, то при T , не близких к нулевому значению (что соответствует достаточно длительным периодам между импульсами), можно принять зависимость между переносимым за импульс метаболитом и продолжительностью импульса в виде обратной к показательной функции вида

$$F_1 = [1 - \exp(-\alpha T)].$$

При дальнейшем уменьшении длины периода (которое соответствует при фиксированном значении скважности импульсов уменьшению периода следования импульса), как можно видеть из рисунка 2.5, будет наблюдаться резкое падение переносимого метаболита. Очевидно, эти же соображения будут присущи и всему процессу облучения. Таким образом, можно сделать вывод о том, что эффективное облучение в импульсном режиме начинается с некоторой определенной длительности импульсов, далее с ростом длительности импульсов наблюдается постепенное повышение эффективности облучения, однако нарастание этой эффективности будет спадать.

Что же касается зависимости эффекта от облучения, проявляющегося в конечном итоге в повышении ПКС, то очевидным будет факт роста показателей ПКС с увеличением числа импульсов до определенного предела, что обусловлено лимитирующим действием других веществ, участвующих в процессах прорастания, а также конечностью количества переносимого метаболита.

Таким образом, можно сделать общий вывод о повышении показателей ПКС облученных семян с ростом плотности падающей энергии и о повышении с явно выраженным насыщением ПКС облученных семян с ростом таких параметров, как общее число импульсов, период следования импульсов и их длительность. Исходя из полученных основных соотношений параметров режимов импульсного облучения семян и из того факта, что точные значения скоростей действующих реакций и концентраций действующих веществ (которые, очевидно, могут иметь сложные зависимости от вида и сорта семян, а также параметров их состояния и, возможно, параметров среды) определить довольно сложно, представляется целесообразным определять основные параметры режимов импульсного облучения семян (прежде всего это удельная энергия светового воздействия, период следования световых импульсов и их общее число)

методом активного эксперимента для конкретных видов и сортов, а также исходных показателей всхожести (классности семян).

Выводы к разделу

1. Анализ процессов, происходящих при предпосевном облучении семян, показал, что импульсное облучение при правильном выборе его параметров может быть гораздо эффективнее, чем непрерывное облучение даже с большей интенсивностью световой энергии.

2. Проведенный анализ модели действия фитохрома в процессе облучения семян показывает, что при однократном облучении через мембраны клеток переносится только ограниченное количество необходимых для вывода семени из покоя метаболитов, а также целесообразно соблюдать следующие соотношения между параметрами режимов облучения: заполнение периода между импульсами должно быть небольшим; при необходимости уменьшить период следования импульсов или общего времени облучения необходимо увеличивать плотность световой энергии.

3. Для импульсного предпосевого облучения в качестве источника световой энергии наиболее удобно использовать лазеры с длиной волны, соответствующем максимуму поглощения фитохрома активной формы. Возможно применение (с целью ускорения процесса стимуляции) поочередной подачи импульсов красного и дальнего красного света.

4. Для определения конкретных значений основных параметров режимов импульсного облучения семян (прежде всего это удельная энергия светового воздействия, период следования световых импульсов и их общее число) для определенных видов и сортов овощных культур, а также исходных показателей всхожести (классности семян) целесообразно использовать методы активного эксперимента.

РАЗДЕЛ 3

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПАРАМЕТРОВ РЕЖИМОВ ИМПУЛЬСНОГО ЛАЗЕРНОГО ПРЕДПОСЕВНОГО ОБЛУЧЕНИЯ СЕМЯН ОВОЩНЫХ КУЛЬТУР

3.1. Методы и объекты исследований

Цель исследования – определение параметров режимов импульсного предпосевного облучения семян овощных культур лазерным излучением, которые оказывают наибольшее стимулирующее воздействие на посевные качества семян при возможно меньших затратах энергии и при возможно большей производительности.

3.1.1. Объекты исследований

Для проведения экспериментальных исследований в розничной сети «Укрсортсемяовощ» были приобретены семена овощных культур, которые занимают наибольшие площади на территории Украины, а именно семена следующих культур и сортов: огурцы Родничок и Конкурент, томаты Розовый гигант, перец Подарок Молдовы, баклажаны Донецкий урожайный. Посевные качества семян проверялись по методике, изложенной в следующем подразделе, данные о них указаны в таблице 3.1. Поскольку все семена соответствовали первому классу по посевным качествам (по ЛВ и ЭП) согласно ОСТ 46 90 - 80 – ОСТ 46 107 – 80 [6], то для получения семян с более низкими посевными качествами с целью поиска для них оптимальных режимов предпосевного облучения был применен известный метод искусственного старения [17,32]. Этот метод заключается в том, что увлажненные семена выдерживаются на водяной бане в герметично закрытом сосуде при температуре 80° С в течение

определенного времени, от длительности которого зависит снижение их лабораторной всхожести, по которой и определяются ПКС, с последующим высушиванием семян. Одновременно происходит и снижение ЭП, однако этот показатель не регламентирует отнесение семян к определенному классу по ПКС [6].

Таблица 3.1 –

Данные о ПКС для проведения экспериментальных исследований.

Культура, сорт	Опыт 1 (исходные семена, соответствующие 1-му классу по ПКС)		Опыт 2 (семена, соответствующие 2-му классу по ПКС)		Опыт 3 (внеклассные по ПКС)	
	ЛВ, %	ЭП, %	ЛВ, %	ЭП, %	ЛВ, %	ЭП, %
Огурец, сорт Конкурент	94	71	79	59	66	40
Огурец, сорт Родничек	93	73	83	64	65	43
Томаты Розовый гигант	91	57	77	52	60	32
Перец Подарок Молдовы	88	52	73	39	54	24
Баклажаны Донецкий урожайный	79	57	68	42	55	30

Для последующего исследования были получены партии семян, соответствующие по посевным качествам 2-му классу и внеклассные,

которые в данном разделе в последующем будут использованы в опытах по определению влияния действующих факторов на посевные качества семян, которые будут обозначены как «Опыт 2» и «Опыт 3» соответственно в отличие от опытов с исходными семенами, которые соответствуют 1-му классу и обозначены как «Опыт 1». Данные о посевных качествах полученных таким образом семян приведены в таблице 3.1., а данные о требованиях к сортовым и посевным качествам семян – в таблице 3.2.

Таблица 3.2 –

Стандарты качества семян [6,22,24].

Культура	Сортовые качества			Посевные качества			
	Сортовая чистота не менее, %			Класс	Всхо- жесть, %, не менее	Чистота, %, не менее	Влаж- ность, %, не более
	I	II	III				
Огурцы	98	96	90	1	90	99	10
				2	70	96	10
Баклажаны	98	97	92	1	75	98	11
				2	60	95	11
Перец	99	97	96	1	80	98	11
				2	60	95	11
Томаты	99	98	97	1	85	98	11
				2	65	96	11

3.1.2. Методика определения лабораторной всхожести и энергии прорастания семян овощных культур

Определение ПКС проводилось для исходных партий семян до облучения, а также после облучения и последующей выдержки семян в 6-7

дней согласно рекомендациям [10,12,20,55,56]. Во всех случаях определение ПКС (ЛВ и ЭП) проводилось по стандартной методике [26], при этом проращивание семян для всех культур велось при температуре 20-30°C (более высокая 8 ч, более низкая – 16 ч.), на свету, для семян огурца по способу «между бумагой», а для пасленовых – по способу «на бумаге», при этом использовались бумажные салфетки, которые были проверены на соответствие показателей капиллярного подъема, кислотности и зольности [6,26]. Пробы во всех случаях отбирались в 4 партии по 100 семян каждая, с определением ЛВ и ЭП как среднего из 4 показателей числа нормальных проростков (т.е. имеющие хорошо развитую корневую систему, гипокотиль и/или эпикотиль). Проращивание велось при помещении увлажненной бумаги с семенами на поддонах в термостатическом шкафу ШС №3, изображение которого приведено на рисунке 3.1. Для определения ЛВ и ЭП проращивание велось на протяжении сроков, указанных в таблице 3.3 согласно [6, 26].

Таблица 3.3 -

Сроки для определения ЭП и ЛВ [6,26].

Культура	Дни проращивания для определения ЭП	Дни проращивания для определения ЛВ
Огурец	3	8
Томат	6	12
Баклажан	5	14
Перец	7	14

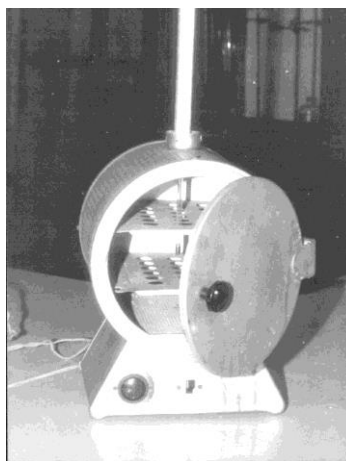


Рис. 3.1. Внешний вид термостатного шкафа.

Использовавшийся при определении ПКС термостатный шкаф типа «Шкаф сушильный №3» имеет такие технические характеристики:

Ток	переменный;
Номинальная мощность, Вт	500±10%;
Напряжение питающей сети, В	127 или 220;
Управление – электромагнитное реле типа РКС или подобное ему с разрывной силой тока 3 – 5 А;	
Время разогрева до 220°C при номинальном напряжении, не более, ч.	2;
Размеры рабочей камеры:	
Диаметр, мм	360;
Длина, мм	290;
Вес, кг	35.

3.1.3. Статистическая обработка результатов

Статистическая обработка экспериментальных данных осуществлялась по стандартным формулам [87]:

Среднее арифметическое:

$$\bar{x} = \frac{\sum x_i}{n}, \quad (3.1)$$

где x_i , $i = 1 \dots n$ – значение i -го элемента выборки;

n - объем выборки.

Дисперсия:

$$S^2 = \frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{n - 1}, \quad (3.2)$$

Ошибка средней:

$$S_{\bar{x}} = \sqrt{\frac{S^2}{n}}, \quad (3.3)$$

Доверительный интервал для среднего значения:

$$\bar{x} \pm t S_{\bar{x}}, \quad (3.4)$$

где t - теоретическое значение критерия Стьюдента.

Существенность расхождений между выборками оценивалась по t - критерию Стьюдента:

$$t = (\bar{x}_1 - \bar{x}_2) \cdot \left(\frac{2S}{x_1} + \frac{2S}{x_2} \right)^{-\frac{1}{2}}, \quad (3.5)$$

В случае, если $t_{\text{факт}} \geq t_{\text{теор}}$, расхождение между выборками считаются существенными, в противном случае считают, что они находятся в границах случайных колебаний для принятого уровня значимости. Величину $t_{\text{теор}}$ определяли из таблиц [88].

3.1.4. Оборудование и приборы для проведения экспериментальных исследований

Для импульсного облучения семян овощных культур лазером с целью изучения влияния параметров режимов на ПКС была создана лабораторная установка, схема которой представлена на рис. 3.2, а общий вид ее отдельных узлов представлен на рис. 3.3 – 3.6.

Установка работает таким образом (по рис. 3.2). Луч лазера 1 системой зеркал 2,3 направляется к расфокусирующей линзе 4, а затем, отражаясь от зеркала 5, направляется на предметный столик 6, на который однослойно в чашке Петри 7 помещаются семена. При необходимости уменьшить интенсивность излучения на пути луча устанавливается ослабляющий светофильтр 8. Для прерывания луча на его пути помещается непрозрачный диск 9 с 4 прорезями, который приводится во вращение двигателем постоянного тока (типа ПД062) 10. Этот двигатель питается от выпрямительного моста 11, на который с помощью лабораторного автотрансформатора (тип ЛАТР-1) подается переменное напряжение от сети.

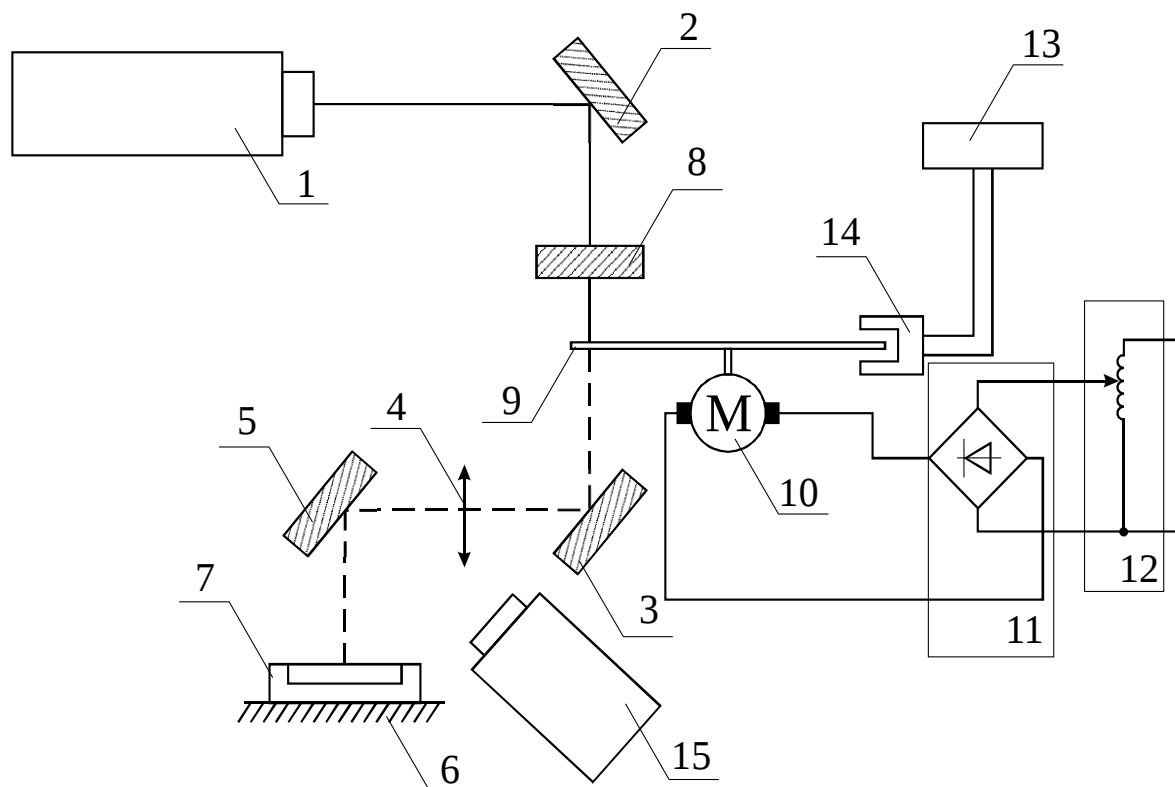


Рис. 3.2. Схема экспериментальной установки: 1-лазер, 2,3,5-зеркала, 4-линза, 6-предметный столик, 7-чашка Петри с семенами, 8-светофильтр, 9-непрозрачный диск с прорезями, 10-двигатель, 11-выпрямительный мост, 12-автотрансформатор, 13-счетчик импульсов/тахометр с датчиком 14, 15-прибор для измерения плотности энергии.

Скорость вращения двигателя регулируется вращением ручки автотрансформатора, при котором изменяется величина подаваемого на двигатель напряжения питания. Эта скорость вращения контролируется тахометром электронным типа «ТЭМП-1» в комплекте с фотоэлектрическим датчиком ДФ-1 (позиция 13 по рис. 3.2) и устанавливается предварительно перед проведением опыта. Затем прибор «ТЭМП-1» переключается в режим счетчика импульсов, по которому и определяется время облучения. В обоих случаях датчик прибора ДФ-1 (позиция 14 по рис. 3.2) устанавливается так, чтобы в его прорези свободно проходила периферическая часть диска. Перед проведением каждого отдельного опыта плотность энергии, падающей на семена, контролировалась прибором ИЛД-2М (позиция 15 по рис. 3.2), при этом отражающее зеркало 5 поворачивалось на 90° вокруг своей оси, а чувствительная головка прибора ИЛД-2М помещалась от его оси на таком же расстоянии, как и предметный столик; в то же время двигатель, приводящий во вращение диск, отключался от сети, а диск вручную устанавливался так, чтобы луч лазера свободно проходил в одну из имеющихся на нем 4 прорезей.

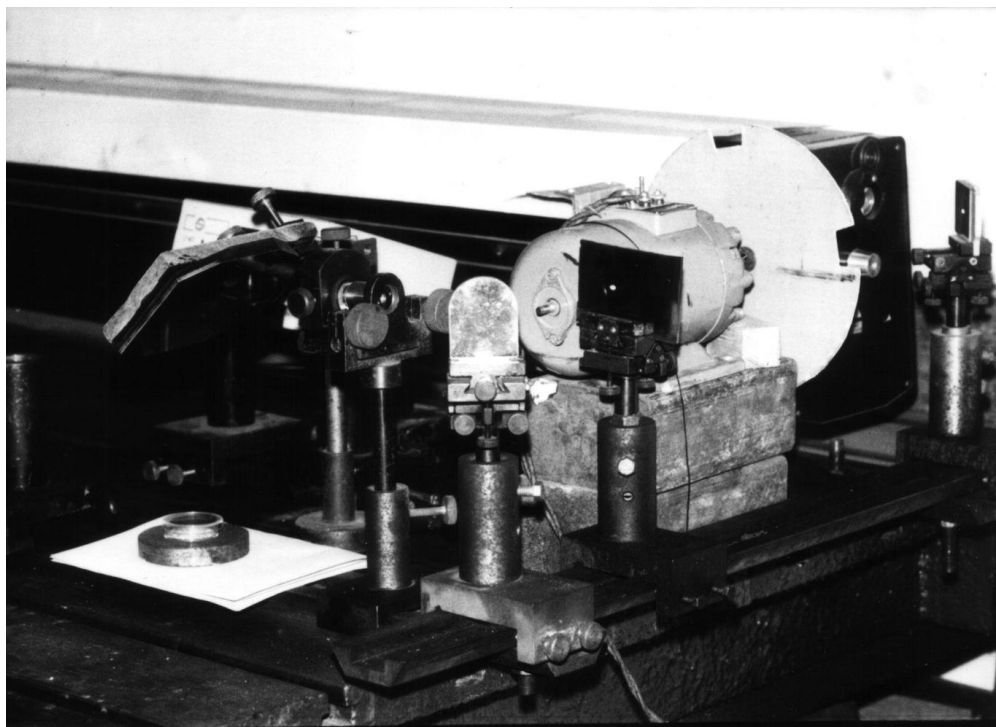


Рис. 3.3. Экспериментальная установка, общий вид.

В качестве источника лучистой энергии использовался лазер газовый ЛГ-38 гелий-неоновый, одномодовый, непрерывного действия со следующими техническими данными:

- мощность лазерного излучения – не менее 50 мВт;
- диаметр пучка лазерного излучения – не более 3 мм;
- расходимость лазерного излучения – не более $5 \cdot 10^{-4}$ рад.;
- мощность, потребляемая лазером от сети – не более 280 Вт;
- длина волны лазерного излучения – 0,6328 мкм.

Для контроля числа импульсов и скорости вращения прерывающегося диска использовался тахометр электронный типа «ТЭМП-1» в комплекте с фотоэлектрическим датчиком ДФ-1 УХЛ (ТУ 16-526.413-76). Прибор «ТЭМП-1» предназначен для измерения частоты вращения деталей механизмов, отсчета количества импульсов, измерения временных интервалов и имеет следующие технические данные:

1. Диапазон измерений, об/мин
50...9999
2. Минимальный входной сигнал, В
2,0
3. Предельно допустимый входной сигнал, В
12
4. Напряжение питающей сети, В
220 (+22, - 33)
5. Частота питающей сети, Гц
 50 ± 1
6. Потребляемая мощность, не более, ВА
5
7. Предел допускаемой основной погрешности:

1) тахометра, об/мин

± 2

2) счетчика импульсов, единиц

± 2

3) секундомера за 9999 сек, с

± 2

4) часов за сутки, мин

± 1

8. Габаритные размеры прибора, не более, мм

78X174X170

9. Масса прибора, не более, кг

2,2

10. Время установления рабочего режима, мин

15

11. Условия эксплуатации:

температура окружающей среды, °C

+10...+35

относительная влажность воздуха, %

80

атмосферное давление, кПа

100 $\pm$ 4

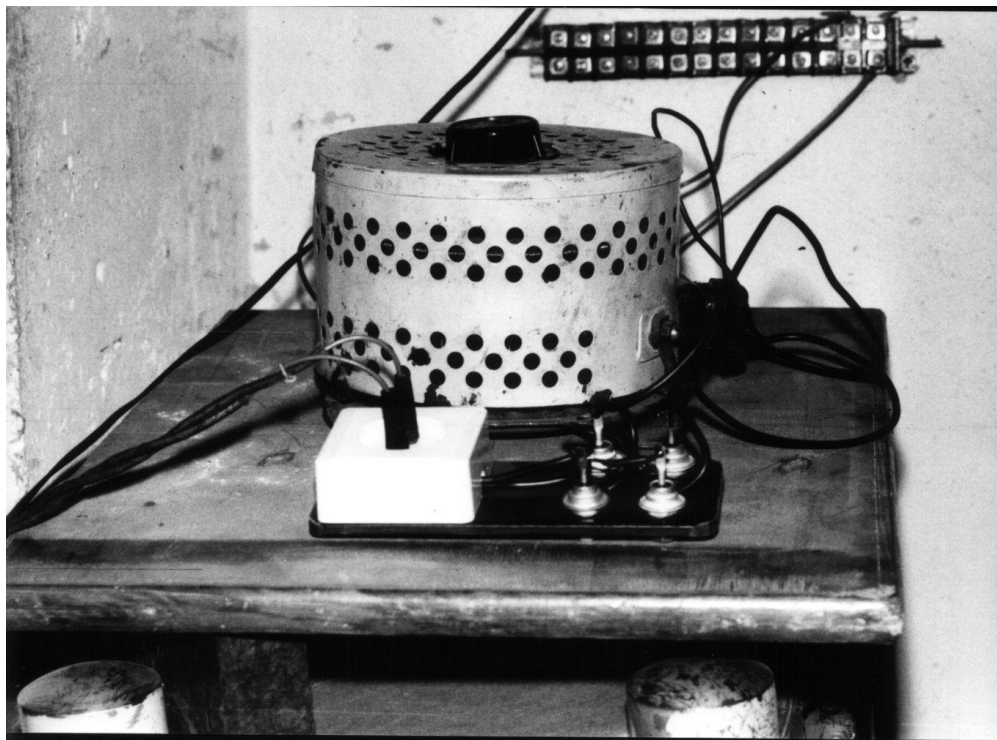


Рис. 3.4. Блок питания электродвигателя экспериментальной установки.

При этом скорость вращения диска (об/мин) определялась из выражения:

$$n = \frac{60 \cdot T \cdot k}{2\pi} \quad (3.6)$$

T – период между импульсами, с;

k – число прорезей на диске, в данном случае $k=4$.

Для контроля плотности энергии излучения использовался измеритель для лазерной дозиметрии ИЛД-2М со следующими техническими данными:



Рис. 3.5. Прибор контроля числа импульсов и скорости вращения.

1. Рабочие длины волн λ_p излучения, мкм:

в диапазоне "А" 0,53; 0,63; 0,69; 1,06

в диапазоне "В" 10,6

2. Пределы измерений E_n , $E_{n \text{ мгн}}$, $E_{n \text{ макс}}$, $E_{си}$, $E_{си \text{ мгн}}$, $E_{си \text{ макс}}$ без введения сменных ослабителей излучения, Дж:

в диапазоне "А" при $\tau \geq 10^{-6}$ с 3×10^{-8} ; 10^{-7} ; 3×10^{-7} ; 10^{-6} ;

в диапазоне "А" при $\tau < 10^{-6}$ с 3×10^{-8} ; 10^{-7} ;

в диапазоне "В" 3×10^{-6} ; 10^{-5} ; 3×10^{-5} ; 10^{-4} .

3. Пределы измерений $P_{\text{мгн}}$, $P_{\text{макс}}$ без введения сменных ослабителей излучения, Вт:

в диапазоне "А" 3×10^{-6} ; 10^{-5} ; 3×10^{-5} ; 10^{-4} ;

в диапазоне "В" 3×10^{-4} ; 10^{-3} ; 3×10^{-3} ; 10^{-2} .

4. Верхний предел измерений E_n , $E_{n \text{ мгн}}$, $E_{n \text{ макс}}$, $E_{си}$, $E_{си \text{ мгн}}$, $E_{си \text{ макс}}$ при введении сменных ослабителей излучения, Дж:

в диапазоне "А" при $\tau \geq 10^{-6}$ с

на длинах волн $\lambda_p = 0,63; 0,69, 1,6$ мкм	1
на остальных длинах волн	10^{-4}
в диапазоне "А" при $\tau < 10^{-6}$ с	
на длинах волн $\lambda_p = 0,63; 0,69, 1,6$ мкм	10^{-1}
на остальных длинах волн	10^{-5}
в диапазоне "В"	10^{-2} .

5. Верхний предел измерений $P_{\text{мгн}}, P_{\text{макс}}$ при введении сменных ослабителей излучения, Вт:

в диапазоне "А"	
на длинах волн $\lambda_p = 0,63; 0,69, 1,6$ мкм	10
на остальных длинах волн	10^{-2}
в диапазоне "В"	10^{-1} .

6. Площадь входного зрачка без сменных диафрагм, см²:

в диапазоне "А"	7,07
в диапазоне "В"	1,1

7. Площадь входного зрачка со сменными диафрагмами, см²: 0,1; 0,5; 1.

8. Максимальный диаметр гауссова пучка излучения в плоскости входного зрачка, отсчитываемый по уровню 0,135 от максимального значения плотности мощности (энергии), при измерении $P_{\text{мгн}}, P_{\text{макс.}}, E_{\text{и}}, E_{\text{и мгн}}, E_{\text{и макс.}}, E_{\text{си}}, E_{\text{си мгн}}, E_{\text{си макс.}}$, мм:

в диапазоне "А"	30
в диапазоне "В"	4.

9. Минимальный диаметр гауссова пучка излучения в плоскости входного зрачка, отсчитываемый по уровню 0,135 от максимального значения плотности мощности (энергии), при измерении $P_{\text{мгн}}, P_{\text{макс.}}, E_{\text{и}}, E_{\text{и мгн}}, E_{\text{и макс.}}, E_{\text{си}}, E_{\text{си мгн}}, E_{\text{си макс.}}$, мм 2.

10. Минимальный диаметр гауссова пучка излучения в плоскости входного зрачка, отсчитываемый по уровню 0,135 от максимального

значения плотности мощности (энергии), при измерении W_p мгн, W_p макс, $W_{Eи}$, $W_{Eи макс}$, $W_{Eи мгн}$, $W_{Eси}$, $W_{Eси макс}$, $W_{Eси мгн}$, мм 4.

11. Диапазоны длительностей импульсов излучения при измерении $E_{и}$, $E_{и мгн}$, $E_{и макс}$. $W_{Eи}$, $W_{Eи макс}$, $W_{Eи мгн}$, с:

в диапазоне "А" 10^{-8} - 10^{-6} , 10^{-6} - 10^{-3} , 10^{-3} - 10^{-2}

в диапазоне "В" 10^{-6} - 10^{-2} .

12. Диапазон длительностей серий коротких импульсов при измерении $E_{си}$, $E_{си мгн}$, $E_{си макс}$. $W_{Eси}$, $W_{Eси макс}$, $W_{Eси мгн}$, с: 10^{-6} - 10^{-2} .

диапазон длительностей импульсов в серии, с 10^{-8} - 10^{-6} ,

время паузы между импульсами в серии, с не более 10^{-5} .

13. Максимальная частота повторения импульсов излучения при измерении $E_{и мгн}$, $E_{и макс}$. $W_{Eи}$, $W_{Eи макс}$, Гц:

в диапазоне "А" при $10^{-8} \leq \tau_{и} \leq 10^{-6}$

500

в диапазоне "А" при $10^{-6} < \tau_{и} \leq 10^{-3}$

200

в диапазоне "А" при $10^{-3} < \tau_{и} \leq 10^{-2}$

25

в диапазоне "В"

25.

14. Максимальная частота повторения серий коротких импульсов при измерении $E_{си мгн}$, $E_{си макс}$, $W_{Eси макс}$, $W_{Eси мгн}$, Гц:

при $10^{-6} \leq \tau_{си} \leq 10^{-3}$ 200

при $10^{-3} < \tau_{си} \leq 10^{-2}$ 25.

15. Диапазон измерений $\tau_{и}$, $\tau_{имгн}$, $\tau_{и макс}$, с 5×10^{-6} - 10^{-2} .

16. Диапазон измерений $\tau_{си}$, $\tau_{симгн}$, $\tau_{си макс}$, с 5×10^{-5} - 10^{-2} .

17. Максимальная частота повторения импульсов излучений при измерениях $\tau_{имгн}$, $\tau_{и макс}$ Гц:

при $5 \times 10^{-6} \leq \tau_{\text{имгн}}(\tau_{\text{имакс}}) \leq 10^{-3}$ с 200

при $10^{-3} < \tau_{\text{имгн}}(\tau_{\text{имакс}}) \leq 10^{-2}$ с 25.

18. Максимальная частота повторения серий импульсов излучений при измерении $\tau_{\text{симгн}}, \tau_{\text{си макс}}$ Гц:

при $5 \times 10^{-5} \leq \tau_{\text{симгн}}(\tau_{\text{симакс}}) \leq 10^{-3}$ с 200

при $10^{-3} < \tau_{\text{симгн}}(\tau_{\text{симакс}}) \leq 10^{-2}$ с 25.

19. Время выдержки блока преобразования и регистрации, с:

в диапазоне длительностей 10^{-8} - 10^{-6} , с $(1 \pm 0,2)10^{-4}$

в диапазоне длительностей 10^{-6} - 10^{-3} , с $(1 \pm 0,2)10^{-3}$

в диапазоне длительностей 10^{-3} - 10^{-2} с $(1 \pm 0,2)10^{-2}$.

20. Время измерения в автоматическом режиме, с (15 ± 3) ; (30 ± 5) , (60 ± 10) .

21. Предел допускаемой основной погрешности измерителя при измерении без сменных ослабителей $P_{\text{макс}}, W_{\text{р макс}}, \%$, не более:

на $\lambda_p = 0,63$, мкм 15

на $\lambda_p = 0,69, 1,6$ мкм 18

на $\lambda_p = 10,6$ мкм 20.

22. Предел допускаемой основной погрешности измерителя при измерении без сменных ослабителей $P_{\text{мгн}}, W_{\text{р мгн}}, \%$, не более:

на $\lambda_p = 0,63$, мкм 20

на $\lambda_p = 0,69, 1,6$ мкм 25

на $\lambda_p = 10,6$ мкм 20.

23. Предел допускаемой основной погрешности измерителя при измерении без сменных ослабителей $E_{\text{и}}, E_{\text{си}}, W_{\text{Еси}}, W_{\text{Еи}}, \%$, не более:

на $\lambda_p = 0,63$, мкм 15

на $\lambda_p = 0,69, 1,6$ мкм 18

на $\lambda_p = 10,6$ мкм 20.

24. Предел допускаемой основной погрешности измерителя при измерении без сменных ослабителей $E_{\text{и макс}}, E_{\text{си макс}}, W_{\text{Еси макс}}, W_{\text{Еи макс}}, \%$, не более:

на $\lambda_p = 0,63$, мкм	15
на $\lambda_p = 0,69$, 1,6 мкм	20
на $\lambda_p = 10,6$ мкм	25.

25. Предел допускаемой основной погрешности измерителя при измерении без сменных ослабителей $E_{и\text{ мГн}}$, $E_{си\text{ мГн}}$, $W_{Еси\text{ мГн}}$, $W_{Еи\text{ мГн}}$ %, не более:

на $\lambda_p = 0,63$, мкм	20
на $\lambda_p = 0,69$, 1,6 мкм	25
на $\lambda_p = 10,6$ мкм	25.

26. Предел допускаемой основной погрешности измерителя при измерении без сменных ослабителей на любой длине волны излучения в диапазоне "А" (за исключением $\lambda_p = 0,63$, 0,69, 1,6 мкм), %, не более:

в поддиапазоне 0,49 – 0,52 мкм	$(\delta_{0,63} + 15)$
в поддиапазоне 0,53 – 0,68 мкм	$(\delta_{0,63} + 10)$
в поддиапазоне 0,70 – 0,97 мкм	$(\delta_{0,69} + 10)$
в поддиапазоне 0,98 – 1,05 мкм	$(\delta_{1,06} + 15)$
в поддиапазоне 1,07 – 1,15 мкм	$(\delta_{1,06} + 20)$,

где $\delta_{0,63}$, $\delta_{0,69}$, $\delta_{1,06}$ – численные значения (в процентах) соответствующих пределов допускаемых основных погрешностей для $\lambda_p = 0,63$, 0,69, 1,6 мкм, приведенные в таблице пп 3.21 – 3.25.

27. Предел допускаемой основной погрешности измерителя при измерении со сменными ослабителями излучения, %, не более:

в диапазоне "А" _____	$\sqrt{\delta_{\lambda A}^2 + 24n}$
в диапазоне "В" _____	$\sqrt{\delta_{\lambda B}^2 + 6,3}$

где $\delta_{\lambda A}$ – численное значение (в процентах) предела допускаемой основной погрешности измерителя при измерении без сменных ослабителей излучения в диапазоне "А", приведенное в пп. 3.21.-3.26, (n – количество ослабителей);

$\delta_{\lambda B}$ – численное значение (в процентах) предела допускаемой основной погрешности измерителя при измерении без сменных ослабителей излучения в диапазоне "В", приведенное в пп..21.-25.

28. Предел допускаемой основной погрешности в режиме измерения $\tau_{и}$, $\tau_{имгн}$, $\tau_{и макс}$, %, не более 30.

29. Предел допускаемой основной погрешности в режиме измерения $\tau_{си}$, $\tau_{симгн}$, $\tau_{си макс}$, %, не более 35.

30. Коэффициенты ослабления сменных ослабителей излучения:

№ 1, №4 для $\lambda_p = 0,53$, мкм	105 ±
20	
№ 1, №4 для $\lambda_p = 0,63$, мкм	100 ±
15	
№ 1, №4 для $\lambda_p = 0,693$, мкм	50 ± 10
№ 1, №4 для $\lambda_p = 1,06$, мкм	100 ±
20	
№2 для $\lambda_p = 0,53, 0,63, 0,69, 1,06$ мкм	3,8 ±
0,2	
№3, №5 для $\lambda_p = 0,53, 0,63, 0,69, 1,06$ мкм	15 ± 2
№3, №5 для $\lambda_p = 10,6$, мкм, не более	100.

31. Предел допускаемой дополнительной погрешности измерителя в режиме измерения энергетических характеристик излучения от изменения температуры окружающей среды от + 5 до + 40 °С, % на 10 °С, не более:

в диапазоне "А"	5
в диапазоне "В"	8.

32. Угол поля зрения измерительной головки, °:

в диапазоне "А"	20;5
в диапазоне "В"	3.

33. Угол обзора, °:

по азимуту ± 180

по углу места от -10 до $+50$.

34. Питание от сети переменного тока напряжением, В
220 $\pm$ 22.

35. Потребляемая мощность, Вт, не более 15.

36. Время установления рабочего режима, мин, не более 5.

37. Время непрерывной работы в рабочих условиях, час, не менее

8.

38. Габаритные размеры измерителя, мм, не более:

блока преобразования и регистрации 448x318x141

измерительной головки

328x148x213.

39. Габаритные размеры транспортной тары, мм, не более
1192x572x568.

40. Масса измерителя, кг, не более:

блока преобразования и регистрации 10

измерительной головки 2,3.

41. Масса измерителя в транспортной таре, кг, не более 58.



Рис. 3.6. Прибор контроля плотности энергии излучения.

Использованный для вращения диска двигатель постоянного тока ПД-062 имеет такие основные технические параметры:

Номинальное питающее переменное напряжение, В	127;
Мощность, Вт	90;
Ток, А	1,51;
Частота вращения при U_n , об/мин	1500;
КПД, %	58.

Использованный для регулирования напряжения лабораторный автотрансформатор регулирующий ЛАТР-1М имеет такие основные технические параметры:

Номинальное питающее переменное напряжение, В	220;
Частота, Гц	50;
Ток, А	9,0.

3.2. Планирование и проведение активного эксперимента для определения параметров режимов предпосевного лазерного импульсного облучения семян овощных культур

Для оценки зависимости ПКС от параметров режимов предпосевного облучения в виде уравнения регрессии целесообразно провести многофакторный эксперимент с помощью теории планирование эксперимента по следующим этапам [88,89]:

1. Определение контролируемых и неконтролируемых факторов;
2. Определение оптимального типа плана эксперимента;
3. Построение плана эксперимента с определением границ варьирования факторов;
4. Проведение экспериментальных исследований;
5. Расчет коэффициентов уравнений регрессии;
6. Определение существенных коэффициентов в уравнениях регрессии;
7. Проверка адекватности полученной модели.

3.2.1. Определение входных факторов при проведении отсеивающего эксперимента и обработке его результатов

На первом этапе исследований по литературным источникам [7,10-13,15-18,28-37,39-45,49-61,64-72,74,83] были определены всевозможные факторы, могущие оказывать влияние на ПКС. Поскольку таких факторов оказалось довольно много для проведения исследования для всех сортов и исходных ПКС (как минимум $15 \cdot 2^6 \cdot 2 = 1920$ опытов даже при условии адекватности линейной модели и при повторности 2), то было решено провести отсеивающий эксперимент. Проведены экспериментальные исследования только при определении показателя ЛВ (как наиболее значимого показателя [6,20,24,26]) для семян огурцов сорта

Конкурент (как культуры рода тыквенных) и для семян перца Подарок Молдовы (как культуры рода пасленовых) в обоих случаях с ПКС, соответствующими 2-му классу семян (см. табл. 3.1) для установления наиболее значимых факторов для последующего экспериментального определения их влияния на ПКС для всех указанных в табл. 3.1. семян перечисленных там же культур и сортов. При этом значения интервалов варьирования были выбраны такими, которые могут иметь место при предпосевной обработке семян в условиях производства. Список факторов и интервалы их варьирования приведен в табл. 3.4.

Таблица 3.4 -

Интервалы варьирования и уровни факторов для проведения отсеивающего эксперимента.

Фактор	Нулевой (базовый) уровень	Интервал варьиро- вания	Нижний уровень (-1)	Верхний уровень (+1)
X_1 – плотность энергии, мВт/см ²	5,0	4,5	0,5	9,5
X_2 – период между импульсами, мс.	250	200	50	450
X_3 – число импульсов, шт.	2000	1950	50	3950
X_4 – степень заполнения импульса (отношение его длительности к периоду), о.е.	0,3	0,2	0,1	0,5
X_5 – температура окружающей среды, °С.	20	15	5	35
X_6 – число дней от облучения до начала определения ПКС, суток.	9	6	3	15

Отсеивающий эксперимент проводился, следуя стандартной мето-

дике его проведения по методу случайного баланса [89]. Имеющиеся факторы можно разделить на две группы: X_1 - X_3 , которые входят в группу предположительно значимых, и X_4 - X_6 , которые предположительно относятся к незначимым. Согласно стандартной методике планирования отсеивающего эксперимента [89] следует объединить две полуреплики от ПФЭ 2^3 , при этом получится 8 строчек плана, что удовлетворяет условию планирования отсеивающего эксперимента:

$$N > n+1, \quad (3.2)$$

где N – число строк плана ОЭ,

n – число факторов для ОЭ.

Однако, как известно, полуреплики для ПФЭ для числа факторов меньше четырех не применяются в силу того, что они не содержат либо парных взаимодействий, либо линейных членов [89,90]. Поэтому следует воспользоваться другим способом [89], а именно с помощью таблицы случайных чисел выбрать случайным образом 9 (согласно условию 3.2) строк из 32 строк ПФЭ 2^8 , при этом проводя стандартную проверку пригодности плана [89]. Полученная матрица плана и результаты опытов (при повторности $m=2$) приведены в таблице 3.5.

Теперь разделим результаты опытов для каждого из факторов на две группы, представляя их в виде таблиц по возрастанию значения (см. табл. 3.6. и табл. 3.7. соответственно для ЛВ семян огурцов и перца). Построение этих таблиц аналогично известной методике построения диаграмм рассеяния [89]. Для каждой из упомянутых групп проведено определение значений медианы, при этом за значение медианы при нечетном числе элементов в группе берется значение среднего элемента, а при четном – среднее арифметическое двух средних элементов [87]. Затем определялась разница между медианами для обеих групп для каждого фактора и число выделяющихся точек по известной методике [89].

Матрица планирования результаты отсеивающего эксперимента.

№ опыта	Факторы						Результаты для ЛВ семян огурцов Кон- курент			Результаты для ЛВ семян перца Подарок Молдо- вы		
	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅	X ₆	Y _{O1}	Y _{O2}	Ŷ _O	Y _{П1}	Y _{П2}	Ŷ _П
1	-1	+1	-1	-1	+1	+1	80	79	79,5	74	73	73,5
2	+1	+1	+1	+1	+1	-1	91	93	92	83	85	84
3	-1	-1	-1	+1	+1	-1	82	80	81	75	77	76
4	+1	+1	+1	+1	-1	+1	95	95	95	85	84	84,5
5	+1	+1	-1	-1	+1	+1	84	86	85	82	85	83,5
6	-1	-1	+1	+1	-1	-1	84	84	84	79	81	80
7	+1	+1	-1	-1	-1	-1	89	89	89	84	84	84
8	+1	-1	+1	-1	+1	-1	94	92	93	86	86	86
9	-1	-1	+1	-1	-1	+1	85	87	86	81	81	81

Таблица 3.6 –

Рассеяние результатов для отсеивающего эксперимента для ЛВ
семян огурцов сорта Конкурент

Фактор	Группа	1	2	3	4	5	Медиана	Разни- ца ме- диан для факто- ра	Число выделя- ющихся точек
X ₁	+	85	89	93	92	95	93	10,5	0
	-	79,5	81	84	86	-	82,5		
X ₂	+	79,5	85	89	92	95	89	4	1
	-	81	84	86	93	-	85		
X ₃	+	84	86	92	93	95	92	9	0
	-	79,5	81	85	89	-	83		
X ₄	+	81	84	92	95	-	88	2	0
	-	79,5	85	86	89	93	86		
X ₅	+	79,5	81	85	93	95	85	-2,5	2
	-	84	86	89	92	-	87,5		
X ₆	+	79,5	85	86	95	-	85,5	-3,5	1
	-	81	84	89	92	93	89		

Рассеяние результатов для отсеивающего эксперимента для ЛВ
семян перца сорта Подарок Молдовы

Фактор	Группа	1	2	3	4	5	Медиана	Разни- ца ме- диан для факто- ра	Число выделя- ющихся точек
X ₁	+	83,5	84	84	84,5	86	84	6	0
	-	73,5	76	80	81	-	78		
X ₂	+	73,5	83,5	84	84	84,5	84	3,5	1
	-	76	80	81	86	-	80,5		
X ₃	+	80	81	84	84,5	86	84	4,25	0
	-	73,5	76	83,5	84	-	79,75		
X ₄	+	76	80	84	84,5	-	82	-1,5	0
	-	73,5	81	83,5	84	84	83,5		
X ₅	+	73,5	76	83,5	84	86	83,5	1,5	2
	-	80	81	84	84,5	-	82		
X ₆	+	73,5	81	83,5	84,5	-	82,25	-1,75	1
	-	76	80	84	84	86	84		

Как видно из данных табл. 3.6. и 3.7. в обоих случаях больше всего по разнице медиан выделяются факторы X₁ и X₃. Эти эффекты оцениваем с помощью таблиц с двумя входами по известной методике [89], при этом в каждой клетке таблицы подсчитывается суммы и средние значения критерия оптимизации. При этом величина эффектов подсчитывается по формуле

$$x_i = \frac{\bar{y}_1 + \bar{y}_3 + \dots + \bar{y}_n}{k_i} - \frac{\bar{y}_2 + \bar{y}_4 + \dots + \bar{y}_{n+1}}{k_i}, \quad (3.3)$$

где $\hat{y}_1, \hat{y}_3, \dots, \hat{y}_n$ – средние значения для критерия оптимизации в каждой клетке таблицы для уровня фактора «+»;

$\hat{y}_2, \hat{y}_4, \dots, \hat{y}_{n+1}$ – средние значения для критерия оптимизации в каждой клетке таблицы для уровня фактора «-»;

k_i – число средних значений критерия оптимизации.

Для вычисления эффектов факторов X_1 и X_3 по данным табл. 3.6. и 3.7. использованы соответственно левая и правая часть табл.3.8.

Таблица 3.8 –

Вычисление эффектов факторов X_1 и X_3 по данным табл. 3.6. и 3.7.

По данным табл. 3.6.			По данным табл. 3.7.		
Оцениваемые факторы	$+X_1$	$-X_1$	Оцениваемые факторы	$+X_1$	$-X_1$
$+X_3$	92	86	$+X_3$	84,5	80
	95	<u>84</u>		86	<u>81</u>
	<u>93</u>			<u>84</u>	
	$\Sigma y_1=280$	$\Sigma y_2=170$		$\Sigma y_1=254,5$	$\Sigma y_2=161$
	$\tilde{y}_1=93,33$	$\tilde{y}_2=85$		$\tilde{y}_1=84,83$	$\tilde{y}_2=80,5$
$-X_3$	85	79,5	$-X_3$	83,5	73,5
	<u>89</u>	<u>81</u>		<u>84</u>	<u>76</u>
	$\Sigma y_3=174$	$\Sigma y_4=160,$		$\Sigma y_3=167,5$	$\Sigma y_4=149,5$
	$\tilde{y}_3=87$	5		$\tilde{y}_3=83,75$	$\tilde{y}_4=74,75$
		$\tilde{y}_4=80,25$			

Рассчитывая эффекты факторов по формуле 3.3 получим для левой части табл. 3.8.:

$$X_1 = 0,5((93,33+87)-(85+80,25)) = 7,54;$$

$$X_3 = 0,5((93,33+85)-(87+80,25)) = 5,54;$$

и для правой части табл. 3.9:

$$X_1 = 0,5((84,83+83,75)-(80,5+74,75)) = 6,67;$$

$$X_3 = 0,5((84,83+80,5)-(83,75+74,75)) = 3,42.$$

После расчета эффектов выделенных факторов проверяется их значимость по t – критерию [89], при этом используется формула

$$t = \frac{(\bar{y}_1 + \bar{y}_3 + \dots + \bar{y}_n) - (\bar{y}_2 + \bar{y}_4 + \dots + \bar{y}_{n+1})}{S_R \sqrt{\sum \frac{1}{n_i}}}, \quad (3.11)$$

где S_R – среднеквадратическая ошибка, характеризующая рассеяние относительно средних в клетках таблицы, которая определяется по формуле:

$$S_R = \sqrt{\frac{\sum y_i^2}{n_i - 1} - \frac{(\sum y_i)^2}{n_i(n_i - 1)}}, \quad (3.12)$$

Расчет t – критерия по формулам 3.11 и 3.12 по данным табл. 3.8 ведем в таблице 3.9.

Таблица 3.9 –

Таблица для расчета t – критерия.

	№ клетки	$\sum y_i$	$(\sum y_i)^2$	$\sum y_i^2$	n_i	S_R^2	S_R^2/n_i	$(\sum (S_R^2/n_i))^{1/2}$	t
По данным табл. 3.6.	1	280	78400	26138	3	2,334	0,778	2,517	$t_{X1} =$
	2	170	28900	14452	2	2	1		$=5,99$
	3	174	30276	15146	2	8	4		$t_{X3} =$
	4	160,5	25760,25	12881,25	2	1,125	0,562		$=4,40$
По данным табл. 3.7.	1	254,5	64770,25	21592,25	3	0,952	0,320	1,482	$t_{X1} =$
	2	161	25921	12961	2	0,5	0,25		$=9,00$
	3	167,5	28056,25	14028,25	2	0,125	0,062		$t_{X3} =$
	4	149,5	22350,25	11178,25	2	3,125	1,563		$=4,61$

Определяем число степеней свободы, связанное с S_R по следующей формуле [88]:

$$f = \sum n_i - k, \quad (3.13)$$

где k – число клеток вспомогательной таблицы.

Получаем $f = 9 - 4 = 5$, и по таблицам определим значение t – кри-

терия для уровня значимости 0,01 $t_{0,01}=4,032$ [87,88]. Таким образом, выделенные факторы оказались значимыми с вероятностью 99%.

Теперь необходимо скорректировать результаты отсеивающего эксперимента, для чего снимается действие факторов X_1 и X_3 для чего от всех результатов опыта на уровнях $+X_1$ и $+X_3$ отнимается соответственно 7,54 и 5,54 для семян огурцов и 6,67 и 3,42 для семян перца, в результате чего получаем первые скорректированные значения $\hat{Y}_{O1}$ и $\hat{Y}_{П1}$. в табл. 3.10.

Таблица 3.10 –

Коррекция результатов отсеивающего эксперимента.

№ опыта	Факторы						Результаты для ЛВ семян огурцов Конкурент		Результаты для ЛВ семян перца Подарок Молдовы	
	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6	$\hat{Y}_O$	$\hat{Y}_{O1}$	$\hat{Y}_П$	$\hat{Y}_{П1}$
1	-1	+1	-1	-1	+1	+1	79,5	79,5	73,5	73,5
2	+1	+1	+1	+1	+1	-1	92	78,9	84	73,9
3	-1	-1	-1	+1	+1	-1	81	81	76	76
4	+1	+1	+1	+1	-1	+1	95	81,9	84,5	74,4
5	+1	+1	-1	-1	+1	+1	85	77,5	83,5	76,8
6	-1	-1	+1	+1	-1	-1	84	79,5	80	76,6
7	+1	+1	-1	-1	-1	-1	89	81,5	84	77,3
8	+1	-1	+1	-1	+1	-1	93	79,9	86	75,9
9	-1	-1	+1	-1	-1	+1	86	80,5	81	77,6

Соответственно скорректированные данные для рассеяния результатов приведены в табл. 3.11 и 3.12.

Неравенство нулю ранее выделенных факторов объясняется погрешностями в расчете и округлениями при записи данных. Как видно из табл. 3.11, больше всего по разнице медиан выделяются факторы X_2 и X_5 , а из табл. 3.12. - факторы X_2 и X_4 . Эти эффекты оцениваем с помощью таблиц с двумя входами аналогично приведенным выше вычислениям, заноса результаты в табл. 3.13 и 3.14.

При этом рассчитанные по формуле 3.3 значения эффектов факто-

ров составят для левой части табл. 3.13.:

$$X_2 = 0,5((78,63+80,35)-(81,7+80)) = - 1,36;$$

$$X_5 = 0,5((78,63+81,7)-(80,35+80)) = - 0,02;$$

и для правой части табл. 3.13:

$$X_2 = 0,5((74,15+75,87)-(76,3+76,75)) = - 1,57;$$

$$X_5 = 0,5((74,15+76,3)-(75,87+76,75)) = - 1,08.$$

Таблица 3.11 –

Рассеяние первых скорректированных результатов для отсеивающего эксперимента для ЛВ семян огурцов сорта Конкурент

Фактор	Группа	1	2	3	4	5	Медиана	Разница медиан для фактора	Число выде- ляющихся то- чек
X ₁	+	77,5	78,9	79,9	81,5	81,9	79,9	-0,1	1
	-	79,5	79,5	80,5	81	-	80		
X ₂	+	77,5	78,9	79,5	81,5	81,9	79,5	-0,8	2
	-	79,5	79,9	80,5	81	-	80,3		
X ₃	+	78,9	79,5	79,9	80,5	81,9	79,9	-0,3	0
	-	77,5	79,5	81	81,5	-	80,2		
X ₄	+	78,9	79,5	81	81,9	-	80,2	-0,3	0
	-	77,5	79,5	79,9	80,5	81,5	79,9		
X ₅	+	77,5	79,5	79,9	79,9	81	79,9	-1,1	1
	-	78,5	80,5	81,5	81,9	-	81		
X ₆	+	77,5	79,5	80,5	81,9	-	80	0,1	1
	-	78,9	79,5	79,9	81	81,5	79,9		

Таблица 3.12 –

Рассеяние результатов для отсеивающего эксперимента для ЛВ
семян перца сорта Подарок Молдовы

Фактор	Группа	1	2	3	4	5	Медиана	Разница медиан для фактора	Число выде- ляющихся то- чек
X ₁	+	73,9	74,4	75,9	76,8	77,3	75,9	-0,3	1
	-	73,5	76	76,6	77,6	-	76,3		
X ₂	+	73,5	73,9	74,4	76,8	77,3	74,4	-1,9	4
	-	75,9	76	76,6	77,6	-	76,3		
X ₃	+	73,9	74,4	75,9	76,6	77,6	75,9	-0,5	0
	-	73,5	76	76,8	77,3	-	76,4		
X ₄	+	73,9	74,4	76	76,6	-	75,2	-1,6	3
	-	73,5	75,9	76,8	77,3	77,6	76,8		
X ₅	+	73,5	73,9	75,9	76	76,8	75,9	-1,0	4
	-	74,4	76,6	77,3	77,6	-	76,9		
X ₆	+	73,5	74,4	76,8	77,6	-	75,1	-0,9	1
	-	73,9	75,9	76	76,6	77,3	76		

Таблица 3.13 –

Вычисление эффектов факторов по данным табл. 3.11. и 3.12.

По данным табл. 3.6.			По данным табл. 3.7.		
Оцениваемые факторы	+X ₂	-X ₂	Оцениваемые факторы	+X ₂	-X ₂
+X ₅	79,5	81	+X ₄	73,9	76,6
	77,5	<u>79,9</u>		<u>74,4</u>	<u>76</u>
	<u>78,9</u>			Σy ₁ =148,3	Σy ₂ =152,6
	Σy ₁ =235,9	Σy ₂ =160,9		ŷ ₁ =74,15	ŷ ₂ =76,3
	ŷ ₁ =78,63	ŷ ₂ =80,45			
-X ₅	81,9	80,5	-X ₄	73,5	
	<u>81,5</u>	<u>79,5</u>		77,3	77,6
	Σy ₃ =163,4	Σy ₄ =160		<u>76,8</u>	<u>75,9</u>
	ŷ ₃ =81,7	ŷ ₄ =80		Σy ₃ =227,6	Σy ₄ =153,5
				ŷ ₃ =75,87	ŷ ₄ =76,75

Как видим из табл. 3.14, значимыми в обоих случаях оказались только факторы X_2 , поскольку табличное значение t – критерия для уровня значимости 0,01 и числа степеней свободы $f = 9 - 4 = 5$ $t_{0,01}=4,032$ [88,89]. Таким образом, факторы X_1 - X_3 , которые были включены ранее в группу предположительно значимых, оказались значимыми с вероятностью 99%. Факторы X_4 - X_6 , которые были отнесены ранее к незначимым, такими и оказались.

Вычислять значения t – критерия для последующих значений факторов не имеет смысла, поскольку они не превышают вычисленных в табл. 3.14 значений для X_5 и X_4 соответственно. Поэтому в дальнейших экспериментальных исследованиях целесообразно учитывать только факторы X_1 - X_3 (табл. 3.4).

Таблица 3.14 –

Таблица для расчета t – критерия после коррекции результатов.

	№ клетки	Σy_i	$(\Sigma y_i)^2$	Σy_i^2	n_i	S_R^2	S_R^2/n_i	$(\Sigma(S_R^2/n_i))^{1/2}$	t
По данным табл. 3.11.	1	235,9	55648,81	18551,71	3	0,153	0,051	0,638	$t_{x2} =$
	2	160,9	25888,81	12945,01	2	0,205	0,102		$= -4,26$
	3	163,4	26699,56	13349,86	2	0,008	0,004		$t_{x5} =$
	4	160	25600	12800,5	2	0,5	0,25		$= -0,07$
По данным табл. 3.12.	1	148,3	21992,89	10996,57	2	0,125	0,062	0,773	$t_{x2} =$
	2	152,6	23286,76	11643,56	2	0,18	0,09		$= 4,06$
	3	227,6	51801,76	17275,78	3	0,663	0,221		$t_{x4} =$
	4	153,5	23562,25	11782,57	2	0,45	0,225		$= 2,79$

Таким образом, основываясь на результатах отсеивающего эксперимента и теоретического рассмотрения модели процесса взаимодействия лазерного излучения с фитохромной системой семян (см. раздел 2), окончательно можно принять, что для определения значений ПКС следует провести полнофакторный эксперимент с тремя входными фак-

торами, которые контролируются:

X_1 - плотность энергии, мВт/см²;

X_2 – период между импульсами, мс.;

X_3 - число импульсов, штук.

К факторам, которые не контролируются следует отнести влияние микроклимата помещения, где проводились опыты, геофизические условия, погодные условия, в которых происходило формирование исследуемых семян и рост соответствующих растений, условия хранения семян.

3.2.2. Определение оптимального типа и плана эксперимента и значений уровней варьирования входных факторов

Поскольку по предварительным данным было известно, что значения ПКС (как ЛВ, так и ЭП) имеют явно нелинейную зависимость типа насыщения, поскольку очевидным является факт наличия предельного, обусловленного биологическими особенностями семян, значения ПКС, то как уравнение регрессии избрана нелинейная зависимость, то есть

$$Y = B_0 + B_1X_1 + B_2X_2 + B_3X_3 + B_{12}X_1X_2 + B_{13}X_1X_3 + B_{23}X_2X_3 + B_{11}X_1^2 + B_{22}X_2^2 + B_{33}X_3^2,$$

где Y – исходная функция, в качестве которой выступают ЛВ и ЭП.

Исходя из того, что положение экстремума и центральной точки плана были предварительно неизвестными, а также из возможности проведения меньшего числа опытов (при повторности $m=1$) было избрано ротатабельный центральный композиционный план (РЦКП) второго порядка [89,90]. Для РЦКП второго порядка характерной есть одинаковая точность прогнозирования функции цели с помощью уравнения регрессии за любой координатой и вообще в любом направлении в области факторного пространства, которое изучается на равном расстоянии от

центра эксперимента, который следует считать существенным преимуществом РЦКП. В ротатабельному центральном композиционном плане реализуются три группы точек факторного пространства, любая из которых расположена в определенной сфере:

1. Сфера с точками полнофакторного эксперимента – N_f ;
2. Сфера с звездными точками – N_α , причем величина звездного плеча вычисляется как

$$\alpha = 2^{\frac{k}{4}},$$

где k – число факторов;

3. Сфера с точками в центре плана – N_0 .

Для любого из действующих факторов было определено (с учетом существующих физических ограничений на варьирование значений факторов в конкретных условиях эксперимента) значение верхнего (x_{iv}), нижнего (x_{in}) и основного (x_{i0}), – в центре области эксперимента – уровней соответствующих факторов. Было определено значение соответствующих интервалов варьирования

$$I_i = (x_{iv} - x_{in}) / 2. \quad (3.14)$$

Данные об уровнях и интервалах варьирования для любого из факторов приведены в табл. 3.15.

Для удобства записи плана эксперимента и обработки его результатов целесообразно пользоваться кодированными значениями факторов:

$$X_i = (x_{iv} - x_{i0}) / I_i. \quad (3.15)$$

Таблица 3.15 –

Интервалы варьирования и уровни факторов (РЦКП)

Фактор	Нулевой уровень	Интервал варьирования	Нижний уровень (-1)	Верхний уровень (+1)	Нижний звездный уровень $-\alpha = -1,682$	Верхний звездный уровень $+\alpha = +1,682$
X_1 – плотность энергии, мВт/см ²	5	2,8	2,2	7,8	0,3	9,7
X_2 – период между импульсами, мс.	250	130	120	380	30	470
X_3 – число импульсов, шт.	2000	1180	820	3180	15	3985

Матрица РЦКП для числа факторов $k=3$ [90] приведена в табл. 3.16.

3.2.3. Проведение эксперимента и обработка его результатов

Эксперименты для каждого сорта и каждого из определяемых показателей проводились с соблюдением требований случайного следования строк плана, для чего использовались таблицы случайных чисел [87,88]. Результаты проведенных экспериментов сгруппированы и помещены для соответствующих сортов в табл. 3.17, 3.19, 3.22, 3.24 и 3.25.

Для вычисления коэффициентов квадратичного уравнения регрессии сначала необходимо вычислить следующие суммы [89,90]:

$$Y_0 = \sum_{n=1}^N Y_n ; \quad Y_i = \sum_{n=1}^N X_{in} Y_n ; \quad Y_{ij} = \sum_{n=1}^N X_{in} X_{jn} Y_n ;$$

$$Y_{ii} = \sum_{n=1}^N X_{in}^2 Y_n ; \quad \sum_{i=1}^k Y_{ii} = \sum_{i=1}^k \sum_{n=1}^N X_{in}^2 Y_n ;$$

здесь $N=20$ – число строк в плане.

Матрица РЦКП для числа факторов k=3

N _ф		X ₀	X ₁	X ₂	X ₃	X ₁ X ₂	X ₁ X ₃	X ₂ X ₃	X ₁ ²	X ₂ ²	X ₃ ²	Y
	1	+1	-1	-1	-1	+1	+1	+1	+1	+1	+1	
	2	+1	+1	-1	-1	-1	-1	+1	+1	+1	+1	
	3	+1	-1	+1	-1	-1	+1	-1	+1	+1	+1	
	4	+1	+1	+1	-1	+1	-1	-1	+1	+1	+1	
	5	+1	-1	-1	+1	+1	-1	-1	+1	+1	+1	
	6	+1	+1	-1	+1	-1	+1	-1	+1	+1	+1	
	7	+1	-1	+1	+1	-1	-1	+1	+1	+1	+1	
	8	+1	+1	+1	+1	+1	+1	+1	+1	+1	+1	
N _α	9	+1	-1,682	0	0	0	0	0	2,828	0	0	
	10	+1	1,682	0	0	0	0	0	2,828	0	0	
	11	+1	0	-1,682	0	0	0	0	0	2,828	0	
	12	+1	0	1,682	0	0	0	0	0	2,828	0	
	13	+1	0	0	-1,682	0	0	0	0	0	2,828	
	14	+1	0	0	1,682	0	0	0	0	0	2,828	
N ₀	15	+1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	16	+1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	17	+1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	18	+1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	19	+1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	20	+1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	

Для вычисления коэффициентов квадратичного уравнения регрессии применялись уравнения [89,90]:

$$B_0 = C_1 \cdot Y_0 - C_2 \cdot \sum_{i=1}^k Y_{ii}; \quad B_i = C_3 \cdot Y_i;$$

$$B_{ij} = C_4 \cdot Y_{ij}; \quad B_{ii} = C_5 \cdot Y_{ii} + C_6 \cdot \sum_{i=1}^k Y_{ii} - C_2 \cdot Y_0,$$

где C₁...C₇ – постоянные плана, для k=3 значения постоянных плана приведены в таблице 3.16 согласно [89].

Таблица 3.16 -

Значения постоянных РЦКП при k=3 [89,90]

Постоянная плана	C ₁	C ₂	C ₃	C ₄	C ₅	C ₆	C ₇
Значение	0,1663	0,0568	0,0732	0,125	0,0625	0,0069	0,0694

Для определения сумм квадратов и дисперсии, характеризующей ошибку опытов, используются результаты в центре плана:

$$S_E = \sum_{k=1}^6 \left(Y_{0,k} - \frac{1}{6} \sum_{k=1}^6 Y_{0,k} \right)^2 ;$$

$$S^2 = \frac{1}{5} \sum_{k=1}^6 \left(Y_{0,k} - \frac{1}{6} \sum_{k=1}^6 Y_{0,k} \right)^2 .$$

Тогда значение дисперсии для отдельных групп коэффициентов вычисляются как

$$S^2 \{B_0\} = C_1 \cdot S^2 ; \quad S^2 \{B_i\} = C_3 \cdot S_B^2 ;$$

$$S^2 \{B_{ij}\} = C_4 \cdot S^2 ; \quad S^2 \{B_{ii}\} = C_7 \cdot S^2 .$$

Далее по стандартной методике [88,90] с помощью t-критерия Стьюдента проверялась статистическая значимость коэффициентов уравнения регрессии, причем доверительный интервал рассчитывался по известной формуле:

$$\Delta_i = t_{кр} \sqrt{S^2} ,$$

где значение $t_{кр}$ определялось для уровня значимости $\alpha=0,01$ и числа степеней свободы $f_2=5$ по таблицам [88], а потом, после отбрасывания незначущих коэффициентов, определялась сумма квадратов построчных отклонений

$$S_R = \sum_{i=1}^N (Y_i - \hat{Y}_i)^2 ,$$

где $\hat{Y}_i$ - рассчитанное значение функции отклика, рассчитанное

для условий i -го опыта плана.

С помощью F-критерия Фишера проверялась гипотеза адекватности полученной математической модели по известной методике [89,90], для чего рассчитывалось значение критерия Фишера по формуле:

$$F = \frac{(S_R - S_E)/f_1}{S_E/f_2},$$

где число степеней свободы

$$f_1 = N - d - (n_0 - 1),$$

где d – число значимых коэффициентов в уравнении регрессии.

Уравнение считается адекватным, если выполняется условие:

$$F < F_{кр}, \quad (3.16)$$

где $F_{кр}$ определяется для значений f_1 и f_2 по таблицам [88], они приведены для каждого уравнения в соответствующих таблицах по расчету этих коэффициентов.

Вычисления по приведенным выше формулам велись на ПЭВМ с использованием электронных таблиц Excel–2000 программного пакета Microsoft Office – 2000 [91].

Результаты вычислений дисперсий и критерия Фишера для каждого из уравнений помещены после соответствующих таблиц с результатами экспериментов соответственно в табл. 3.18, 3.20, 3.21, 3.23 и 3.26.

Приведенные после каждой из таблиц уравнения регрессии содержат только значимые коэффициенты для нормированных значений факторов. Значения ЛВ и ЭП обозначены соответственно через $Y(**)$ и $Z(**)$, где цифры в скобках обозначают исходное значение для ЛВ и ЭП.

Таблица 3.17 –

Результаты экспериментов для огурцов сорта Конкурент

(исходная лабораторная всхожесть – 94%,

исходная энергия прорастания – 71%)

	Сорт Конкурент					
	Опыт 1 исх. ЛВ 94%, исх. ЭП 71%		Опыт 2 исх. ЛВ 79%, исх. ЭП 59%		Опыт 3 исх. ЛВ 66%, исх. ЭП 40%	
	ЛВ, %.	ЭП, %.	ЛВ, %.	ЭП, %.	ЛВ, %.	ЭП, %.
1	94,0	72,0	79,0	60,0	66,0	40,0
2	96,0	78,0	80,0	67,0	69,0	47,0
3	94,0	75,0	79,0	63,0	66,0	43,0
4	96,0	79,0	80,0	69,0	70,0	49,0
5	96,0	77,0	81,0	70,0	72,0	42,0
6	98,0	85,0	89,0	72,0	74,0	45,0
7	95,0	80,0	89,0	65,0	70,0	47,0
8	99,0	87,0	93,0	74,0	78,0	55,0
9	95,0	73,0	79,0	63,0	67,0	43,0
10	99,0	87,0	95,0	75,0	77,0	54,0
11	96,0	74,0	81,0	64,0	69,0	44,0
12	98,0	82,0	93,0	74,0	74,0	52,0
13	94,0	73,0	79,0	62,0	67,0	42,0
14	99,0	88,0	94,0	74,0	78,0	53,0
15	98,0	88,0	94,0	76,0	79,0	55,0
16	98,0	87,0	93,0	74,0	78,0	52,0
17	98,0	88,0	93,0	75,0	78,0	53,0
18	98,0	85,0	94,0	73,0	77,0	54,0
19	98,0	85,0	95,0	75,0	79,0	53,0
20	99,0	88,0	93,0	75,0	78,0	54,0

$$Y(94)=98,096+1,224X_1+1,139X_3-0,554X_1^2-0,554X_2^2-0,731X_3^2$$

$$Z(71)=86,751+3,554X_1+1,664X_2+3,063X_3-2,378X_1^2-3,094X_2^2-2,211X_3^2$$

$$Y(79)=93,505+2,063X_1+2,110X_2+4,133X_3-2,523X_1^2-2,523X_2^2-2,877X_3^2$$

$$Z(59)=74,624+3,234X_1+1,378X_2+2,928X_3-2,161X_1^2-2,161X_2^2-2,515X_3^2$$

$$Y(66)=78,127+2,476X_1+0,835X_2+2,880X_3-2,379X_1^2-2,556X_2^2-2,202X_3^2$$

$$Z(40)=53,310+3,111X_1+2,449X_2+1,978X_3-2,111X_1^2-2,288X_2^2-2,465X_3^2$$

Графическая интерпретация всех приведенных выше уравнений для ЛВ дана в Приложении А.

Поскольку табличные значения критерия Фишера превышают соответствующие расчетные значения этого критерия, т.е. условие 3.16 выполняется, то полученные уравнения регрессии будут адекватными.

Таблица 3.18 -

Результаты расчетов и анализа уравнений регрессии для семян
огурцов сорта Конкурент

Показатель	Дисперсия ошибок наблюдения S^2	Дисперсия ошибок для групп коэффициентов				Сумма квадратов отклонения построчных значений S_R	Критерий Фишера расчетный F_p / табличный $F_{кр}$
		S_0^2	S_I^2	S_{ij}^2	S_{ii}^2		
Y(94)	0,16667	0,166	0,110	0,144	0,108	7,072	4,159 / 10,15
Z(71)	2,16667	0,600	0,398	0,520	0,388	30,574	1,139 / 10,27
Y(79)	1,1	0,428	0,284	0,371	0,276	78,930	8,344 / 10,27
Z(59)	1,06667	0,421	0,279	0,365	0,272	56,630	6,011 / 10,27
Y(66)	0,56667	0,307	0,204	0,266	0,198	23,908	4,649 / 10,27
Z(40)	1,1	0,428	0,284	0,371	0,276	47,853	4,813 / 10,27

Таблица 3.19 –

Результаты экспериментов для огурцов сорта Родничок

(исходная лабораторная всхожесть – 93%, исходная энергия прорастания – 73%)

	Сорт Родничок					
	Опыт 1 исх. ЛВ 93%, исх. ЭП 73%		Опыт 2 исх. ЛВ 83%, исх. ЭП 64%		Опыт 3 исх. ЛВ 65%, исх. ЭП 43%	
	ЛВ, %.	ЭП, %.	ЛВ, %.	ЭП, %.	ЛВ, %.	ЭП, %.
1	93	73,0	84,0	65,0	66,0	43,0
2	95	78,0	88,0	69,0	71,0	48,0
3	93	73,0	90,0	66,0	68,0	47,0
4	94	80,0	89,0	70,0	71,0	50,0
5	95	78,0	88,0	72,0	73,0	44,0
6	97	85,0	94,0	74,0	75,0	46,0
7	95	82,0	91,0	70,0	72,0	49,0
8	98	87,0	96,0	78,0	79,0	54,0
9	95	75,0	86,0	68,0	69,0	46,0
10	97	86,0	95,0	77,0	78,0	54,0
11	96	76,0	88,0	69,0	68,0	48,0
12	97	80,0	92,0	74,0	75,0	51,0
13	93	74,0	88,0	69,0	70,0	48,0
14	98	87,0	96,0	78,0	79,0	52,0
15	97	87,0	95,0	79,0	79,0	53,0
16	98	85,0	95,0	78,0	77,0	52,0
17	97	86,0	96,0	78,0	78,0	53,0
18	97	85,0	94,0	77,0	78,0	51,0
19	98	85,0	95,0	79,0	79,0	52,0
20	97	87,0	95,0	78,0	78,0	54,0

Таблица 3.20 -

Результаты расчетов и анализа уравнений регрессии для семян
огурцов сорта Родничок

Показатель	Дисперсия ошибок на-блюдения S^2	Дисперсия ошибок для групп коэффициентов				Сумма квадратов отклонений построчных значений S_R	Критерий Фишера расчетный F_p / табличный $F_{кр}$
		S_0^2	S_i^2	S_{ij}^2	S_{ii}^2		
Y(93)	0,16667	0,166	0,110	0,144	0,108	8,717	4,730 / 10,05
Z(73)	0,96667	0,401	0,266	0,348	0,259	10,325	0,710 / 10,15
Y(83)	0,4	0,258	0,171	0,224	0,167	13,558	4,128 / 10,27
Z(64)	0,56667	0,307	0,204	0,266	0,198	25,609	5,024 / 10,27
Y(65)	0,56667	0,307	0,204	0,266	0,198	21,946	4,216 / 10,27
Z(43)	1,1	0,428	0,284	0,371	0,276	47,645	4,257 / 10,27

Поскольку табличные значения критерия Фишера превышают соответствующие расчетные значения этого критерия, т.е. условие 3.16 выполняется, то полученные уравнения регрессии будут адекватными.

Эти уравнения содержат только значимые коэффициенты и приведены в нормированных единицах.

$$Y(93)=97,269+0,832X_1+1,278X_3-0,648X_1^2-0,689X_3^2$$

$$Z(73)=85,747+3,111X_1+1,078X_2+3,461X_3-1,828X_1^2-2,712X_2^2-1,828X_3^2$$

$$Y(83)=94,929+2,133X_1+1,371X_2+2,183X_3-1,698X_1^2-1,874X_2^2-1,167X_3^2$$

$$Z(64)=78,149+2,462X_1+0,908X_2+2,716X_3-2,341X_1^2--2,694X_2^2-1,987X_3^2$$

$$Y(65)=78,126+2,353X_1+1,228X_2+2,647X_3-1,846X_1^2-2,553X_3^2-1,492X_3^2$$

$$Z(43)=52,518+2,083X_1+1,760X_2-1,307X_1^2-1,484X_2^2-1,307X_3^2$$

Графическая интерпретация первого из уравнений для ЛВ приведена на рис. 3.7, а остальных – в приложении А.

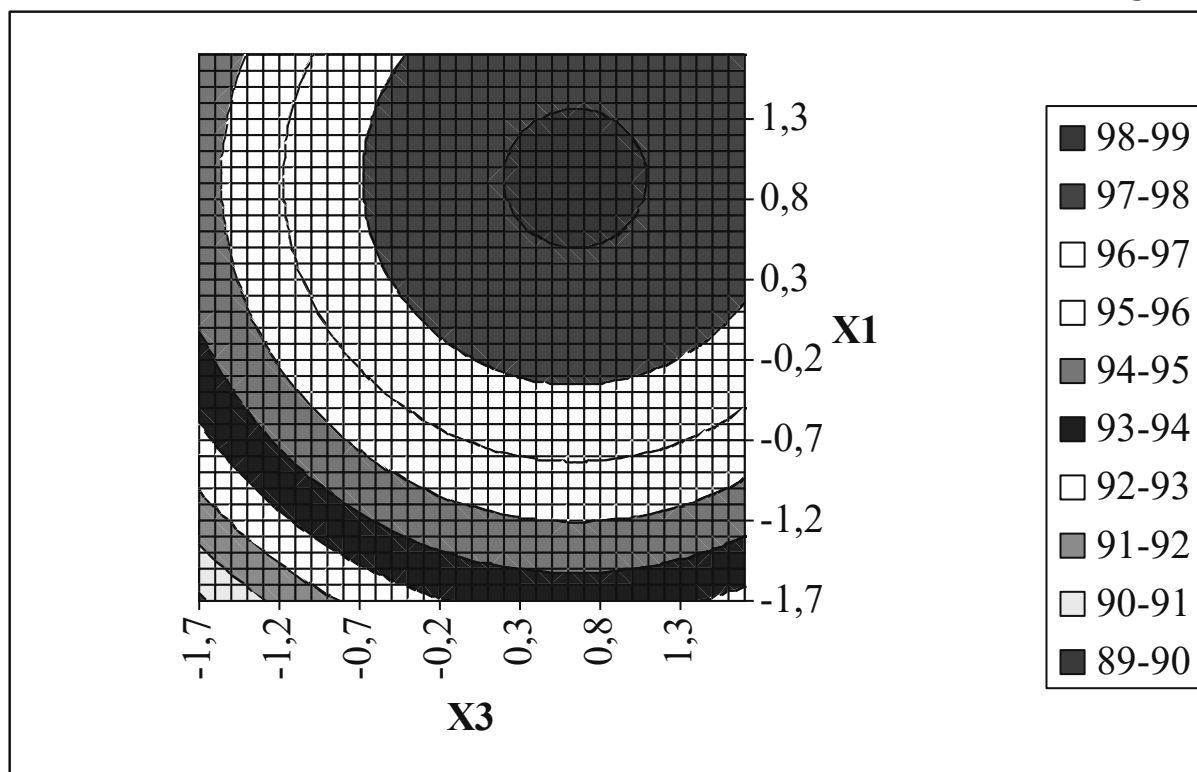


Рис. 3.7 – Графическое представление зависимости всхожести от действующих факторов по уравнению регрессии $Y(93)=97,269+0,832X_1+1,278X_3-0,648X_1^2-0,689X_3^2$ для всхожести семян огурцов Родничок (опыт 1, табл. 3.1).

Таблица 3.21 -

Результаты расчетов и анализа уравнений регрессии для семян томатов сорта Розовый гигант

Показатель	Дисперсия ошибок наблюдения S^2	Дисперсия ошибок для групп коэффициентов				Сумма квадратов отклонений построчных значений S_R	Критерий Фишера расчетный F_p / табличный $F_{кр}$
		S_0^2	S_i^2	S_{ij}^2	S_{ii}^2		
Y(91)	0,56667	0,307	0,204	0,266	0,198	19,050	2,862 / 10,05
Z(57)	1,9	0,562	0,373	0,487	0,363	62,866	3,119 / 10,27
Y(77)	0,8	0,365	0,242	0,316	0,236	55,576	9,210 / 10,27
Z(52)	2,16667	0,600	0,398	0,520	0,388	128,910	6,812 / 10,27
Y(67)	1,36667	0,477	0,316	0,413	0,308	39,733	3,009 / 10,27
Z(32)	1,46667	0,494	0,328	0,428	0,319	84,853	7,551 / 10,45

Поскольку табличные значения критерия Фишера превышают со-

ответствующие расчетные значения этого критерия, т.е. условие 3.16 выполняется, то полученные уравнения регрессии будут адекватными.

Таблица 3.22 –

Результаты экспериментов для семян томатов сорта Розовый гигант
(исходная лабораторная всхожесть – 91%,
исходная энергия прорастания – 57%)

	Сорт Розовый гигант					
	Опыт 1 исх. ЛВ 91%, исх. ЭП 57%		Опыт 2 исх. ЛВ 77%, исх. ЭП 52%		Опыт 3 исх. ЛВ 60%, исх. ЭП 32%	
	ЛВ, %.	ЭП, %.	ЛВ, %.	ЭП, %.	ЛВ, %.	ЭП, %.
1	91,0	59,0	77,0	52,0	60,0	34,0
2	94,0	65,0	81,0	54,0	69,0	35,0
3	92,0	65,0	79,0	53,0	66,0	41,0
4	94,0	71,0	81,0	59,0	70,0	45,0
5	95,0	70,0	79,0	56,0	72,0	47,0
6	97,0	73,0	92,0	67,0	74,0	50,0
7	92,0	75,0	85,0	62,0	70,0	44,0
8	97,0	78,0	94,0	72,0	78,0	52,0
9	93,0	66,0	79,0	54,0	64,0	36,0
10	96,0	77,0	93,0	71,0	77,0	54,0
11	95,0	72,0	80,0	60,0	66,0	38,0
12	97,0	75,0	93,0	73,0	74,0	51,0
13	92,0	61,0	78,0	53,0	62,0	32,0
14	97,0	77,0	94,0	75,0	78,0	55,0
15	96,0	77,0	94,0	73,0	77,0	55,0
16	97,0	76,0	93,0	75,0	75,0	55,0
17	96,0	77,0	95,0	72,0	78,0	53,0
18	97,0	74,0	95,0	71,0	77,0	54,0
19	98,0	75,0	93,0	74,0	76,0	53,0
20	97,0	74,0	94,0	74,0	78,0	56,0

$$Y(91)=96,769+1,248X_1+1,278X_3-0,996X_1^2-0,996X_3^2$$

$$Z(57)=75,481+2,672X_1+1,980X_2+4,366X_3-1,736X_1^2-2,619X_3^2$$

$$Y(77)=93,986+3,773X_1+2,333X_2+4,088X_3-3,276X_1^2-3,100X_2^2-3,276X_3^2$$

$$Z(52)=73,247+4,216X_1+2,845X_2+5,275X_3-4,694X_1^2-3,280X_2^2-4,164X_3^2$$

$$Y(67)=76,759+3,284X_1+1,644X_2+3,880X_3-2,203X_1^2-2,380X_3^2-2,380X_3^2$$

$$Z(32)=54,295+3,387X_1+2,772X_2+5,322X_3-2,250X_2X_3-3,340X_1^2-3,517X_2^2-3,871X_3^2$$

Графическая интерпретация первого из уравнений для ЛВ приведена на рис. 3.8, а остальных – в приложении А.

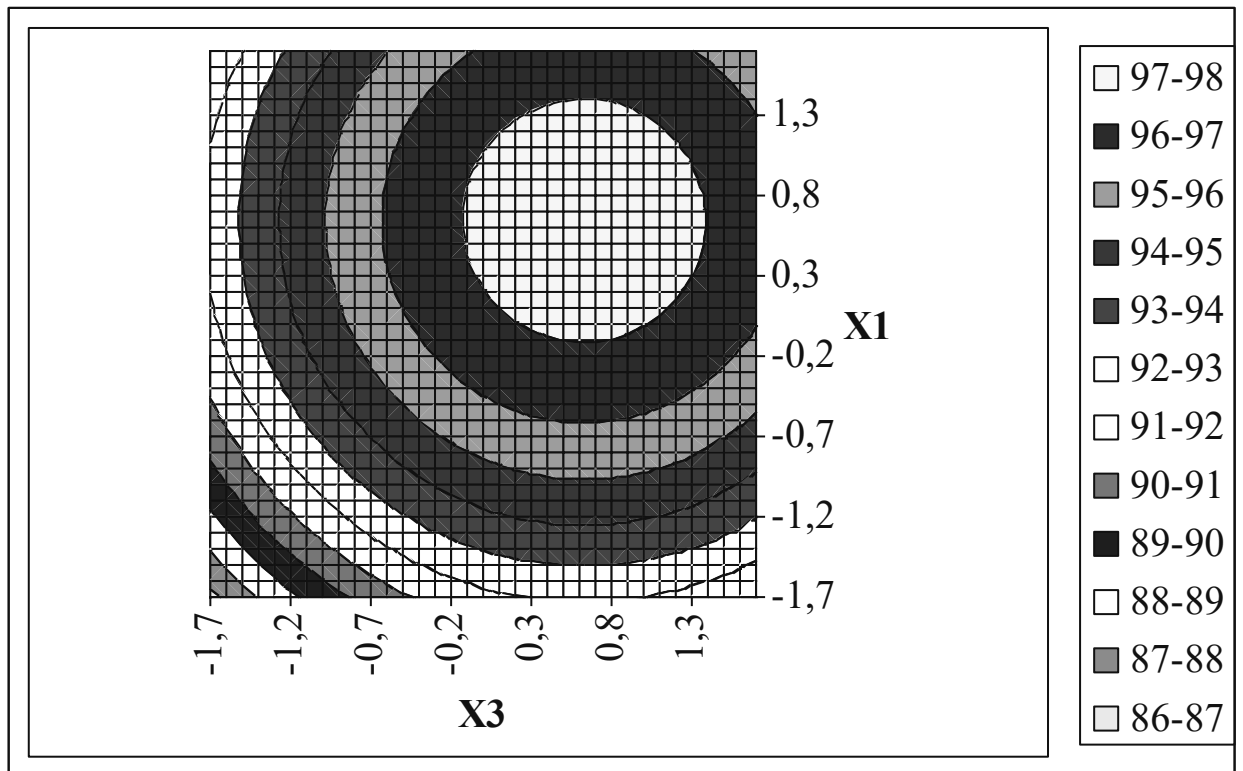


Рис. 3.8 – Графическое представление зависимости всхожести от действующих факторов по уравнению регрессии $Y(91)=96,769+1,248X_1+1,278X_3-0,996X_1^2-0,996X_3^2$ для семян томатов сорта Розовый гигант (опыт 1, табл. 3.1).

Результаты расчетов и анализа уравнений регрессии для семян
перца сорта Подарок Молдовы

Показатель	Дисперсия ошибок наблюдения S^2	Дисперсия ошибок для групп коэффициентов				Сумма квадратов отклонения поступочных значений S_R	Критерий Фишера расчетный F_p / табличный F_T
		S_0^2	S_i^2	S_{ij}^2	S_{ii}^2		
Y(86)	0,8	0,365	0,242	0,316	0,236	11,782	1,390 / 10,45
Z(52)	3,06667	0,714	0,474	0,619	0,461	118,101	3,723 / 10,15
Y(73)	0,96667	0,401	0,266	0,348	0,259	10,325	0,710 / 10,27
Z(39)	2	0,577	0,383	0,500	0,373	67,020	3,564 / 10,27
Y(54)	1,46667	0,494	0,328	0,428	0,319	74,593	5,732 / 10,27
Z(24)	2,16667	0,600	0,398	0,520	0,388	35,416	1,418 / 10,27

$$Y(86)=95,924+2,060X_1+1,151X_2+1,975X_3+1,375X_1X_3-1,671X_1^2-1,848X_2^2-1,141X_3^2$$

$$Z(52)=65,612+2,479X_1+3,773X_2+3,183X_3-2,203X_1^2-2,203X_3^2$$

$$Y(73)=85,747+3,111X_1+1,078X_2+3,461X_3-1,828X_1^2-2,712X_2^2-1,828X_3^2$$

$$Z(39)=55,922+2,602X_1+2,772X_2+4,161X_3-2,987X_1^2-2,104X_2^2-2,457X_3^2$$

$$Y(54)=74,636+4,020X_1+2,333X_2+4,300X_3-2,586X_1^2-2,763X_3^2-3,116X_3^2$$

$$Z(24)=36,182+1,960X_1+2,083X_2+2,953X_3-1,599X_1^2-2,129X_2^2-2,129X_3^2$$

Графическая интерпретация всех приведенных выше уравнений для ЛВ дана в Приложении А.

Таблица 3.24 –

Результаты экспериментов для семян перца сорта Подарок Молдовы

(исходная лабораторная всхожесть – 86%,

исходная энергия прорастания – 52%)

	Сорт Подарок Молдовы					
	Опыт 1 исх. ЛВ 86%, исх. ЭП 52%		Опыт 2 исх. ЛВ 73%, исх. ЭП 39%		Опыт 3 исх. ЛВ 54%, исх. ЭП 24%	
	ЛВ, %.	ЭП, %.	ЛВ, %.	ЭП, %.	ЛВ, %.	ЭП, %.
1	87,0	52,0	73,0	42,0	55,0	25,0
2	89,0	53,0	78,0	44,0	65,0	26,0
3	91,0	60,0	73,0	45,0	62,0	29,0
4	90,0	61,0	80,0	50,0	66,0	32,0
5	89,0	56,0	78,0	49,0	67,0	28,0
6	95,0	63,0	85,0	52,0	71,0	35,0
7	91,0	64,0	82,0	53,0	65,0	32,0
8	97,0	67,0	87,0	55,0	75,0	36,0
9	87,0	53,0	75,0	40,0	60,0	28,0
10	96,0	66,0	86,0	54,0	76,0	35,0
11	89,0	54,0	76,0	43,0	61,0	26,0
12	93,0	68,0	80,0	56,0	74,0	34,0
13	89,0	53,0	74,0	39,0	57,0	23,0
14	97,0	66,0	87,0	58,0	76,0	37,0
15	95,0	67,0	87,0	56,0	74,0	34,0
16	96,0	65,0	85,0	56,0	73,0	38,0
17	97,0	66,0	86,0	58,0	76,0	37,0
18	97,0	65,0	85,0	57,0	74,0	37,0
19	96,0	68,0	85,0	54,0	76,0	35,0
20	95,0	63,0	87,0	55,0	75,0	36,0

Поскольку табличные значения критерия Фишера превышают соответствующие расчетные значения этого критерия, т.е. условие 3.16

выполняется, то полученные уравнения регрессии будут адекватными.

Таблица 3.25 –

Результаты экспериментов для семян баклажанов сорта Донецкий урожайный (исходная лабораторная всхожесть – 79%,
исходная энергия прорастания – 57%)

	Сорт Донецкий урожайный					
	Опыт 1 исх. ЛВ 79%, исх. ЭП 57%		Опыт 2 исх. ЛВ 68%, исх. ЭП 42%		Опыт 3 исх. ЛВ 55%, исх. ЭП 30%	
	ЛВ, %.	ЭП, %.	ЛВ, %.	ЭП, %.	ЛВ, %.	ЭП, %.
1	79,0	58,0	69,0	42,0	55,0	31,0
2	80,0	60,0	70,0	45,0	56,0	35,0
3	78,0	57,0	70,0	45,0	59,0	34,0
4	80,0	58,0	71,0	46,0	62,0	41,0
5	81,0	60,0	74,0	49,0	58,0	37,0
6	89,0	66,0	79,0	52,0	66,0	45,0
7	89,0	67,0	79,0	58,0	60,0	39,0
8	93,0	69,0	84,0	60,0	66,0	47,0
9	80,0	59,0	72,0	44,0	58,0	33,0
10	91,0	70,0	84,0	61,0	64,0	44,0
11	81,0	60,0	72,0	45,0	57,0	35,0
12	83,0	64,0	83,0	60,0	65,0	46,0
13	79,0	59,0	70,0	43,0	54,0	33,0
14	92,0	68,0	85,0	59,0	65,0	46,0
15	91,0	70,0	83,0	60,0	66,0	45,0
16	92,0	70,0	83,0	61,0	64,0	47,0
17	93,0	69,0	85,0	59,0	65,0	45,0
18	91,0	68,0	86,0	60,0	63,0	46,0
19	92,0	69,0	84,0	62,0	66,0	45,0
20	93,0	69,0	85,0	61,0	65,0	44,0

$$Y(79)=91,942+2,452X_1+1,051X_2+3,947X_3+1,625X_2X_3-2,335X_1^2-3,572X_2^2-2,335X_3^2$$

$$Z(57)=69,139+2,160X_1+1,005X_2+3,063X_3+1,625X_2X_3-1,872X_1^2-2,756X_2^2-2,226X_3^2$$

$$Y(68)=84,346+2,356X_1+2,233X_2+4,249X_3-2,809X_1^2-2,986X_2^2-2,986X_3^2$$

$$Z(42)=60,508+2,752X_1+3,384X_2+4,713X_3+1,625X_2X_3-3,212X_1^2-3,212X_2^2-3,743X_3^2$$

$$Y(55)=64,773+2,056X_1+1,863X_2+2,533X_3-1,342X_1^2-1,342X_2^2-1,872X_3^2$$

$$Z(30)=43,310+3,331X_1+2,306X_2+3,391X_3-2,519X_1^2-1,812X_2^2-2,166X_3^2$$

Графическая интерпретация всех приведенных выше уравнений для ЛВ дана в Приложении А.

Таблица 3.26 -

Результаты расчетов и анализа уравнений регрессии для семян ба-
клажанов сорта Донецкий урожайный

Показатель	Дисперсия ошибок наблюдения S^2	Дисперсия ошибок для групп коэффициентов				Сумма квадратов отклонения построчных значений S_R	Критерий Фишера расчетный F_p / табличный $F_{кр}$
		S_0^2	S_i^2	S_{ij}^2	S_{ii}^2		
Y(79)	0,8	0,307	0,204	0,266	0,198	29,737	6,783 / 10,45
Z(57)	0,56667	0,562	0,373	0,487	0,363	62,866	3,119 / 10,45
Y(68)	1,46667	0,494	0,328	0,428	0,319	73,029	5,599 / 10,27
Z(42)	1,1	0,428	0,284	0,371	0,276	81,588	9,882 / 10,45
Y(55)	1,36667	0,477	0,316	0,413	0,308	36,357	2,700 / 10,27
Z(30)	1,06667	0,421	0,279	0,365	0,272	24,985	2,303 / 10,27

Поскольку табличные значения критерия Фишера превышают соответствующие расчетные значения этого критерия, т.е. условие 3.16 выполняется, то полученные уравнения регрессии будут адекватными.

3.2.3 Обобщение полученных экспериментальных результатов

После анализа полученных в виде уравнений регрессии зависимостей для всхожести соответствующих семян, показанных на рис. 3.7 и 3.8, а также в приложении А, составлена таблица 3.27, в которой приведены оптимальные (с учетом того, что уровень значимости составляет 0,01) значения входных факторов.

Таблица 3.27 –

Значения факторов (в нормированных единицах), соответствующих максимальным значениям ЛВ.

Культура, сорт	Номер опыта	Оптимальные значения факторов		
		X1	X2	X3
Огурцы сорта Конкурент	1	+0,4...+1,2	-0,4...+0,4	+0,5...+1,5
	2	+0,3...+1,1	0...+0,6	0...+0,8
	3	+0,2...+1,1	-0,4...+0,5	+0,1...+1,0
	Для всех	+0,4...+1,1	0...+0,4	+0,5...+0,8
Огурцы сорта Родничок	1	+0,4...+1,4	Весь диап.	+0,2...+1,1
	2	+0,2...+1,68	-0,3...+1,0	+0,3...+1,0
	3	+0,5...+1,2	-0,1...+0,6	+0,3...+1,1
	Для всех	+0,5...+1,2	-0,1...+0,6	+0,3...+1,0
Томаты сорта Розовый гигант	1	0...+1,3	Весь диап.	+0,1...+1,3
	2	+0,3...+0,9	0...+0,6	+0,3...+1,0
	3	+0,6...+1,2	0...+0,5	+0,4...+0,9
	Для всех	+0,6...+0,9	0...+0,5	+0,4...+0,9
Перец сорта Подарок Молдовы	1	+0,2...+1,6	0...+0,7	+0,9...+1,4
	2	+0,4...+1,5	-0,2...+0,5	+0,3...+1,4
	3	+0,4...+1,0	0...+0,6	+0,5...+1,2
	Для всех	+0,4...+1,0	0...+0,5	+0,9...+1,2
Баклажаны сорта Донецкий урожайный	1	+0,5...+1,3	-0,1...+0,8	+0,1...+1,1
	2	+0,3...+1,1	0...+0,6	+0,2...+1,1
	3	+0,1...+1,3	0...+1,2	+0,1...+1,5
	Для всех	+0,5...+1,1	0...+0,6	+0,2...+1,1

Анализируя эти данные, можно их обобщить и получить значения действующих факторов с учетом того, что минимально возможным значениям действующих факторов соответствует минимально возможное

время обработки партии семян, максимальная производительность и минимально возможные затраты энергии.

Результаты такого обобщения с переводом соответствующих входных факторов из нормированных единиц измерения в физические приведены в табл. 3.28., где приведены значения факторов, удовлетворяющих условию максимальных показателей ЛВ, обобщенных для всех исходных ПВС в пределах каждого сорта.

Таблица 3.28 –

Значения факторов (в физических единицах), соответствующих максимальным значениям ЛВ, производительности и энергосбережения.

Культура, сорт	Оптимальные с точки зрения всхожести значения факторов			В т.ч. оптимальные значения факторов по энергосбережению и производительности		
	X_1 – плотность энергии, мВт/см ²	X_2 – период между импульсами, мс.	X_3 – число импульсов, шт	X_1 – плотность энергии, мВт/см ²	X_2 – период между импульсами, мс.	X_3 – число импульсов, шт
Огурцы сортов Родничок и Конкурент	6,4 - 8,08	250 - 302	2590 - 2944	6,4	250	2600
Томаты сорта Розовый гигант	6,68 - 7,52	250 - 315	2472 - 3062	6,7	250	2480
Перец сорта Подарок Молдовы	6,12 - 7,8	250 - 315	3062 - 3416	6,2	250	3080
Баклажаны сорта Донецкий урожайный	6,4 - 8,08	250 - 328	2236 - 3298	6,4	250	2240
Для всех культур	6,68 - 7,52	250 - 302	---	6,7	250	---

Таким образом, определено, что для всех исследованных сортов овощных культур наиболее целесообразным является принятие режимов

предпосевного облучения семян, при которых обеспечивается плотность энергии около $6,7 \text{ мВт/см}^2$, период следования импульсов около 250 мс, при изменении числа импульсов в зависимости от вида и сорта культуры для облучаемых семян вне зависимости от их исходных ПКС. Эти значения режимов облучения следует использовать при создании соответствующих установок для предпосевного облучения семян.

При этом следует учесть, что резервы повышения всхожести семян при применении импульсного лазерного предпосевного облучения имеют свои ограничения, поэтому не представляется возможным достичь таким способом повышения ПКС до уровня 1-го класса для семян, не соответствующих по исходным ПКС уровню 2-го класса, и, соответственно, повышения ПКС до уровня 2-го класса для семян, исходные ПКС которых значительно (более чем на 15-20% по ЛВ) ниже уровня 2-го класса.

3.2.4 Сравнение полученных экспериментальных результатов с теоретически полученными моделями

В разделе 2 при анализе зависимостей, полученных при рассмотрении теоретических моделей действия лазерного импульсного облучения на ПКС обработанных семян, было сделано предположение о повышении показателей ПКС облученных семян с явно выраженным насыщением с ростом таких параметров, как общее число импульсов, плотность падающей энергии, период следования импульсов и их длительность.

Как было установлено в данном разделе при проведении активных экспериментов, в выбранном диапазоне параметров облучения значимыми оказались такие параметры, как общее число импульсов, плотность падающей энергии и период следования импульсов. Кроме того, в

ряде экспериментов также был незначимым и такой фактор, как период следования импульсов, который был также наименее значимым и в других экспериментах. Этот факт свидетельствует о том, что интервал варьирования для этого фактора был выбран так, что зависимость ПКС от него исследовалась на участке, близком к насыщению, что подтверждает сделанное в разделе 2 относительно него предположение. Что же касается зависимостей ПКС от общего числа импульсов и плотности падающей энергии, то анализ полученных уравнений регрессии, приведенный на рис. 3.7 и 3.8, а также в Приложении А, то они в целом подтверждают сделанное в разделе 2 предположение о возрастании с насыщением ПКС с ростом этих факторов. Некоторое отклонение упомянутых зависимостей от функций вида

$$F(T)=[1 - \exp(-\alpha T)]$$

может быть объяснено, прежде всего, тем, что РЦКП, использовавшийся при проведении активного эксперимента, предполагает получение уравнений регрессии в виде квадратичных функций, что вносит, таким образом, возможность неточной аппроксимации экспериментальных данных. Также некоторый вклад в отклонение упомянутых зависимостей от предполагаемых функций в области больших значений общего числа импульсов и плотности падающей энергии могло оказать тепловое действие лучистой энергии на семена при проведении их облучения.

В целом же полученные экспериментальные и теоретические зависимости показывают вполне удовлетворительное совпадение.

3.3. Пути реализации технологий предпосевного импульсного лазерного облучения семян овощных культур

Как было определено в предыдущем разделе, для всех исследованных сортов овощных культур наиболее целесообразным является приня-

тие режимов предпосевного облучения семян с фиксированным значением периода следования импульсов, что значительно упрощает конструкцию устройства для облучения. Также с целью упрощения конструкции устройств для такого облучения представляется, повышения их надежности и ремонтпригодности представляется целесообразным принять фиксированное значение плотности энергии в зоне обработки семян, которое может быть достигнуто применением поглощающих фильтров для лазеров, у которых энергетические показатели превышают требуемое значение.

Исходя из вышеприведенного, при облучении семян различных культур необходимо будет обеспечить подачу различного числа импульсов в зависимости от сорта и вида культур, семена которых обрабатываются.

Поскольку предпосевная обработка семян, как отмечалось ранее, является наиболее необходимой для тепличных хозяйств, относительно небольших фермерских хозяйств и садоводческих товариществ, а потребность в предпосевном облучении семян существует в основном в относительно небольшой промежуток времени, то устройства для осуществления найденных режимов облучения целесообразно выполнять в виде приставок к выпускаемым промышленно стационарным лазерным установкам [92,93].

При этом необходимо решить вопрос об основных принципах обеспечения взаимного перемещения луча и обрабатываемого материала. Как известно, наибольшее распространение получили различные конструкции сканирования луча (как правило, с помощью подвижных зеркал) по плоскости, на которой находится обрабатываемые семена [10,11,56,57,66]. При этом известны конструкции как с перемещением семян [10,11,56,66], так и без него [10,56,57]. Как правило, применяется первый вариант, поскольку при втором устройства имеют слишком малую производительность и неудобны в работе. Однако всем устройствам

с применением сканирования свойственна сложность конструкции (и, как следствие, низкая надежность и высокая стоимость), которая должна обеспечить одновременное перемещение луча лазера в двух направлениях. Поэтому более целесообразным будет использование конструкций типа волоконно-оптического преобразователя (ВОП) «пятно-линия» [94] с прерывающим устройством типа обюртатора с постоянной скоростью вращения, при этом относительное перемещение ВОП и обрабатываемого материала может осуществляться в одном направлении, что значительно упрощает конструкцию и повышает ее надежность.

Эти положения целесообразно принять при разработке конструкции устройства для облучения семян овощных культур.

Выводы к разделу

1. На основании результатов отсеивающего эксперимента определено, что ПКС при предпосевном лазерном облучении зависят от таких параметров облучения, как плотность световой энергии, период следования импульсов и их числа.

2. При проведении экспериментов и обработке его результатов получены зависимости ПКС от параметров облучения в виде уравнений регрессии.

3. На основании анализа полученных зависимостей ПКС от параметров облучения в виде уравнений регрессии установлено, что для всех исследованных сортов овощных культур наиболее целесообразным является принятие режимов предпосевного облучения семян, при которых обеспечивается плотность энергии около $6,7 \text{ мВт/см}^2$, период следования импульсов около 250 мс, при изменении числа импульсов в зависимости от вида и сорта культуры для облучаемых семян вне зависимости от их исходных ПКС.

4. Применение указанных режимов облучения дает возможность повышения ПКС до уровня 1-го класса для семян, соответствующих по исходным ПКС уровню 2-го класса, и повышения ПКС до уровня 2-го класса для семян, исходные ПКС которых не более чем на 15-20% по ЛВ ниже уровня 2-го класса.

5. Сравнение экспериментальных данных и данных, полученных при анализе теоретических моделей, использовавшихся в предыдущем разделе, показало их достаточно хорошее совпадение, что подтверждает адекватность указанных моделей.

6. Установлено, что для осуществления указанных режимов облучения наиболее целесообразным будет создание устройства в виде специализированной приставки к промышленно выпускаемой универсальной лазерной установки с применением волоконно-оптического преобразователя типа «пятно-линия» с прерывающим устройством типа обюртатора с постоянной скоростью вращения, при относительном перемещении преобразователя и обрабатываемого материала только в одном направлении,

РАЗДЕЛ 4

РЕЗУЛЬТАТЫ ЛАБОРАТОРНЫХ И ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ИСПЫТАНИЙ РЕЖИМОВ ПРЕДПОСЕВНОГО ЛАЗЕРНОГО ИМПУЛЬСНОГО ОБЛУЧЕНИЯ СЕМЯН ОВОЩНЫХ КУЛЬТУР

4.1. Разработка лазерной приставки и ее системы управления

Поскольку предпосевная обработка семян является наиболее необходимой для тепличных хозяйств, относительно небольших фермерских хозяйств и садоводческих товариществ, а потребность в предпосевном облучении семян существует в основном в относительно небольшой промежуток времени, то устройства для осуществления найденных режимов облучения целесообразно выполнять в виде максимально более простых по конструкции приставок к выпускаемым промышленно стационарным лазерным установкам.

Как известно, наибольшее распространение получили различные конструкции сканирования луча по плоскости, на которой находится обрабатываемые семена. Однако всем устройствам с применением сканирования свойственна сложность конструкции, низкая надежность и высокая стоимость. Поэтому более целесообразным будет использование конструкций типа волоконно-оптического преобразователя «пятно-линия» с прерывающим устройством типа обюртатора с постоянной скоростью вращения, при этом относительное перемещение преобразователя и обрабатываемого материала может осуществляться в одном направлении, что значительно упрощает конструкцию и повышает ее надежность. На основе этого решения разработана конструкция приставки, показанная на рис. 4.1.

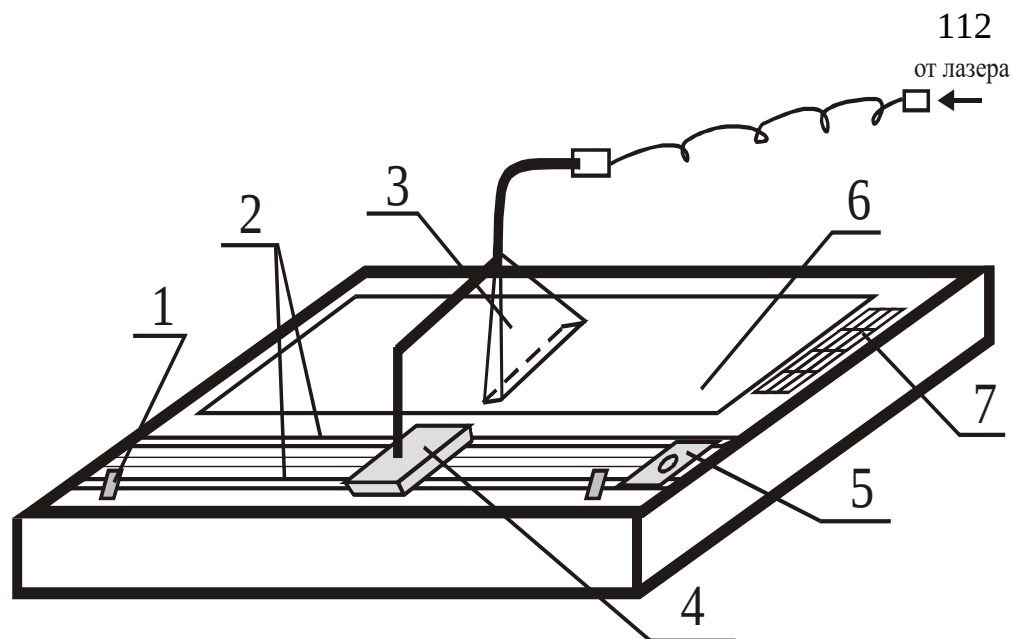


Рис. 4.1. Лазерная приставка:

1-конечный выключатель; 2-направляющие; 3 - волоконно-оптический преобразователь, 4 - подвижная платформа; 5- шаговый двигатель; 6-контейнер для семян; 7-пульт управления.

Приставка [95] включает волоконно-оптический преобразователь, соединенный с перемещающейся по специальным направляющим подвижной платформой, приводимой в движение шаговым двигателем. Выбор шагового двигателя в качестве приводного обусловлен следующими его свойствами:

- угол поворота ротора определяется числом импульсов, которые поданы на двигатель;
- двигатель обеспечивает полный момент в режиме остановки (если обмотки запитаны);
- прецизионное позиционирование и повторяемость, высокая точность (3-5% от величины шага), причем эта ошибка не накапливается от шага к шагу;

- возможность быстрого старта / остановки / реверсирования;
- высокая надежность, связанная с отсутствием щеток, срок службы шагового двигателя фактически определяется сроком службы подшипников;
- однозначная зависимость положения от входных импульсов обеспечивает позиционирование без обратной связи;
- возможность получения очень низких скоростей вращения для нагрузки, присоединенной непосредственно к валу двигателя без промежуточного редуктора;
- может быть перекрыт довольно большой диапазон скоростей, т.к. скорость пропорциональна частоте входных импульсов

Несмотря на то, что в настоящее время существует большое количество специализированных микросхем для управления шаговыми двигателями [96], в отдельных случаях можно обойтись и без них. Когда не предъявляется слишком жестких требований, контроллер можно реализовать полностью программно. При этом стоимость такого контроллера получается сравнительно низкой.

Предлагаемый контроллер предназначен для управления униполярным шаговым двигателем со средним током каждой обмотки до 2.5А. Контроллер может использоваться с распространенными шаговыми двигателями типа ДШИ-200-1, -2, -3. Его также можно использовать и для управления менее мощными двигателями. При этом схему можно упростить, отказавшись от параллельного включения ключевых транзисторов и от ключевой стабилизации тока, так как для маломощных двигателей достаточно простого L/R-питания.

Основой данного стандартного устройства (рис. 4.2) является микроконтроллер U1 типа AT90S2313 фирмы Atmel [96]. Сигналы управления обмотками двигателя формируются на портах PB4 – PB7 программно. Для коммутации обмоток используются по два включенных параллельно полевых транзистора типа КП505А, всего 8 транзисторов (VT1 – VT8). Эти транзисторы имеют корпус ТО-92 и могут коммутировать ток до 1.4 А, сопротивление канала составляет около 0.3 ома. Для того, чтобы транзисторы оставались закрытыми во время действия сигнала «сброс» микроконтроллера (порты в это время находятся в высокоимпедансном состоянии), между затворами и истоками включены резисторы R11 – R14. Для ограничения тока перезарядки емкости затворов установлены резисторы R6 – R9. Данный контроллер не претендует на высокие скоростные характеристики, поэтому вполне устраивает медленный спад тока фаз, который обеспечивается шунтированием обмоток двигателя диодами VD2 – VD5. Для подключения шагового двигателя имеется 8-контактный разъем XP3, который позволяет подключить двигатель, имеющий два отдельных вывода от каждой обмотки (как, например, ДШИ-200). Для двигателей с внутренним соединением обмоток один или два общих контакта разъема останутся свободными.

Наиболее подходящими являются МОП-транзисторы, например КП723Г, КП727В и др., управляемые логическим уровнем.

Стабилизация тока осуществляется с помощью ШИМ, которая тоже реализована программно. Для этого используются два датчика тока R15 и R16. Сигналы, снятые с датчиков тока, через ФНЧ R17C8 и R18C9 поступают на входы компараторов U3А и U3В. ФНЧ предотвращают ложные срабатывания компараторов вследствие действия помех. На второй вход каждого компаратора должно быть подано опорное напряжение, которое и определяет пиковый ток в обмотках двигателя. Это напряжение формируется микроконтроллером с помощью встроенного таймера, работающего в режиме 8-битной ШИМ. Для фильтрации сиг-

нала ШИМ используется двухзвенный ФНЧ R19C10R22C11. Одновременно резисторы R19, R22 и R23 образуют делитель, который задает масштаб регулировки токов фаз. В данном случае максимальный пиковый ток, соответствующий коду 255, выбран 5.11А, что соответствует напряжению 0.511В на датчиках тока. Учитывая тот факт, что постоянная составляющая на выходе ШИМ меняется от 0 до 5В, необходимый коэффициент деления равен примерно 9,7. Выходы компараторов подключены к входам прерываний микроконтроллера INT0 и INT1.

Для управления работой двигателя имеются два логических входа: FWD (вперед) и REW (назад), подключенных к разъему XP1. При подаче НИЗКОГО логического уровня на один из этих входов, двигатель начинает вращаться на заданной минимальной скорости, постепенно разгоняется с заданным постоянным ускорением. Разгон завершается, когда двигатель достигает заданной рабочей скорости. Если подается команда изменения направления вращения, двигатель с тем же ускорением тормозится, затем реверсируется и снова разгоняется.

Кроме командных входов, имеются два входа для концевых выключателей, подключенных к разъему XP2. Концевой выключатель считается сработавшим, если на соответствующем входе присутствует низкий логический уровень. При этом вращение в данном направлении запрещено. При срабатывании концевого выключателя во время вращения двигателя он переходит к торможению с заданным ускорением, а затем останавливается.

Командные входы и входы концевых выключателей защищены от перенапряжений цепочками R1VD6, R2VD7, R3VD8 и R4VD9, состоящими из резистора и стабилитрона.

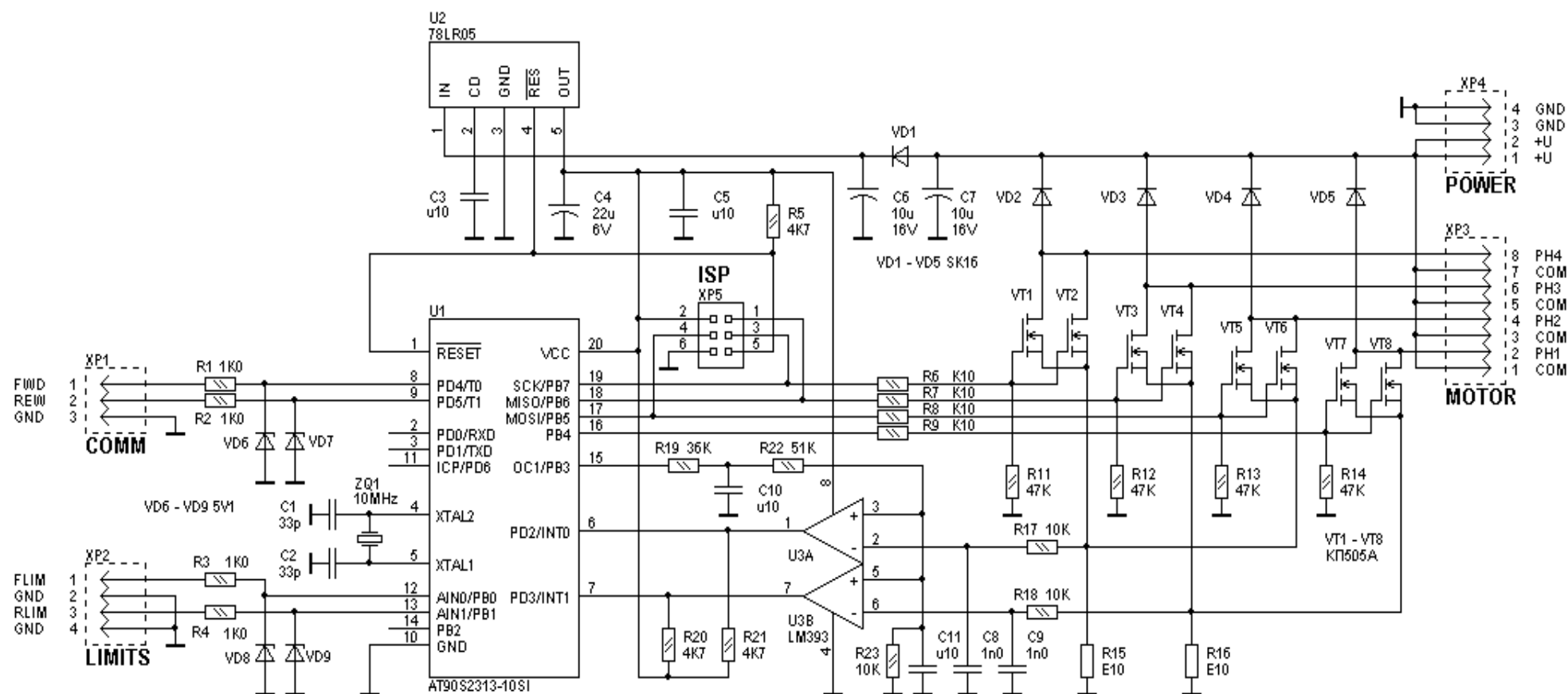


Рис. 4.2. Принципиальная схема контроллера управления шаговым двигателем.

Питание микроконтроллера формируется с помощью микросхемы стабилизатора 78LR05, которая одновременно выполняет функции монитора питания. При понижении напряжения питания ниже установленного порога эта микросхема формирует для микроконтроллера сигнал «сброс». Питание на стабилизатор подается через диод VD1, который вместе с конденсатором С6 уменьшает пульсации, вызванные коммутациями относительно мощной нагрузки, которой является шаговый двигатель. Питание на плату подается через 4-контактный разъем ХР4.

Управляющая программа [95, 96] должна обеспечивать разгон и торможение двигателя с постоянным ускорением, а также вращение на постоянной скорости в полношаговом или полушаговом режиме. Блок-схема программы приведена на рис. 4.3. Главной задачей программы является формирование импульсных последовательностей для 4-х обмоток двигателя. Поскольку для этих последовательностей временные соотношения являются критичными, формирование выполняется в обработчике прерывания таймера 0. Данные функции на схеме (рис.4.3) реализованы блоками 1-18.

В качестве основной временной базы выбран интервал 25 мкс, который и формируется таймером. С такой дискретностью могут формироваться временные последовательности фаз, такой же период имеет и ШИМ стабилизации тока в фазах двигателя.

Для формирования периода повторения шагов используется программный 16-разрядный таймер STCNT. В отличие от таймера 0, его загрузочная величина не является константой, так как именно она определяет скорость вращения двигателя. Таким образом, переключение фаз происходит только при переполнении программного таймера.

Последовательность чередования фаз задается таблично. В памяти программ микроконтроллера имеются три разных таблицы: для полношагового режима без перекрытия фаз, полношагового с перекрытием и

для полушагового режима. Все таблицы имеют одинаковую длину 8 байт. Нужная таблица в начале работы загружается в ОЗУ, что позволяет наиболее просто переходить между разными режимами работы двигателя. Выборка значений из таблицы происходит с помощью указателя PHASE, поэтому переключение направления вращения двигателя тоже осуществляется очень просто: для вращения вперед требуется инкрементировать указатель, а для вращения назад – декрементировать.

Главной в программе является 24-битная знаковая переменная VC, которая содержит значение текущей скорости. Знак этой переменной определяет направление вращения, а значение – частоту следования шагов. Нулевое значение этой переменной говорит о том, что двигатель остановлен. Программа в этом случае выключает ток всех фаз, хотя во многих приложениях в этой ситуации требуется оставить включенными текущие фазы и лишь несколько уменьшить их ток, обеспечив этим удержание положения двигателя.

Таким образом, в случае переполнения программного таймера STCNT происходит анализ значения переменной VC, в случае положительного значения указатель PHASE инкрементируется, а в случае отрицательного – декрементируется. Затем из таблицы выбирается очередная комбинация фаз, которая выводится в порт. В случае нулевого значения VC указатель PHASE не изменяется, и в порт выводятся все нулевые значения.

Величина T, которой следует загружать таймер STCNT, однозначно связана со значением переменной VC. Однако перевод частоты в период занимает довольно много времени, поэтому эти вычисления производятся в основной программе, и не на каждом шаге, а гораздо реже. Вообще, эти вычисления нужно периодически производить только во время разгона или торможения. В остальных случаях скорость, и, соответственно, период повторения шагов, не меняются.

Для осуществления ШИМ-стабилизации тока фазы должны периодически включаться, а затем, при достижении током заданного уровня, выключаться. Периодическое включение производится в прерывании таймера 0, для чего даже в случае отсутствия переполнения программного таймера STCNT в порт выводится текущая комбинация фаз. Происходит это с периодом 25мкс (что соответствует частоте ШИМ 40кГц). Выключением фаз управляют компараторы, выходы которых подключены к входам прерывания INT0 и INT1. Прерывания разрешаются после того, как ток фаз включается, и запрещаются сразу после переключения компараторов. Это исключает их повторную обработку. В обработчиках прерываний происходит только отключение соответствующих фаз (блоки 12-14 на рис.3).

Нужно сказать, что аналоговая часть системы ШИМ-стабилизации тока фаз двигателя является довольно «капризной». Дело в том, что сигнал, снимаемый с датчика тока, содержит большое количество помех. Помехи возникают в основном в моменты коммутации обмоток двигателя, причем как «своей», так и «чужой» фазы. Для правильной работы схемы требуется корректная разводка печатной платы, особенно это касается земляных проводников. Возможно, придется подобрать номиналы ФНЧ на входе компаратора или даже ввести в компаратор небольшой гистерезис. Как уже отмечалось выше, при управлении маломощными двигателями от ШИМ-стабилизации тока можно вовсе отказаться, применив обычную L/R-схему питания обмоток. Для исключения ШИМ-стабилизации достаточно просто не подключать входы INT0 и INT1 микроконтроллера, естественно, при этом можно вообще не устанавливать компаратор и датчики тока.

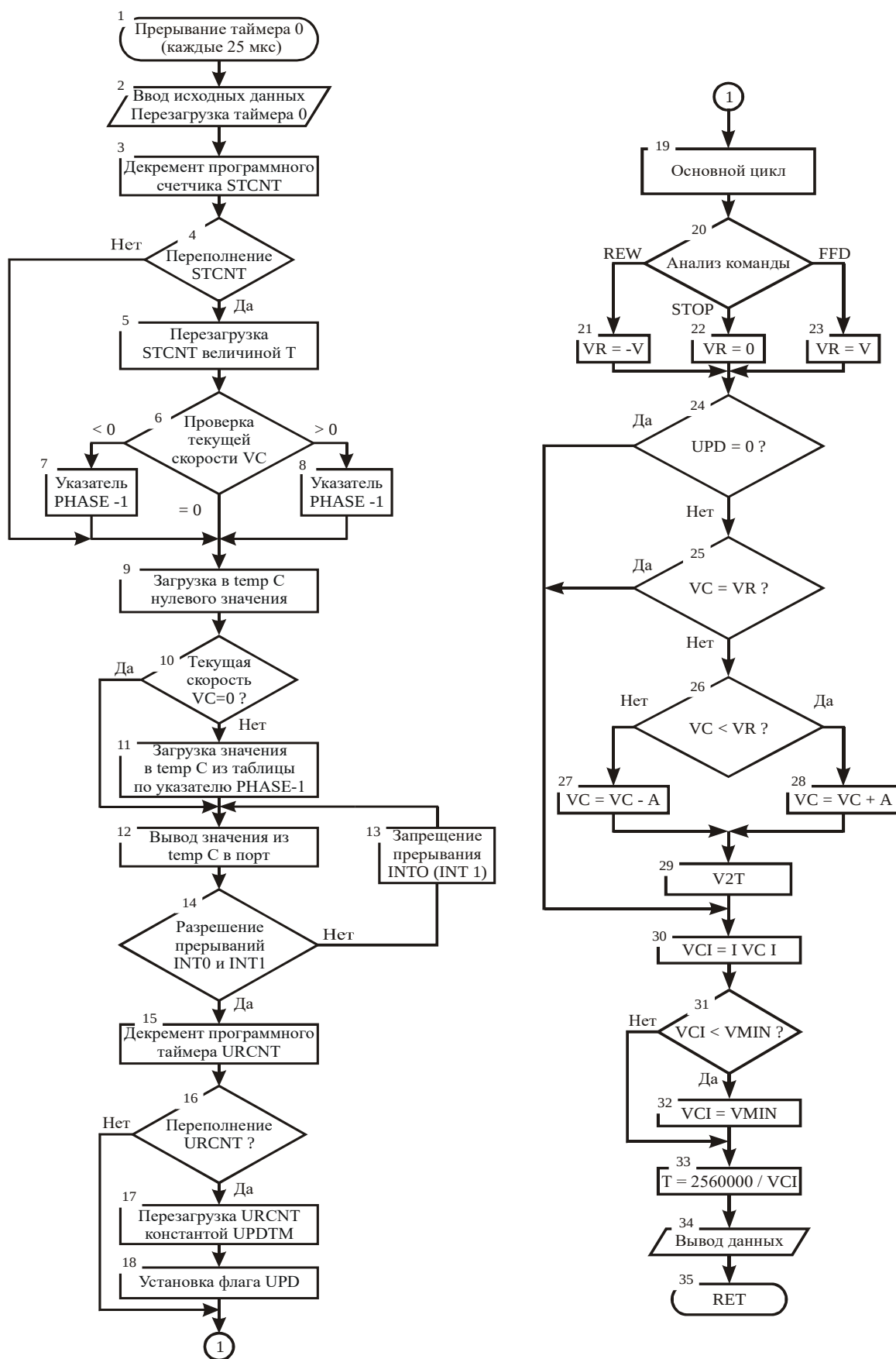


Рис. 4.3. Блок-схема алгоритма функционирования.

В данной программе периодичность вычисления новых значений скорости и периода выбрана равной 15.625мс. Такое значение выбрано

не случайно. Этот интервал составляет $1/64$ с, а главное, он содержит целое число периодов переполнения таймера 0 (25мкс). Удобно, если значения скорости и ускорения задаются в естественных единицах, т.е. в шагах в секунду и в шагах, деленных на секунду в квадрате. Для того чтобы иметь возможность в целочисленной арифметике вычислять мгновенную скорость 64 раза в секунду, нужно перейти к внутреннему представлению скорости, увеличенному в 64 раза. Умножение и деление на 64 сводится к обычным сдвигам и поэтому требует очень мало времени. Заданную периодичность вычислений обеспечивает еще один программный таймер URCNT, который декрементируется в прерывании таймера 0 (раз в 25мкс). Этот таймер всегда загружается постоянной величиной, что обеспечивает неизменный период его переполнений, равный 15.625мс. При переполнении этого таймера устанавливается битовый флаг UPD, который сигнализирует основной программе о необходимости обновления значения скорости и периода.

Основная программа отражена на рис.3 блоками 19-29 и выполняет вычисление мгновенных значений скорости и периода следования шагов, обеспечивая необходимую кривую разгона. В данном случае разгон и торможение осуществляются с постоянным ускорением, поэтому скорость меняется линейно. Период при этом меняется по гиперболическому закону, и его вычисление – основная работа программы.

Обновление значений скорости и периода следования шагов основная программа делает периодически, периодичность задается флагом UPD. Обновление программа делает на основе сравнения значений двух переменных: мгновенной скорости VC и требуемой скорости VR.

Значение требуемой скорости также определяется в основной программе. Это делается на основе анализа управляющих сигналов и сигналов с концевых выключателей. В зависимости от этих сигналов, основная программа загружает переменную VR значением требуемой скорости.

сти. В данной программе это V для движения вперед, $-V$ для движения назад и 0 для остановки. В общем случае, набор скоростей (а также ускорений и токов фаз) может быть сколь угодно большим, в зависимости от требований.

Если скорости VC и VR равны, значит, шаговый двигатель работает в стационарном режиме и обновления не требуется. Если же скорости не равны, то значение VC с заданным ускорением приближается к VR , т.е. двигатель ускоряется (или замедляется) до достижения номинальной скорости. В случае, когда даже знаки VR и VC отличаются, двигатель замедляется, реверсируется и потом достигает требуемой скорости. Происходит автоматически благодаря структуре программы.

Если при очередной проверке обнаруживается, что скорости VR и VC не равны, то к значению VC прибавляется (или вычитается) значение ускорения A . Если в результате этой операции происходит превышение требуемой скорости, то полученное значение корректируется путем замены на точное значение требуемой скорости.

Затем происходит вычисление периода T (рис. 3, блоки 30-35). Вначале вычисляется модуль текущей скорости. Затем происходит ограничение минимальной скорости. Это ограничение необходимо по двум причинам. Во-первых, бесконечно малой скорости соответствует бесконечно большой период, что вызовет ошибку в вычислениях. Во-вторых, шаговые двигатели имеют довольно протяженную по скорости зону старта, поэтому нет необходимости стартовать на очень маленькой скорости, тем более что вращение на малых скоростях вызывает повышенный шум и вибрацию. Значение минимальной скорости V_{MIN} должно выбираться исходя из конкретной задачи и типа двигателя. После ограничения минимальной скорости производится вычисление периода по формуле $T = 2560000/|VC|$. На первый взгляд формула не очевидна, но если учесть, что период необходимо получить в 25мкс-интервалах, а

внутреннее представление VC – это умноженное на 64 ее истинное значение, то все становится на свои места. При вычислении T требуется операция беззнакового деления формата 24/24, которое AVR на тактовой частоте 10 МГц делает примерно за 70 мкс. Учитывая, что вычисления периода происходят не чаще, чем один раз в 15.625 мс, загрузка процессора получается очень низкой. Основную загрузку производит прерывание таймера 0, да и оно в основном выполняется по короткой ветке (без переполнения STCNT) длительностью примерно 3 мкс, что соответствует 12%-й загрузке процессора. Это означает, что имеются значительные резервы вычислительных ресурсов.

Для варианта предварительного компьютерного расчета параметров режима лазерной предпосевной обработки семян, их установка реализуется с помощью устройства ручного управления, схема которого представлена на рис. 4.4. Данная схема построена на базе контроллера PIC16F84A-04 и содержит пульт управления с тремя кнопками для реализации команд соответственно “пуск”, “стоп” и ступенчатого изменения четырех различных скоростей вращения шагового двигателя.

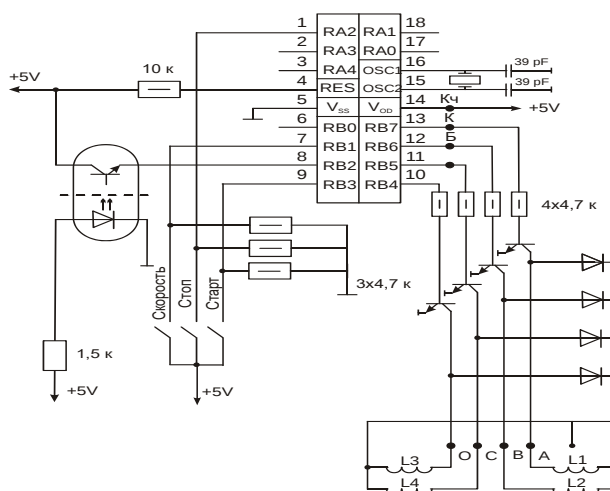


Рис. 4.4. Принципиальная схема контроллера для ручного управления шаговым двигателем.

В данном случае реализуется так называемый режим советчика, когда предварительно вычисляются параметры управления процессом, сообщаемые в виде советов оператору, который в свою очередь при помощи пульта управления устанавливает соответствующую скорость вращения шагового двигателя, приводящего в движение рупорный волоконно-оптический преобразователь. Управление лазерной приставкой осуществляется с помощью программы, приведенной в приложении Б. Программа содержит три основных блока: установки регистров и определения переменных, инициализации контроллера и главный блок управления.

4.2. Исследование устойчивости работы лазерной приставки.

4.2.1. Разработка и анализ структурных схем управления.

Для исследования работы предложенного устройства необходимо составить структурные схемы, получить соответствующие математические модели, анализ которых позволит определить уровень работоспособности системы [97, 98].

В соответствии с этим на рис. 4.5 представлена структурно-функциональная схема лазерной приставки, отражающая состав элементов, направление действия сигналов, а также функциональное назначение элементов. Схема содержит два контура управления, первый из которых отражает формирование системы импульсного управления шаговым двигателем и, а также привод перемещения рупорного оптического преобразователя. Для данного контура предусмотрен контроль положения оптического преобразователя, скорости его перемещения, а также числа выполненных проходов. Второй контур управления реализует формирование, преобразование и дистанционную передачу лазерного луча с целью его воздействия на обрабатываемый материал [99]. Этот

контур содержит источник лазерного излучения, регулятор его интенсивности в виде специальных экранов, обюртатор, формирующий прерывистый характер излучения, а также канал передачи лазерного луча в виде гибкого волоконно-оптического преобразователя с оконечным рупорным устройством.

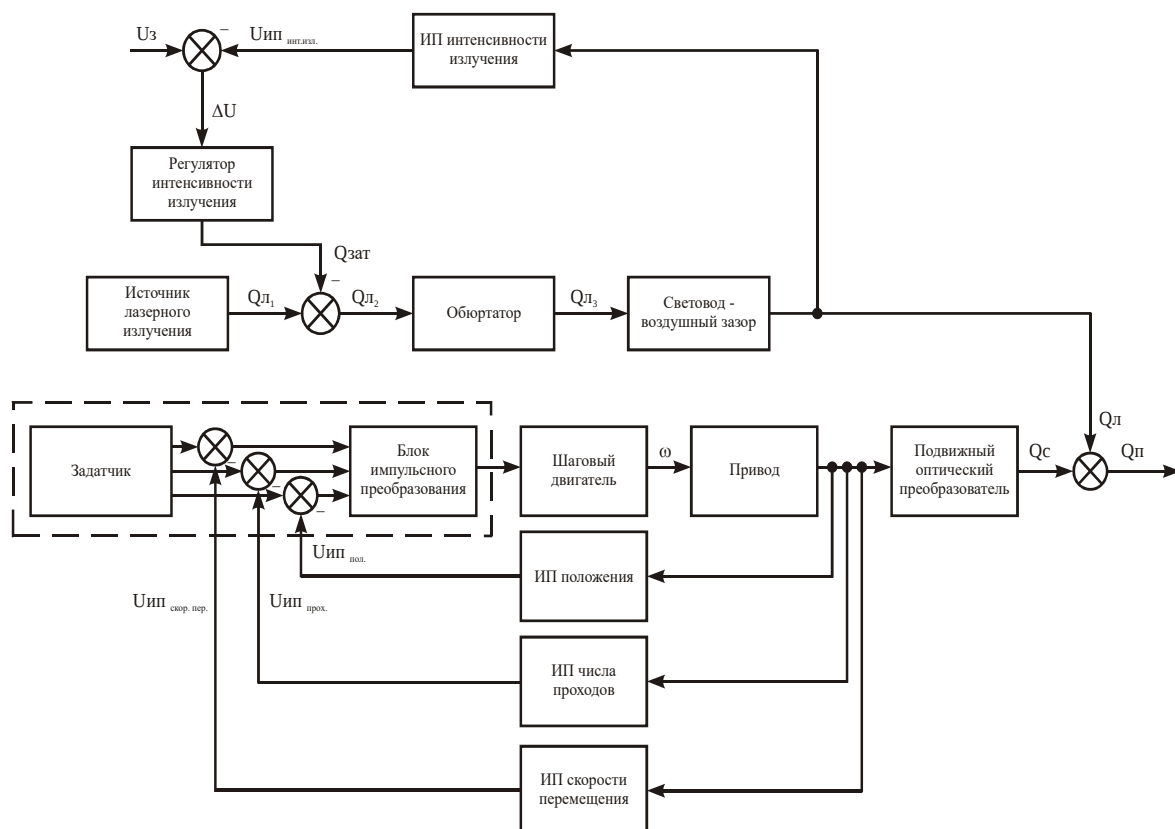


Рис. 4.5. Структурно-функциональная схема лазерной приставки.

С целью исследования статических и динамических свойств системы разработана структурно-алгоритмическая схема, представленная на рис. 4.6. Здесь передаточными функциями $W_1(P)$ - $W_4(P)$ обозначены соответственно: блок импульсного преобразования, шаговый двигатель, ременной привод подвижной платформы с закрепленным на ней рупорным излучателем. Функции $W_5(P)$ - $W_7(P)$ описывают работу измерительных преобразователей положения рупорного излучателя, числа проходов и скорости его перемещения. Также звеньями обозначены: $W_8(P)$ -

объектор, $W_9(P)$ -световод с излучателем, $W_{10}(P)$ и $W_{11}(P)$ – измерительный преобразователь и регулятор интенсивности излучения.

Схема на рис. 4.6 имеет два основных контура, осуществляющих управление соответственно перемещением рупорного оптического излучателя и

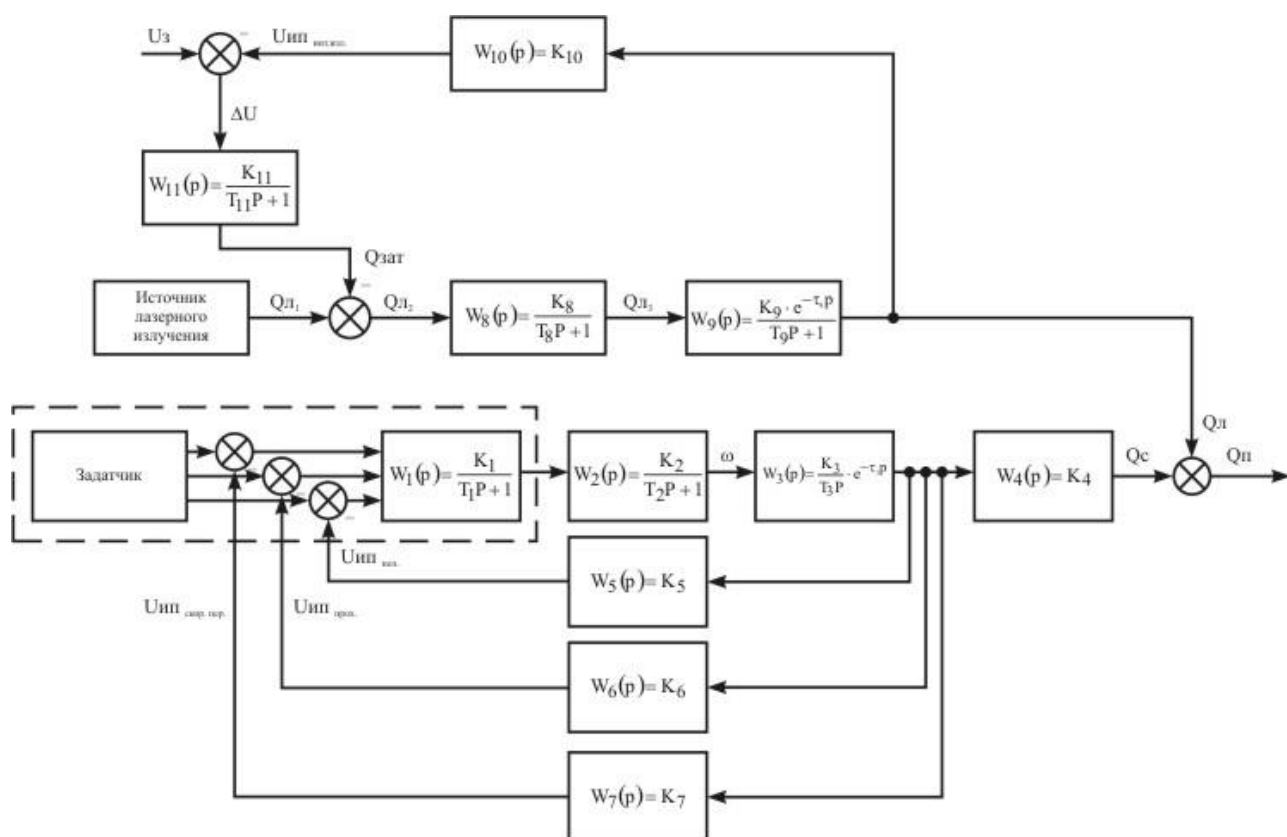


Рис. 4.6. Структурно-алгоритмическая схема лазерной приставки.

формированием интенсивности и периодичности лазерного излучения. Обозначив данные контуры соответственно $W_{э1}(P)$ и $W_{э2}(P)$, а также используя основные правила преобразования структурно-алгоритмических схем [97], получим:

$$W_{э1}(P) = \frac{W_1(P) \cdot W_2(P) \cdot W_3(P) \cdot W_4(P)}{1 + W_1(P) \cdot W_2(P) \cdot W_3(P) \cdot [W_5(P) + W_6(P) + W_7(P)]} \quad (4.1)$$

$$W_{92}(P) = \frac{W_{11}(P) \cdot W_8(P) \cdot W_9(P)}{1 + W_{11}(P) \cdot W_8(P) \cdot W_9(P) \cdot W_{10}(P)} \quad (4.2)$$

Аппроксимация элементов системы выполняется с учетом конструктивных параметров лазерной приставки, статических и динамических свойств звеньев в координатах “выход-вход”.

Рассмотрим аппроксимацию параметров передаточной функции электрооборудования, которое в установке представлено электродвигателем обюртатора, выполняющего операцию прерывания лазерного луча, а также шаговым двигателем привода подвижной платформы с рупорным лазерным излучателем.

В установке лазерной предпосевной обработки семян овощных культур для привода обюртатора необходим маломощный низкооборотистый двигатель, в качестве которого выбираем двигатель типа РД-09. с редукцией $j = 30$, $M_n = 1.27 \text{ Н} \cdot \text{м}$, $n_0 = 39,7 \text{ об/мин}$.

Известно, что передаточная функция асинхронного двигателя по частоте вращения имеет вид [97]

$$W_{\alpha}(P) = \frac{K_{\text{дв}}}{T_{\text{м}} \cdot P + 1},$$

где $K_{\text{дв}}$ и $T_{\text{м}}$ – соответственно, коэффициент передачи и механическая постоянная времени звена;

P – оператор дифференцирования.

Однако сложность определения механической постоянной времени заключается в том, что при номинальной мощности двигателя $P_n = 10$

Вт и частоте вращения $\omega = \frac{\pi \cdot n_0}{30} = \frac{3.14 \cdot 39.7}{30} = 4,16 \text{ с}^{-1}$, измерение по-

следней тахометром внесет большую погрешность. Поэтому для определения параметров передаточной функции используем известную методику [100], в соответствии с которой механическую постоянную времени можно определить выражению

$$T_M = \frac{J}{K_{M.X.}}, \quad (4.3)$$

где J – момент инерции;

$K_{M.X.}$ – коэффициент жесткости механической характеристики.

В свою очередь момент можно вычислить по формуле

$$J \frac{d\omega}{dt} = M_{cm},$$

откуда

$$J = \frac{M_{cm}}{\frac{d\omega}{dt}},$$

где M_{cm} – статический момент сопротивления электродвигателя, Н·м.

Подставив полученное выражение для момента инерции в формулу (4.3), получим:

$$T_M = \frac{M_{cm}}{\frac{d\omega}{dt} \cdot K_{M.X.}}. \quad (4.4)$$

Значение M_{cm} определяем опытным путем, затормозив вал закрепленного в центрах электродвигателя:

$$M_{cm} = F \cdot l,$$

где F – тяговое усилие, развиваемое поворотом корпуса двигателя, Н;

l – расстояние между точкой измерения тягового усилия и осью вращения ротора, м.

Данные измерений сведены в табл. 4.1.

Экспериментальные данные для определения статического момента
электродвигателя

L, м	2×10^{-2}	4×10^{-2}	6×10^{-2}
F, Н	1,1	0,48	0,34
$M_{cm}, \text{Н} \cdot \text{м}$	$2,2 \times 10^{-2}$	$1,92 \times 10^{-2}$	$2,04 \times 10^{-2}$

На основании чего получаем

$$M_{cm} = \frac{1}{3} \sum_{i=1}^n M_{cmi} = 2,05 \times 10^{-2} \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Методика определения выражения $\frac{d\omega}{dt}$ следующая. На вал редуктора двигателя крепится круговой потенциометр R (рис. 4.7.) с линейным изменением величины сопротивления от угла поворота.

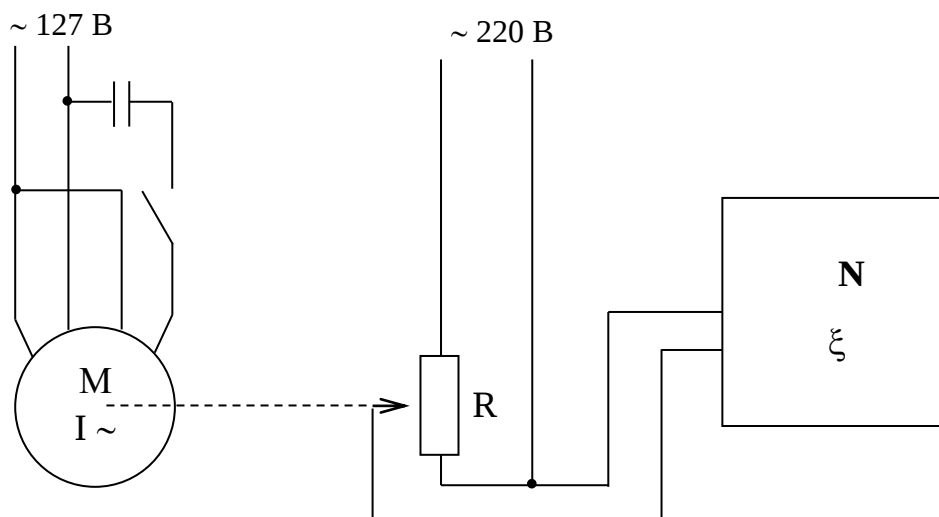


Рис. 4.7. Принципиальная электрическая схема установки для снятия кривой переходного процесса электродвигателя РД-09.

Питание на двигатель и потенциометр подается согласно приведенной принципиальной схеме. При отключении тумблером обмотки

управления ОУ осциллограф регистрировал кривую переходного процесса (рис. 4.8).

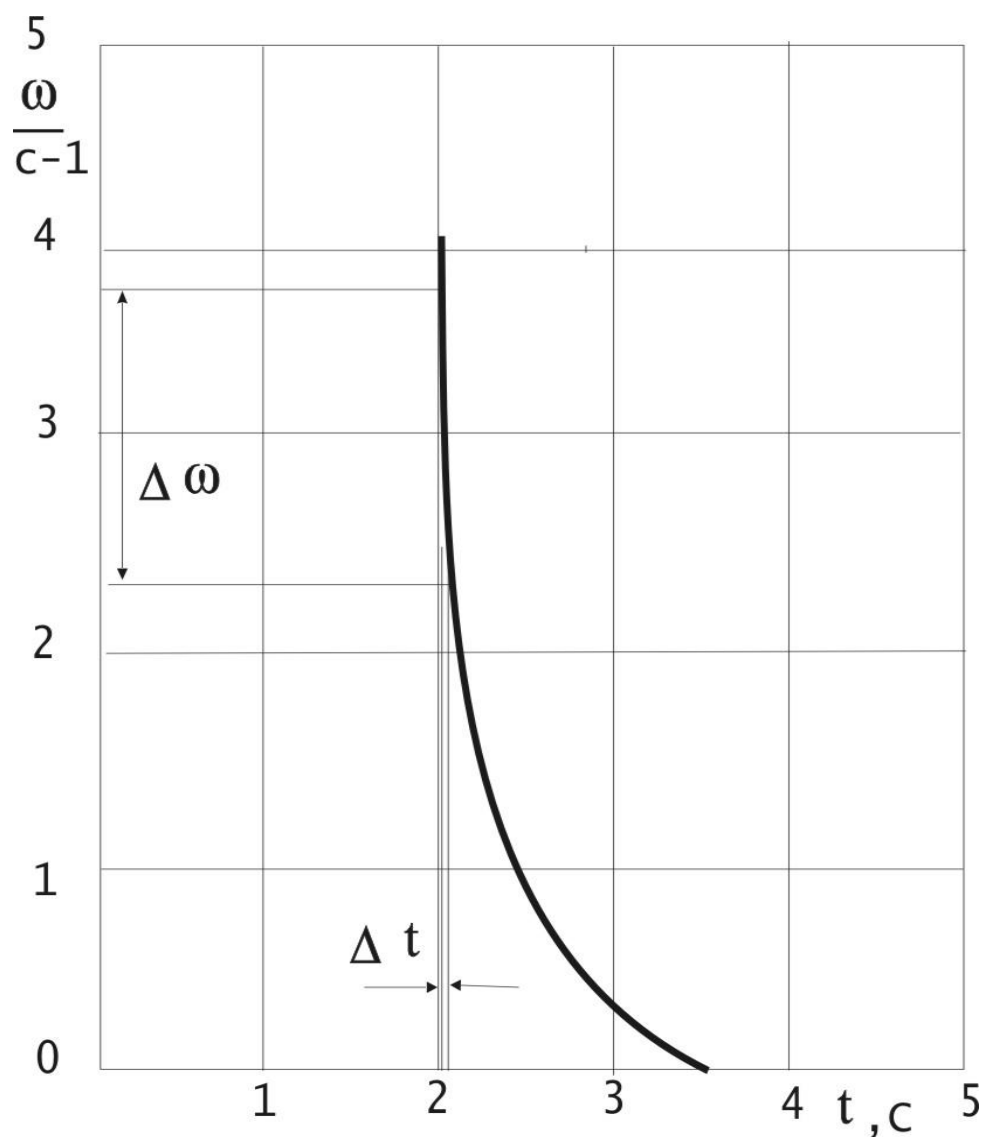


Рис. 4.8. Кривая переходного процесса электродвигателя РД-09.

По этой кривой определяем искомое отношение

$$\frac{\Delta \omega}{\Delta t} = \frac{1.5}{0.001} = 0.015 \frac{\text{с}^{-1}}{\text{с}}.$$

Для определения $K_{м.х.}$ строим по паспортным данным двигателя его механическую характеристику (рис. 4.9).

Данные для построения:

$\omega_0 = 4,16 \text{ с}^{-1}$; $\omega_H = 3,5 \text{ с}^{-1}$; $M_H = 0,9 \text{ Н}\cdot\text{м}$, $M_{ст} = 2,05 \times 10^{-2} \text{ Н}\cdot\text{м}$.

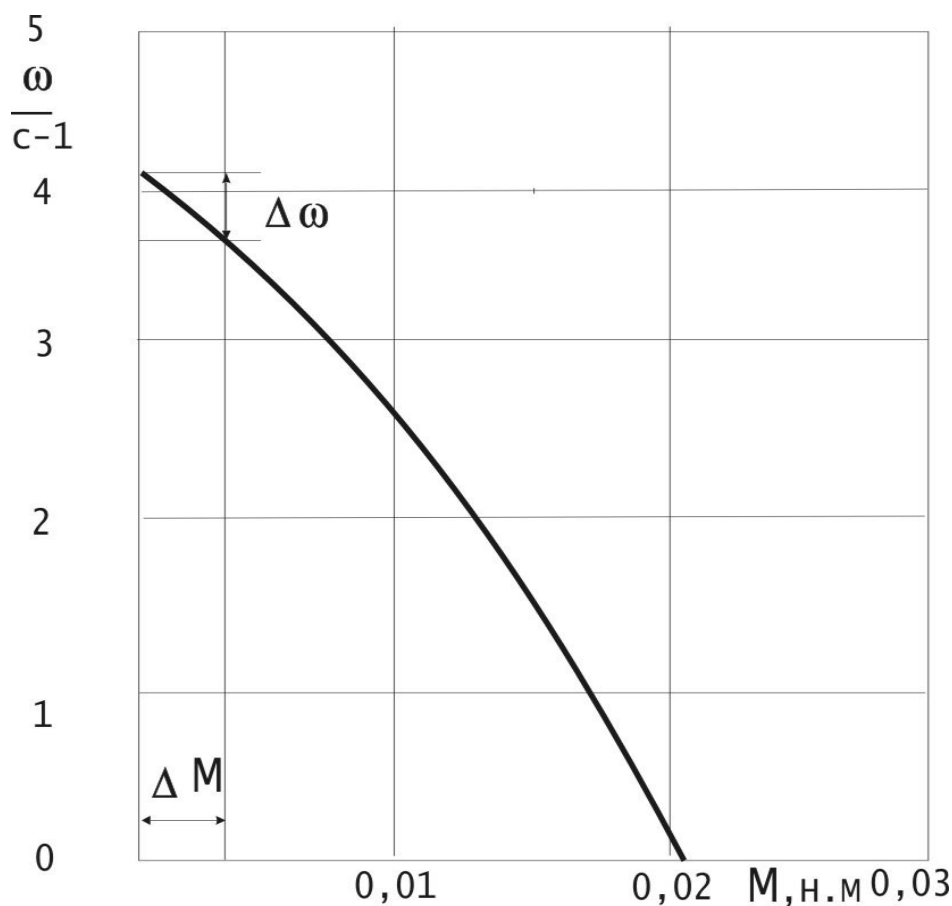


Рис. 4.9. Механическая характеристика электродвигателя РД-09.

По полученной зависимости определяем коэффициент жесткости через отношение приращений рассматриваемых величин

$$K_{м.х.} = \frac{\Delta\omega}{\Delta M} = \frac{0,4}{0,0028} = 142 \frac{\text{с}^{-1}}{\text{Н}\cdot\text{м}}.$$

Подставив в выражение (4.4) найденные значения, получим

$$T_M = \frac{2.05 \cdot 10^{-2}}{0.015 \cdot 142} = 0.01 \text{с.}$$

Коэффициент передачи обюртатора определяем из соотношения интенсивностей лазерного луча до и после диска-прерывателя, т. е.

$$K_8 = \frac{Q_{л.3}}{Q_{л.2}} = \frac{0,0125}{0,05} = 0,25$$

Следовательно, передаточная функция обюртатора с указанием численных значений запишется как

$$W_1(P) = \frac{0,25}{0,01p + 1}$$

Данное выражение входит в состав общего операторного дифференциального уравнения системы управления объекта и позволяет определить качественные показатели функционирования САУ.

При выборе вида аппроксимирующего выражения для шагового двигателя привода подвижной платформы следует заметить, динамические процессы в регулируемом электродвигателе переменного тока описываются в общем виде дифференциальным уравнением [101] следующего вида:

$$J \frac{d\omega}{dt} + k_v \omega = k_D U, \quad (1),$$

где J – момент инерции, приведенный к валу ШД, Н·м·сек²;

ω – угловая скорость, с⁻¹;

k_v – коэффициент скоростного трения нагрузки;

k_D – коэффициент пропорциональности приращения магнитного потока двигателя к приращению действующего значения напряжения;

U – действующее значение напряжения, В.

Для шаговых двигателей с импульсным управлением действующее значение напряжения можно принять как [102]:

$$U = \tau \nu U_{и},$$

где τ – длительность импульса, с;

ν – частота следования импульсов, с⁻¹;

$U_{и}$ – амплитуда напряжения для одного импульса, В.

Таким образом, обозначив $K = k_D \tau U_{и}$, получим дифференциальное уравнение, связывающее частоту вращения двигателя и частоту следования импульсов:

$$J \frac{d \omega}{dt} + k_v \omega = K \nu,$$

что означает, что шаговый двигатель может быть аппроксимирован как звено САУ передаточной функцией аperiodического звена первого порядка.

Общий вид и расчет параметров передаточных функций представлен в табл. 4.2.

Подстановкой численных значений в (4.4) и (4.2) получим выражения передаточных функций контуров управления

$$W_{\text{з1}}(P) = \frac{1320,39P^2 - 44,013P + 70,421}{0,0001P^5 + 0,108P^4 + 6,754P^3 + 252,681P^2 - 8,055P + 13,464} \quad (4.3)$$

$$W_{\text{з2}}(P) = \frac{0,000002P^2 - 0,001P + 0,24}{0,000000002P^4 + 0,00000P^3 + 0,00092P^2 + 0,114P + 19,2} \quad (4.4)$$

Таблица 4.2 –

Аппроксимация элементов системы управления лазерной приставкой.

Элемент системы	Передаточная функция	Расчет параметров
1.Блок управления	$W_1(P) = \frac{K_1}{T_1 p + 1}; W_1(P) = \frac{20}{0,001 p + 1}$	$K_1 = \frac{N_{\Pi}}{\Delta U} = \frac{40}{2} = 20 \frac{\text{ц}}{\text{с}}$ $T_1 = 0,001 \text{с}$
2.Шаговый двигатель	$W_2(P) = \frac{K_2}{T_2 p + 1}; W_2(P) = \frac{0,0625}{0,015 p + 1}$	$K_2 = \frac{\varpi}{Nu} = \frac{2,5}{40} = 0,625 \frac{\text{с}^{-1}}{\text{у}}$ $T_2 = 0,015 \text{с}$
3.Привод	$W_3(P) = \frac{K_3}{T_3 p} \cdot e^{-\tau_3 P}$ с применением ряда Паде $W_3(P) = \frac{K_3}{T_3 p} \cdot \frac{\tau_3^2 p^2 - 0,5 \tau_3 p + 12}{\tau_3^2 p^2 + 0,5 \tau_3 p + 12}$ $W_3(P) = \frac{1530 p^2 - 51 p + 81,6}{6,75 p^3 + 0,225 p^2 + 0,36 p}$	$K_3 = \frac{l}{\varpi} = \frac{17}{2,5} = 6,8 \frac{\text{мм}}{\text{с}^{-1}}$ $T_3 = 0,03 \text{с}$ $\tau_3 = 15 \text{с}$
4. Подвижный оптический преобразователь	$W_4(P) = K_4; W_4(P) = 0,69$	$K_4 = \frac{Q_c}{l} = \frac{11,67}{17} = 0,69 \frac{\text{мм/с}}{\text{мм}}$
5. Измерительный преобразователь положения	$W_5(P) = K_5; W_5(P) = 0,23$	$K_5 = \frac{U_{un.пол.}}{l} = \frac{0,8}{35} = 0,23 \frac{\text{В}}{\text{мм}}$
6. Измерительный преобразователь числа проходов	$W_6(P) = K_6; W_6(P) = 0,4$	$K_6 = \frac{U_{un.прох.}}{l} = \frac{0,8}{2} = 0,4 \frac{\text{В}}{\text{прох.}}$
7.Измерительный преобразователь скорости перемещения	$W_7(P) = K_7$ $W_6(P) = 0,069$	$K_6 = \frac{U_{un.ск.пер.}}{l} = \frac{0,8}{11,67} = 0,069 \frac{\text{В}}{\text{мм/с}}$
8.Обюртатор	$W_8(P) = \frac{K_8}{T_8 p + 1}; W_1(P) = \frac{0,25}{0,01 p + 1}$	$K_8 = \frac{Q_{л.3}}{Q_{л.2.}} = \frac{0,0125}{0,05} = 0,25^T$ $T_8 = 0,01 \text{с}$
9.Световод-воздушный зазор	$W_9(P) = \frac{K_9 \cdot e^{-\tau_9 P}}{T_9 p + 1}$, с применением ряда Паде $W_9(P) = \frac{K_3}{T_9 p + 1} \cdot \frac{\tau_9^2 p^2 - 0,5 \tau_9 p + 12}{\tau_9^2 p^2 + 0,5 \tau_9 p + 12}$ $W_3(P) = \frac{0,00008 p^2 - 0,04 p + 9,6}{0,0000002 p^3 + 0,0002 p^2 + 0,074 p + 12}$	$K_9 = \frac{Q_{л.}}{Q_{л.3.}} = \frac{0,01}{0,0125} = 0,8$ $T_9 = 0,002 \text{с}, \tau_9 = 0,01 \text{с}$
10. Измерительный преобразователь числа проходов	$W_{10}(P) = K_{10}; W_{10}(P) = 80$	$K_{10} = \frac{Q_{инт.}}{Q_{л.}} = \frac{0,8}{0,01} = 80 \frac{\text{В}}{\text{мВт/мм}^2}$
11.Регулятор интенсивности излучения	$W_{11}(P) = K_{11}$ $W_{11}(P) = 0,1$	$K_{11} = \frac{Q_3}{\Delta U} = \frac{0,02}{0,2} = 0,1 \frac{\text{мВт/мм}^2}{\text{В}}$

4.2.2. Определение технической устойчивости работы лазерной приставки

Для анализа технической устойчивости системы [103-105] определяем корни полиномов соответственно числителей и знаменателей уравнений (4.3) и (4.4), используя для этого среду приложения Mathcad [106].

Контур Э1

Контур Э1

$$W_{\text{Э1}}(P) = \frac{1320,39P^2 - 44,013P + 70,421}{0,0001P^5 + 0,108P^4 + 6,754P^3 + 252,681P^2 - 8,055P + 13,464}$$

Числитель

$$1320,39 \cdot p^2 - 44,013 \cdot p + 70,421 = 0$$

$$\text{Коэффициенты} = (70,421 \quad -44,13 \quad 1320,39)^T$$

$$\text{Корни} := \text{polyroots}(\text{Коэффициенты})$$

$$\text{Корни} = \begin{pmatrix} 0,017 - 0,23i \\ 0,017 + 0,23i \end{pmatrix}$$

Знаменател

$$0,0001 P^5 + 0,108 P^4 + 6,754 P^3 + 252,681 P^2 - 8,055 P + 13,464 = 0$$

$$\text{Коэффициенты} = (13,46 \quad -8,055 \quad 252,681 \quad 6,754 \quad 0,108 \quad 0,0001)^T$$

$$\text{Корни} := \text{polyroots}(\text{Коэффициенты})$$

$$\text{Корни} = \begin{pmatrix} -1,016 \times 10^3 \\ -32,032 + 38,252i \\ -32,032 - 38,252i \\ 0,017 + 0,23i \\ 0,017 - 0,23i \end{pmatrix}$$

Контур Э2

$$W_{32}(P) = \frac{0,000002 P^2 - 0,001 P + 0,24}{0,000000002 P^4 + 0,0000022 P^3 + 0,00092 P^2 + 0,114 P + 19,2}$$

Числитель

$$0,000002 P^2 - 0,001 P + 0,24 = 0$$

$$\text{Коэффициенты} = (0.24 \quad -0.001 \quad 0.000002)^T$$

$$\text{Корни} := \text{polyroots}(\text{Коэффициенты})$$

$$\text{Корни} = \begin{pmatrix} 250 - 239.792i \\ 250 + 239.792i \end{pmatrix}$$

Знаменатель

$$0,000000002 P^4 + 0,0000022 P^3 + 0,00092 P^2 + 0,114 P + 19,2 = 0$$

$$\text{Коэффициенты} = (19.2 \quad 0.114 \quad 0.00092 \quad 0.0000022 \quad 0.000000002)^T$$

$$\text{Корни} := \text{polyroots}(\text{Коэффициенты})$$

$$\text{Корни} = \begin{pmatrix} -1.057 \times 10^4 \\ -352.731 \\ -38.725 - 155.722i \\ -38.725 + 155.722i \end{pmatrix}$$

Для получения информации об устойчивости данной системы, целесообразно построить совмещенные логарифмические амплитудно - и фазочастотные характеристики (ЛАЧХ и ЛФЧХ) контуров управления в виде диаграммы Боде [103, 105], которая позволяет определить “техническую устойчивость” как линейных, так и импульсных систем управления. Соответствующие характеристики на диаграмме Боде строятся по асимптотическим выражениям логарифмических амплитудных и фазовых характеристик, точки излома которых определяются логарифмом частот соединения, для получения которых используются найденные выше корни соответствующих полиномов и представленных в виде отношения дробно-рациональных функций (4.5)

$$W_i(P) = K \frac{(P - \alpha_1)(P - \alpha_2) \dots (P - \alpha_n)}{(P - j_1)(P - j_1) \dots (P - j_n)}, \quad (4.5)$$

где K - коэффициент передачи контура, который определяется через приведение к единице свободных членов полиномов, то есть $K = \frac{1/b_m}{1/a_n}$;

α_n, j_n - корни полиномов соответственно числителя и знаменателя уравнения вида (2).

Записав уравнения (4.3) и (4.4) частотном виде и выражая их модули в децибелах, беря $20 \lg |W(j\omega)|$, а также сократив идентичные частоты числителя и знаменателя, получаем уравнения (4.6 и 4.7) для построения диаграммы Боде.

$$A_1 = 20 \lg |W(j\omega)| = 14.70 - 20 \lg 1.016 - 40 \lg 32.032 \quad (4.6)$$

$$A_2 = 20 \lg |W(j\omega)| = 38.08 + 40 \lg 250 - 20 \lg 1.057 - 20 \lg 352.731 - 40 \lg 38.725 \quad (4.7)$$

Взяв логарифмы от корней полиномов и ранжируя полученные значения частот сопряжения, запишем:

для уравнения (4.6) $\omega_{11} = 1.51$; $\omega_{12} = 3.01$;

для уравнения (4.7) $\omega_{21} = 1.51$; $\omega_{22} = 2.4$; $\omega_{23} = 2.55$, $\omega_{24} = 3.02$.

При построении диаграммы Боде (рис.4.7) для частот сопряжения наклон ЛАЧХ соответствует [103]

$$\pm n_i 20 \text{ dB} = \lg \omega^{\pm n_i},$$

а изменение фазы, которое откладывается в градусах,

$$\pm n 20 \text{ dB} = \pm n 90^\circ,$$

где n - коэффициент, который зависит от вида корней полиномов.

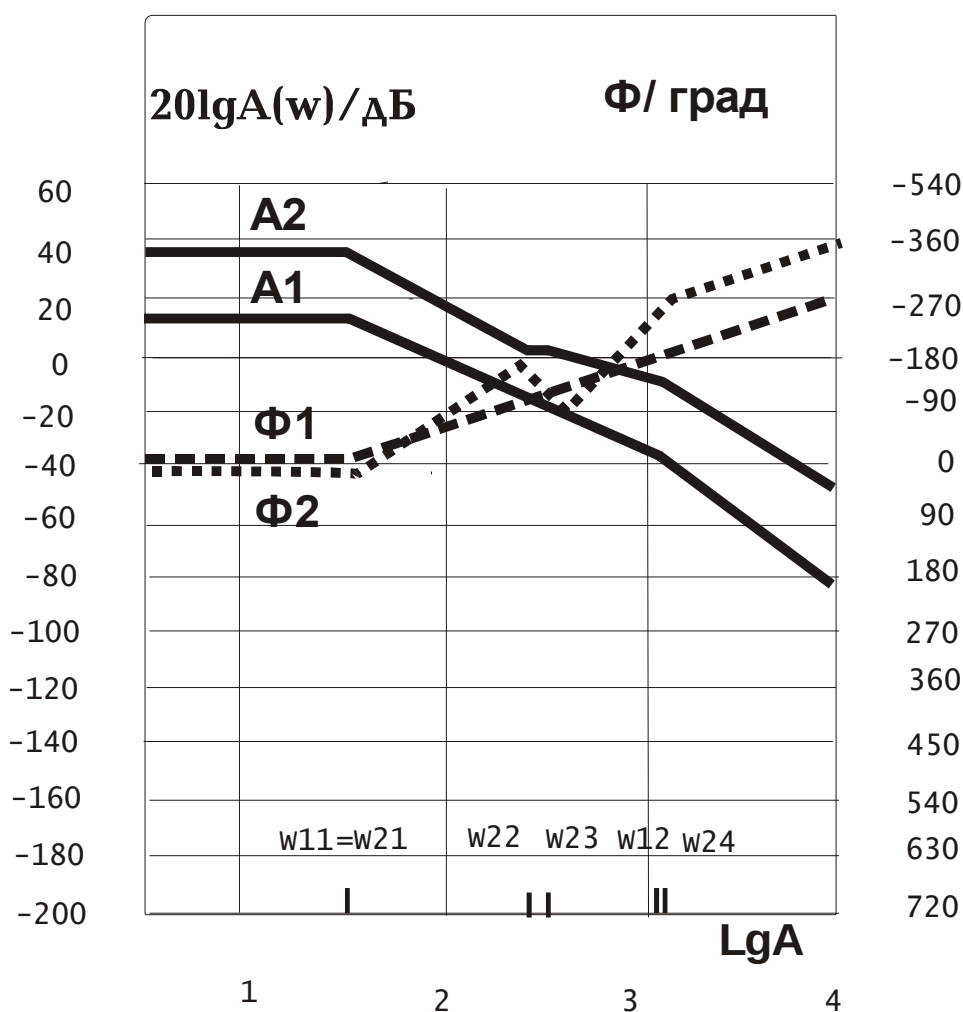


Рис 4.7. Диаграмма Боде.

Из рис.4.7 видно, что с увеличением частоты имеет место опережающее пересечение ЛАЧХ уровня 0 дБ относительно пересечение ЛФЧХ уровня -180 град., что свидетельствует о технической устойчивости обоих контуров с запасом соответственно: по амплитуде около 22 и 18 дБ, а по фазе – приблизительно 170 и 20 град., что позволяет обеспечить вполне стабильную работу данной системы.

4.2.3. Анализ устойчивости импульсной системы управления

Для анализа устойчивости импульсной системы управления запишем уравнение импульсной передаточной функции для разомкнутых

контуров Э1 (без включения звена с передаточной функцией W_4) и Э2, воспользовавшись для этого правилами преобразования схем для импульсных систем управления [101]:

$$W_{p1}(s) = W_1(s)W_2(s)W_3(s)[W_5(s) + W_6(s) + W_7(s)] = \\ = \frac{1980.5e^{-15s}}{s(0.001s + 1)(0.015s + 1)};$$

$$W_{p2}(s) = W_8(s)W_9(s)W_{10}(s)W_{11}(s) = \\ = \frac{1.6e^{-0.01s}}{(0.01s + 1)(0.002s + 1)}$$

$$W_{p1}(s) = W_1(s)W_2(s)W_3(s)[W_5(s) + W_6(s) + W_7(s)] = \\ = \frac{1980.5e^{-15s}}{s(0.001s + 1)(0.015s + 1)};$$

$$W_{p2}(s) = W_8(s)W_9(s)W_{10}(s)W_{11}(s) = \\ = \frac{1.6e^{-0.01s}}{(0.01s + 1)(0.002s + 1)}$$

Далее, проведя z-преобразования полученных выражений, получаем передаточные функции импульсной системы для контуров Э1 и Э2, для чего производим разложение передаточных функций на суммы простейших дробей и затем используем правила z-преобразований [101], учитывая при этом, что частота следования импульсов составляет $T=0,005$ с как для первого, так и для второго контура. Тогда для контура Э1 имеем:

$$W_{p1}(z) = z \left[\frac{1980.5e^{-15s}}{s(0.001s + 1)(0.015s + 1)} \right] = z \left[\frac{1980.5(-7.5s + 1)}{s(0.001s + 1)(0.015s + 1)(7.5s + 1)} \right] = \\ = 1980.5z \left[\frac{1}{s} - \frac{15.3}{0.001s + 1} + \frac{0.016}{0.015s + 1} - \frac{0.000071}{7.5s + 1} \right] = \\ = 1980.5 \left(\frac{z}{z - 1} - \frac{0.071}{z - 0.0067} + \frac{1.067}{z - 0.7165} - \frac{2.004}{z - 0.9993} \right) =$$

$$= \frac{1980.5z(-0.217z^2 + 3.09z - 0.0485)}{z^4 - 2.7225z^3 + 2.45z^2 + 0.7323z + 0.0048};$$

Аналогично для контура Э2:

$$\begin{aligned} W_{p2}(z) &= z \left[\frac{1.6e^{-0.01s}}{(0.01s + 1)(0.002s + 1)} \right] = z \left[\frac{1.6(-0.005s + 1)}{(0.01s + 1)(0.002s + 1)(0.005s + 1)} \right] = \\ &= z \left[\frac{6}{0.01s + 1} - \frac{5.333}{0.002s + 1} + \frac{0.9333}{0.005s + 1} \right] = \\ &= z \left(\frac{600}{z - 0.135} - \frac{1066.7}{z - 0.018} + \frac{466.7}{z - 0.000045} \right) = \\ &= \frac{61.8z^2 + 127z}{z^3 - 0.153z^2 + 0.00243z - 10.9 \cdot 10^{-8}}. \end{aligned}$$

Теперь можно вычислить вспомогательные функции [104]:

$$\zeta_1(z) = 1 + W_{p1}(z) = \frac{z^4 - 432.49z^3 + 6122.2z^2 - 96.79z + 0.0048}{z^4 - 2.7225z^3 + 2.45z^2 + 0.7323z + 0.0048};$$

$$\zeta_2(z) = 1 + W_{p2}(z) = \frac{z^3 - 61.65z^2 + 0.93z - 10.9 \cdot 10^{-8}}{z^3 - 0.153z^2 + 0.00243z - 10.9 \cdot 10^{-8}}.$$

Таким образом, найдены характеристические уравнения и их коэффициенты для импульсной системы управления для контура Э1.

$$D_1(z) = z^4 - 432.49z^3 + 6122.2z^2 - 96.79z + 0.0048;$$

$$a_1 = -432.49; a_2 = 6122.2; a_3 = -96.79; a_4 = 0.0048.$$

Для контура Э2 характеристическое уравнение и его коэффициенты будут такими:

$$D_2(z) = z^3 - 61.65z^2 + 0.93z - 1.09 \cdot 10^{-7};$$

$$a_1 = -61.65; a_2 = 0.93; a_3 = -1.09 \cdot 10^{-7}.$$

Для определения устойчивости импульсных систем управления воспользуемся критерием Шур-Кона, который является аналогом критерия Гурвица для импульсных систем, для чего необходимо найти значения определителей, составленных по следующей схеме [104]:

$$\Delta_k = \begin{vmatrix} a_n & 0 & 0 & \dots & 0 & 1 & a_1 & a_2 & \dots & a_{k-1} \\ a_{n-1} & a_n & 0 & \dots & 0 & 0 & 1 & a_1 & \dots & a_{k-2} \\ a_{n-2} & a_{n-1} & a_n & \dots & 0 & 0 & 0 & 1 & \dots & a_{k-3} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_{n-k+1} & a_{n-k+1} & a_{n-k+1} & \dots & a_n & 0 & 0 & 0 & \dots & 1 \\ 1 & 0 & 0 & \dots & 0 & a_n^* & a_{n-1}^* & a_{n-2}^* & \dots & a_{n-k+1}^* \\ a_1^* & 1 & 0 & \dots & 0 & 0 & a_n^* & a_{n-1}^* & \dots & a_{n-k+2}^* \\ a_2^* & a_1^* & 1 & \dots & 0 & 0 & 0 & a_n^* & \dots & a_{n-k+3}^* \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_{k-1}^* & a_{k-2}^* & a_{k-3}^* & \dots & 1 & 0 & 0 & 0 & \dots & a_n^* \end{vmatrix},$$

где $k=1,2,3, \dots, n$;

a_1^*, a_2^*, a_n^* – сопряженные значения коэффициентов.

Найдем определители Шур-Кона для контура Э1:

$$\Delta_1 = \begin{vmatrix} a_4 & 1 \\ 1 & a_4 \end{vmatrix} = -0,999 < 0;$$

$$\Delta_2 = \begin{vmatrix} a_4 & 0 & 1 & a_1 \\ a_3 & a_4 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & a_4 & a_3 \\ a_1 & 1 & 0 & a_4 \end{vmatrix} = 37481327,5 > 0;$$

$$\Delta_3 = \begin{vmatrix} a_4 & 0 & 0 & 1 & a_1 & a_2 \\ a_3 & a_4 & 0 & 0 & 1 & a_1 \\ a_2 & a_3 & a_4 & 0 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 0 & a_4 & a_3 & a_2 \\ a_2 & 1 & 0 & 0 & a_4 & a_3 \\ a_1 & a_2 & 1 & 0 & 0 & a_4 \end{vmatrix} = -27261224871,33 < 0;$$

$$\Delta_4 = \begin{vmatrix} a_4 & 0 & 0 & 0 & 1 & a_1 & a_2 & a_3 \\ a_3 & a_4 & 0 & 0 & 0 & 1 & a_1 & a_2 \\ a_2 & a_3 & a_4 & 0 & 0 & 0 & 1 & a_1 \\ a_1 & a_2 & a_3 & a_4 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & a_4 & a_3 & a_2 & a_1 \\ a_1 & 1 & 0 & 0 & 0 & a_4 & a_3 & a_2 \\ a_2 & a_1 & 1 & 0 & 0 & 0 & a_4 & a_3 \\ a_3 & a_2 & a_1 & 1 & 0 & 0 & 0 & a_4 \end{vmatrix} = 24642178460389472,056 > 0.$$

Найдем определители Шур-Кона для контура Э2:

$$\Delta_1 = \begin{vmatrix} a_3 & 1 \\ 1 & a_3 \end{vmatrix} \approx -1 < 0;$$

$$\Delta_2 = \begin{vmatrix} a_3 & 0 & 1 & a_1 \\ a_2 & a_3 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & a_3 & a_2 \\ a_1 & 1 & 0 & a_3 \end{vmatrix} = 0,135 > 0;$$

$$\Delta_3 = \begin{vmatrix} a_3 & 0 & 0 & 1 & a_1 & a_2 \\ a_2 & a_3 & 0 & 0 & 1 & a_1 \\ a_1 & a_2 & a_3 & 0 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 0 & a_3 & a_2 & a_1 \\ a_2 & 1 & 0 & 0 & a_3 & a_2 \\ a_1 & a_2 & 1 & 0 & 0 & a_3 \end{vmatrix} = -17,5 < 0.$$

Так как для обоих контуров нечетные определители отрицательны, а четные – положительные, то обе системы являются устойчивыми, а следовательно, предложенная схема будет работоспособной.

4.3 Результаты испытаний предпосевного лазерного импульсного облучения семян овощных культур в производственных условиях

Производственные испытания разработанной приставки и соответствующих режимов импульсного лазерного предпосевного облучения

семян проводились в тепличном хозяйстве ТОВ им Котовского Токмакского района Запорожской области (см. также протокол производственных испытаний в Приложении Д). Приобретенные хозяйством семена овощных культур, а также партия семян, оставшаяся от предыдущего сезона (со сниженными ПКС), обозначенная в табл. 4.2 как партия 2, были за 10 дней до посева в грунт подвергнуты облучению на лазерной установке ЛГ-38 с приставкой для обработки семян, описанной в предыдущих подразделах данного раздела. Затем отобранные через 7 дней после обработки согласно существующим процедурам [6, 26] пробы обработанных семян вместе с контрольными пробами необработанных семян из той же партии были переданы в нумерованных пакетах (без указания на обработку или ее отсутствие) для анализа на Акимовскую сортоиспытательную станцию, где для них определялись согласно существующей стандартной процедуре (которая была описана в предыдущем разделе) их ПКС, а именно ЛВ и ЭП. Протокол испытаний приведен в Приложении В, а основные данные о результатах – в табл. 4.3.

Сами партии семян для части культур (исходя из имеющихся возможностей хозяйства), включая и контрольную группу, были посеяны в грунт, а затем полученные из них растения выращивались в указанном хозяйстве в одинаковых условиях по существующей технологии. После рассаживания растений, полученных из необработанных и обработанных семян по разным секциям тех же теплиц полученный от них урожай учитывался нарастающим итогом и затем (из-за разной площади занимаемых растениями секций) перерассчитывался на единицу полезной площади (1 м^2) каждой секции теплицы.

Результаты производственных испытаний ПКС.

Семенной материал		ПКС	
Культура, сорт	Партия, обозначение	ЛВ	ЭП
Огурцы Конкурент, партия 1	Обработанная, 1ОК	97	86
	Контрольная, 2ОК	92	70
Огурцы Конкурент, партия 2	Обработанная, 3ОК	92	74
	Контрольная, 4ОК	77	58
Огурцы Родничок, партия 1	Обработанная, 1ОР	97	84
	Контрольная, 2ОР	93	75
Огурцы Родничок, партия 2	Обработанная, 3ОР	94	77
	Контрольная, 4ОР	81	65
Томаты Розовый Гигант, партия 1	Обработанная, 1ТРГ	97	74
	Контрольная, 2ТРГ	92	55
Томаты Розовый Гигант, партия 2	Обработанная, 3ТРГ	91	71
	Контрольная, 4ТРГ	75	52
Перец Подарок Молдовы	Обработанная, 1ППМ	95	64
	Контрольная, 2ППМ	85	53
Перец Подарок Молдовы, партия прошлых лет	Обработанная, 3ППМ	87	52
	Контрольная, 4ППМ	76	40
Баклажаны Донецкий урожайный	Обработанная, 1БДУ	90	68
	Контрольная, 2БДУ	78	57

Цель этой части испытания заключалась в исследовании возможного влияния обработки семян на урожайность полученных из них растений. Полученные результаты подтверждены актом производственных испытаний (Приложение Д) и обобщены в табл. 4.4.

Как видно из полученных результатов, производственные испытания подтвердили полученные при лабораторных исследованиях результаты по повышению ПКС после предпосевного импульсного лазерного облучения. Таким образом, указанное повышение ЛВ даже для семян 1 класса на 4-8% дает возможность снизить на соответствующую величину норму высева семян, а также использовать те семена, которые находились в страховых фондах прошлых лет при условии докритического снижения их ПКС.

Таблица 4.4 -

Урожайность растений, полученных из испытанных семян.

Партия	1ОК	2ОК	3ОК	4ОК	1ТРГ	2ТРГ	3ТРГ	4ТРГ	1ППМ	2ППМ
Урожайность, кг/м ²	35,5	32,3	32,0	27,9	32,3	28,1	28,3	25,6	8,5	8,0

Производственные испытания также указывают на положительное влияние предпосевного импульсного лазерного облучения семян на урожайность полученных из них растений, что можно объяснить эффектом ускорения развития на первой стадии – прорастании. Практическое равенство урожая растений, полученных из семян из страховых фондах прошлых лет после предпосевной обработки с контрольной группой подтверждает возможность использования указанных семян после обработки без снижения урожайности.

Техническая документация, опытный образец лазерной приставки и рекомендации по режимам предпосевного облучения семян овощных

культур переданы для внедрения в производство в НПО “Селта”, г. Симферополь (Приложение К).

4.4. Определение экономической эффективности внедрения технологий предпосевного импульсного лазерного облучения семян овощных культур

Экономический эффект от внедрения приставки рассчитаем исходя из уменьшения нормы высева, которое принимаем в среднем в $\Delta=5\%$. Следует заметить, что в результате повышения урожайности растений, выращенных из обработанных семян, также будет получен дополнительный доход, однако его трудно учесть из-за значительных колебаний цен на продукцию и трудность учета неизбежных дополнительных затрат.

Годовой экономический эффект можно определить как

$$\mathcal{E}_r = V (\Delta/100) C, \quad (4.8)$$

где V – объем обрабатываемых за год семян, кг/год;

C – стоимость 1 кг семян.

Срок окупаемости приставки можно определить как

$$T = K/\mathcal{E}_r, \quad (4.9)$$

где K – стоимость приставки, грн.

Подставив (4.8) в (4.9) получим:

$$T = K/V (\Delta/100) C. \quad (4.10)$$

Поскольку по данным изготовителя $K=950$ грн., стоимость 1 кг семян огурцов Конкурент (по данным хозяйства) составляет 1800 гривен, а

1 кг семян томатов Розовый Гигант составляет 12000 гривен, то можно построить зависимость срока окупаемости от V – объем обрабатываемых за год семян, кг/год, что сделано на рис. 4.8 для огурцов и томатов. Следует напомнить, что использование приставки позволяет обработать до 10 кг семян огурцов и до 5 кг томатов за неделю, поэтому срок окупаемости зависит главным образом от привлеченных для обработки семян в течении срока перед посевом и распределении этих сроков в прилегающих тепличных хозяйствах. При достижении указанных объемов срок окупаемости составит соответственно 1,06 и 0,32 года.

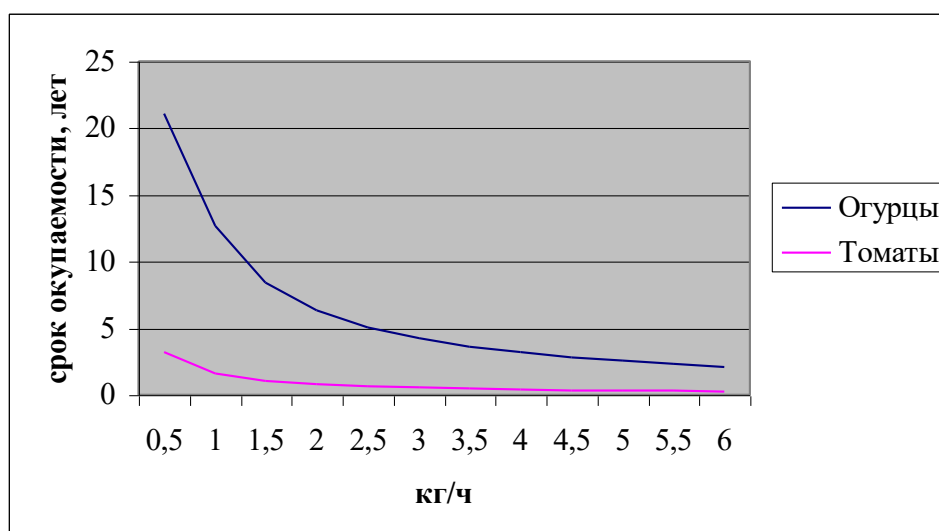


Рис. 4.8 - Определение срока окупаемости приставки.

Выводы по разделу

1. Разработана конструкция лазерной приставки для предпосевного импульсного облучения семян овощных культур.
2. Выполнен анализ устойчивости работы системы, который подтвердил работоспособность предложенной конструкции лазерной приставки и импульсной схемы управления..

3. Производственные испытания разработанной приставки подтвердили ее эффективность для улучшения ПКС при повышении урожайности полученных растений на 6-9%, что позволяет рекомендовать снижение норм высева обработанных семян на 4-8%.

4. Экономические расчеты подтвердили целесообразность использования разработанной приставки. Использование приставки позволяет обработать до 10 кг семян огурцов и до 5 кг томатов за неделю, поэтому срок окупаемости зависит от привлеченных для обработки семян в течение срока перед посевом. При достижении указанных объемов срок окупаемости составит соответственно 1,06 и 0,32 года.

ОБЩИЕ ВЫВОДЫ

В диссертации приведено решение научной задачи повышения эффективности предпосевного импульсного лазерного облучения семян овощных культур. На основании проведенных исследований можно сделать такие основные выводы.

1. Для повышения урожайности овощных культур целесообразно использование предпосевной стимуляции их семян. Наиболее перспективным способом такой стимуляции является импульсное лазерное облучение диапазона красного света с длиной волны 630-680 нм, который посредством фитохромной системы семян оказывает стимулирующее воздействие на их посевные качества.

2. Проведенный анализ модели действия фитохрома в процессе облучения семян показывает большую эффективность импульсного облучения в сравнении с непрерывным.

3. На основании анализа зависимостей ПКС от параметров облучения в виде уравнений регрессии, полученных при проведении экспериментов, установлено, что для всех исследованных сортов овощных культур наиболее целесообразным является принятие режимов предпосевного облучения семян, при которых обеспечивается плотность энергии около $6,7 \text{ мВт/см}^2$, период следования импульсов около 250 мс, при изменении числа импульсов в зависимости от вида и сорта культуры для облучаемых семян вне зависимости от их исходных ПКС.

4. Применение указанных режимов облучения дает возможность повышения ПКС до уровня 1-го класса для семян, соответствующих по исходным ПКС уровню 2-го класса, и повышения ПКС до уровня 2-го класса для семян, исходные ПКС которых не более чем на 15-20% по ЛВ ниже уровня 2-го класса.

5. Установлено, что для осуществления указанных режимов облучения наиболее целесообразным будет создание устройства в виде специализированной приставки к промышленно выпускаемой универсаль-

ной лазерной установки с применением волоконно-оптического преобразователя типа «пятно-линия» с прерывающим устройством типа обюртатора с постоянной скоростью вращения, при относительном перемещении преобразователя и обрабатываемого материала только в одном направлении.

6. Предложена конструкция лазерной приставки и разработана импульсная система управления ею на базе шагового двигателя ДШИ 200-1 с импульсным микропроцессорным управлением, что обеспечивает точность перемещения облучателя с ошибкой не более 4 % от величины шага без накопления ошибки и позволяет реализовывать обоснованные ранее режимы предпосевного облучения семян.

7. Производственные испытания разработанной приставки подтвердили ее эффективность для улучшения ПКС при повышении урожайности полученных растений на 6-9%, что позволяет рекомендовать снижение норм высева обработанных семян на 4-8%.

8. Экономические расчеты подтвердили целесообразность использования разработанной приставки. Использование приставки позволяет обработать до 10 кг семян огурцов и до 5 кг томатов за неделю, поэтому срок окупаемости зависит от привлеченных для обработки семян в течение срока перед посевом. При достижении указанных объемов срок окупаемости составит соответственно 1,06 и 0,32 года.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Яковенко К.І. Овочівництво України на порозі ХХІ століття // Вісн. агр. науки.-2000. - №8. - С. 21-24.
2. Агропромисловий комплекс України: стан та перспективи розвитку (1990-2000).- К.: ІАЕ УААН, 1999. - 335 с.
3. Щоткін В. Перспективи розвитку овочівництва закритого ґрунту // Пропозиція. - 2000. - №1. - С. 48-50.
4. Статистичний щорічник України за 2000 рік / За ред. О.Г. Осауленка. – К. Техніка. – 2001. – 598 с.
5. Криворучко В.І., Скупий В.М. Овочівництво України в умовах перехідної економіки. – К.: ІАЕ. - 1999. - 56 с.
6. Довідник по насінництву овочевих і баштанних культур / Ф.А. Ткаченко, М.С. Єфімов, Г.Ю. Берьозкіна та ін.; За ред. Ф.А. Ткаченка, М.С. Єфімова. – К.: Урожай, 1987. – 216 с.
7. Макрушин Н.М., Хлевная Г.М., Черемха Б.М., Шабанов М.Ю., Турин Е.Н. Изучение действия регуляторов роста на качество семян и продуктивность овощных растений и клевера // Науч. тр. КГУ.- Вып.66. С.-х. науки. – Симферополь: 2000. - С. 285-289.
8. Литвинов С.С., Лудилов В.А. Как вывести семеноводство овощных культур из кризиса // Картофель и овощи. - 2000. - №1. - С. 26-27.
9. Литвинов С.С., Микаэлян Г. Основные принципы и методологические аспекты формирования овощного комплекса России// Достижения науки и техники АПК. - 2002. - №1. - С. 2-8.
10. Предпосевная обработка семян зерновых культур оптическим излучением: Методические рекомендации. - Новосибирск: СибНИИМЭ, 1977. - 25 с.

- 11.Скварко К.О. Лазерна активація насіння. Перспективи, рекомендації. – Львів: ЛДУ, 1994. – 52 с.
- 12.Болотских А.С. Технологические процессы возделывания овощных культур: Учеб. пособие / Харьк. с.-х. ин-т им. В.В. Докучаева. – Харьков: ХСХИ, 1990. – 87 с.
- 13.Физиология и биохимия покоя и прорастания семян / Пер. с англ. Н.А. Аскоческой, Н.А. Гумилевской, Е.П. Заверткиной, Э.Е. Хавкиной / Под ред. М.Г. Николаевой и Н.В. Обручевой . – М.: Колос, 1982. – 495 с.
- 14.Эмбриология растений: использование в генетике, селекции, биотехнологии: в 2 томах. Т. 2./ Пер. с англ. Н.П. Матвеевой, Э.С. Терехина и др.; Под ред. И.П. Ермакова. – М.: Агропромиздат, 1990. – 463 с.
- 15.Ижик Н.К. Полевая всхожесть семян. – К.: Урожай, 1976. – 200 с.
- 16.Макрушин Н.М., Маркушина Е.М., Маласай В.М. Философская и биологическая сущность качества семян // Науч. тр. КГУ.- Вып.66. С.-х. науки. - Симферополь, 2000.- С.111-115.
- 17.Ghersa C.M., Martinezghersa M.A., Benecharnold R.L. Seed dormancy implications in grain and forage production // Journal of Production Agriculture. – 1997. - 10(1). - P. 111-117.
- 18.Пантелеев Н.Х. Рациональная технология посева семян овощных культур // Вестник с.-х. науки. – 1987. - №8. – С. 60-62.
- 19.Пантелеев Я.Х. Пригородное овощеводство. – М.: Колос, 1981. – 383 с.
- 20.Лихацький В.І., Бургарт Ю.Є. Овочівництво: Практикум. – К.: Вища шк., 1994. – 366 с.
- 21.Физиология и биохимия сельскохозяйственных растений / Н.Н. Третьяков, Е.И. Кошкин, Н.М. Макрушин и др.; под ред. Н.Н. Третьякова. - М.: Колос, 1998. – 640 с.
- 22.Строна И.Г. Общее семеноводство полевых культур. – М.: Колос,

1966. – 440 с.
23. Abdul-Baki A.A., Anderson J.D. Physiological and biochemical deterioration of seeds. / Kozlowsky T.T.(ed) Seed biology, vol. II. Germination control, metabolism and pathology. – New York: Academic Press, 1972. – P. 328-315.
 24. Справочник по семеноводству / Н.В. Лобода, Б.А. Весна, М.М. Сирота и др.; Под ред. Н.В. Лободы; Сост. М.М. Сирота. - К.: Урожай, 1991. – 352 с.
 25. Кулешов Н.И. Агрономическое семеноведение. – М.: Сельхозиздат, 1963. – 386 с.
 26. Международные правила анализа семян / Пер. с англ. Н.Н. Антошкиной; Предисл. К.А. Морозовой. – М.: Колос, 1984. – 310 с.
 27. Каменир Э.И. Физические параметры семян и их структурных элементов. – Челябинск: ЧГАУ, 1992. – 72 с.
 28. Mayer A. M., Poljakoff - Mayber A. The germination of seeds. - New York: Pergamon Press, 1975. – 446 p.
 29. Николаева М.Г. Физиология глубокого покоя семян. – Л.: Наука, 1967.-207 с.
 30. Villiers T. A. Seed dormancy / Seed biology (T. T. Kozlowski, ed.), vol. II. - New York — London: Academic Press, 1972. . - P. 219—281.
 31. Bewley J.D., Black M. Physiology and biochemistry of seeds in relation to germination. V. 1. – Berlin – Heidelberg – New York: Shpringer-Verlag, 1978. – 482 p.
 32. Бартон Л. Хранение семян и их долговечность. Пер. с англ.. – М.: Колос, 1964. – 240 с.
 33. Koller D., Mayer A. M., Poljakoff - Mayber A., Klein S. Seed germination. // Annual Rev. Plant Physiol. - 1962. – 13. – P. 437-457.
 34. Vegis A. Dormancy in higher plants. // Annual Rev. Plant Physiol. - 1964. – 15. – P. 185-224.

35. Buhler D.D. Effects of tillage and light environment on emergence of 13 annual weeds // *Weed Technology*. - 1997. - 11(3). - P. 496-501.
36. Flint L.H., McAlister A. Wave lengths of radiation in the visible spectrum promoting the germination of light-sensitive lettuce seed // *Simthsonian Inst. Misc. Collections* – 1937. – V. 96. – P. 1-8.
37. Carmona R., Murdoch A.J. Interactions of temperature and dormancy-relieving compounds on the germination of weed seeds // *Seed Science Research*. - 1995. - № 5(4). - P. 227-236.
38. Dyer W.E. Exploiting weed seed dormancy and germination requirements through agronomic practices // *Science*. - 1995. - № 43(3). - P. 498-503.
39. Khurana J.P., Kochhar A., Tyagi AK. Photosensory perception and signal transduction in higher plants – molecular genetic analysis [review] // *Critical Reviews in Plant Sciences*. - 1998. - № 17(5). - P. 465-539.
40. Casal J.J., Sanchez R.A. Phytochromes and seed germination [review] // *Seed Science Research*. - 1998. - № 8(3). - P. 317-329.
41. Andersson L., Milberg P., Noronha A. Germination response of weed seeds to light, light of short duration and darkness after stratification in soil // *Swedish Journal of Agricultural Research*. - 1997. - № 27(3). - P. 113-120.
42. Casal J.J., Sanchez R.A., Botto J.F. Modes of action of phytochromes [review] // *Journal of Experimental Botany*. - 1998. - № 49(319). - P. 127-138.
43. Thomas T.H., Hare P.D., Vanstaden J. Phytochrome and cytokinin responses [review] // *Plant Growth Regulation*. - 1997. - 23(1-2). - P. 105-122.
44. Fankhauser C., Chory J. Light control of plant development [review] // *Annual Review of Cell & Developmental Biology*. - 1997. - 13. - P. 203-229.

45. Кукушкин В.П., Числова Н.М., Бахтияров Р.С. Исследование температурной зависимости ингибирования прорастания семян огурца монохроматическим красным светом // Повышение продуктивности овощных и цветочных культур в защищенном грунте. – М.: ВСХИЗО, 1990. – С. 23-26.
46. Vantuinen A., Kerckhoffs L.H.J., Nagatani A., Kendrick R.E., Koornneef M. Far-red light-insensitive, phytochrome a-deficient mutants of tomato // *Molecular & General Genetics*. – 1995 - 246(2). – P. 133-141.
47. Casal J.J., Sanchez R.A., Yanovsky M.J. The function of phytochrome A // *Plant Cell & Environment*. – 1997. - 20(6) – P. 813-819.
48. Furuya M., Schafer E. Photoperception and signalling of induction reactions by different phytochromes // *Trends in Plant Science*. – 1996. - 1(9). – P. 301-307.
49. Yambe Y., Takeno K., Saito T. Light and phytochrome involvement in *rosa multiflora* seed germination // *Journal of the American Society for Horticultural Science*. – 1995. - 120(6). - P. 953-955.
50. Botto J.F., Scopel A.L., Ballare C.L., Sanchez R.A. The effect of light during and after soil cultivation with different tillage implements on weed seedling emergence // *Weed Science*. – 1998. - 46(3). – P. 351-357.
51. Jensen P.K. Effect of light environment during soil disturbance on germination and emergence pattern of weeds // *Annals of Applied Biology*. – 1995. - 127(3). – P. 561-571.
52. Lazarova G.I., Kerckhoffs L.H.J., Brandstadter J., Matsui M., Kendrick R.E., Cordonnierpratt M.M., Pratt L.H. Molecular analysis of phyA in wild-type and phytochrome A-deficient mutants of tomato // *Plant Journal*. – 1998. - 14(6). – P. 653-662.
53. Сабо А.Г. Активация репаруючих механізмів у старіючому насінні при імпульсному опроміненні лазером // Труды Таврической государственной агротехнической академии – Вып.1., Т. 8. - Мелито-

- поль: ТГАТА, 1998. – С. 99-102.
54. Интенсификация тепловых процессов подготовки семян к посеву энергией ВЧ и СВЧ (рекомендации) / Под ред. Т.А. Ищенко. – М.: ВО «Агропромиздат», 1989. – 39 с.
 55. Состояние и перспективные направления в развитии машин для защитно-стимулирующей обработки семян в СССР и за рубежом. Обзор. – М.: ЦНИИТЭИ тракторсельмаш, 1973. – 18 с.
 56. Методы и техника для предпосевной стимуляции семян сельскохозяйственных культур. Обзор. – М.: ЦНИИТЭИ тракторсельмаш, 1985. – 18 с.
 57. Гелиотехнические исследования в советско-гвинейском научно-исследовательском центре. Обзорная информация. – М.: Информ-энерго, 1986. – 52 с.
 58. Діордієв В.Т., Васи́лішин Р.В. Порівняння основних методів передпосівної стимуляції насіння овочевих культур // Праці Таврійської державної агротехнічної академії – Вип.5. – Мелітополь: ТДАТА, 2002. – С. 21-25.
 59. Кушніренко А.Г. Передпосівний обробіток насіння в електромагнітному полі: Автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.20.02 / Ін-т механ. і електриф. с.-г., Укр. держ. аграр. ун-т. – К., 1993. – 18 с.
 60. Синецкий В.Г., Бессаратова В.І. Передпосівна електромагнітна обробка насіння // Вісник аграрної науки. – 1994. - №3. – С. 93-96.
 61. Тюр А.А., Камалотдинова Р.Н. Электрообработка семян. // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 1990. - №4. – С. 18-19.
 62. Седова Т.Е. Эффективность гамма-облучения семян // Селекция и семеноводство. – 1982. - №9. – С. 22-23.
 63. Серегина Н.Г., Орлов В.В., Батыгин Н.Ф. Стабильность воспроизведения стимуляционного эффекта при предпосевном облучении семян сельскохозяйственных растений // Радиобиология. – 1977. -

Т. 22, Вып. 4. – С. 507-511.

- 64.Бахтияров Р.С., Симонова Л.И. К вопросу об устойчивости эффекта фотоактивирования семян огурца излучением гелий-неоновых лазеров // Повышение продуктивности овощных и цветочных культур в защищенном грунте. – М.: ВСХИЗО, 1990. – С. 39-44.
- 65.Рубин А.В. Об использовании лазеров в биологических исследованиях // С.х. биология. – М.: 1977. – Т.12, № 5. – С. 757-767.
- 66.Дудин Г.П., Логинов Д.А., Кривошеина О.С. Облучение семян ячменя лазером и красным светом // Земледелие. – 1995. - №1. – С. 33.
- 67.Якобенчук В.Ф. Эффективность лазерного облучения семян // Вестник с.-х. науки. – 1989. - №4. – С. 123-128.
- 68.Урусбаев К.У. Лазерная активация // Кукуруза и сорго. – 1990. - №2. – С. 20.
- 69.Негруппкий С.Ф., Сычев П.А., Минаев Г.Д. и др. Предпосевное светимпульсное и лазерное облучение семян огурца (методические рекомендации). – Донецк; 1981. – 8 с.
- 70.Бахтияров Р.С., Числова Н.П. Предпосевная лазерная обработка семян огурца // Достижения науки и техники АПК. – 1988. - №2. – С. 22.
- 71.Копин А.Г., Стацкевич Л.К. Лазерное облучение и урожай // Сельское хозяйство Белоруссии. – 1987. - №3. – С. 25.
- 72.Петров Е.П. Светостимуляция семян томата // Картофель и овощи. – 1978. - №9. – С. 37-38.
- 73.Китлаев Б.Н. Теоретические и прикладные аспекты фотоэлектрических воздействий на семена и растения // Механизация и электрификация сельского хозяйства. - 1982. - №4. – С. 21-26.
- 74.Бахтияров Р.С., Симонова Л.И. Сортосвая чувствительность семян огурцов к фотоактивированию излучением гелий-неоновых лазеров // Методы предпосевной обработки семян с.-х. культур элек-

- ромагнитными полями. – М.: ВСХИЗО, 1989. – С. 29-33.
- 75.Зайцев В.Н., Свентицкий И.И. Оценка действия оптического излучения на растения // Механизация и электрификация социалистического сельского хозяйства. - 1979. - №12. – С. 10-12.
- 76.Китлаев Б.Н. Биофизические аспекты перспективных электротехнологий в растениеводстве // Основные вопросы энергетики в защищенном грунте. – М.: ВИЭСХ, 1982.- С. 65-72.
- 77.Счастливец Н.Г., Дудкин Г.П., Бизяева Н.И. Стимулирующая обработка семян огурца лазером // Картофель и овощи. – 1979. - №8. – С. 33.
- 78.Николаева М.Г. Некоторые итоги изучения покоя семян // Ботанический журнал. – 1977. - №9(62). – С. 1350-1367.
- 79.Марри Дж. Нелинейные дифференциальные уравнения в биологии. Лекции о моделях: Пер. с англ. – М.: Мир, 1983. – 397 с.
- 80.Heineken F.G., Tsuchiya H.M., Aris R. On the mathematical status of the pseudo-steady state hypothesis of biochemical kinetic // Math. Biosci. – 1967. - №1. – P. 95-113.
- 81.Мартынченко В.С. Операционное исчисление. – К.: Изд. Киевского ун-та, 1965. – 188 с.
- 82.Диткин В.А., Прудников А.П. Операционное исчисление. – М.: Высшая школа, 1975. – 407 с.
- 83.Василішин Р.В. Моделювання дії фітохрому при передпосівному лазерному опроміненні насіння для визначення основних параметрів режимів опромінення // Вісник Харківського державного технічного університету сільського господарства. – Вип. 10. “Проблеми енергозабезпечення та енергозбереження в АПК України”. – Харків: ХДТУСГ, 2002. – С. 145-151.
- 84.Соломина И.П. Облучение семян огурца импульсным концентрированным электрическим светом // Картофель и овощи. – 1976. - №11. – С. 30-31.

85. Вассерман А.Л., Волков А.А., Квашин Г.Н., Яковлев С.В. Установка для импульсного облучения семян растений // Светотехника. – 1986. - №4. – С. 6-8.
86. Пат. №63403 А Україна, МКВ⁷ А01С1/00, Спосіб передпосівної стимуляції насіння лазерним опроміненням / Василюшин Р.В, Діордієв В.Т., Сабо А.Г.. (Україна). - №2003043356; Опубл. 15.01.2004, Бюл. №1.
87. Румшицкий Л.З. Математическая обработка результатов эксперимента. – М.: Наука, 1971. – 192 с.
88. Корн Г., Корн Т. Справочник по математике для научных работников и инженеров. - М.: Наука, 1984. – 831 с.
89. Мельников С.В., Алешкин В.Р., Рощин П.М. Планирование эксперимента в исследованиях сельскохозяйственных процессов. - Л.: Колос, 1980. – 168 с.
90. Маркова Е.В., Лисенков А.Н. Планирование эксперимента в условиях неоднородностей. – М.: Наука, 1973. – 218 с.
91. Глушков С.В., Сурядный А.С. Microsoft Office 2000; Учебный курс. – Харьков: Фолио; М.: АСТ, 2001. – 500 с.
92. Василюшин Р.В. Стимуляція схожості насіння овочевих культур при передпосівному лазерному імпульсному опроміненні. Зб. наук. пр.: Праці Таврійської державної агротехнічної академії. - Вип. 1. Т.24 - Мелітополь, ТДАТА, 2001. - С. 108-111
93. Діордієв В.Т., Василюшин Р.В. Використання низькоінтенсивного імпульсного лазерного випромінювання для передпосівної обробки насіння овочевих культур. // Матеріали XVIII Міжнародної науково-практичної конференції "Применение лазеров в медицине и биологии" – Ялта, "Лазер и Здоровье", 2002. – С. 56-57.
94. Вейнберг В.Г., Саттаров Д.К. Оптика светодиодов. – Л.: Машиностроение, 1978. - 320 с.

- 95.Діордієв В.Т., Василюшин Р.В. Розробка пристрою для імпульсного лазерного передпосівного опромінення насіння овочевих культур. Зб. наук. пр.: Праці Таврійської державної агротехнічної академії. - Вип. 19. - Мелітополь, ТДАТА, 2004. - С. 66-72.
96. <http://www.lasermotion.com/StepMotor.html>
- 97.Воронов Б. Теория автоматического управления. Ч II. Теория нелинейных и специальных систем автоматического управления / Под ред. А.А. Воронова. – М.: Высш. школа, 1977. – 288 с.
- 98.Мартыненко И.И., Лысенко В.Ф. Проектирование систем автоматики. – М.: Агропромиздат, 1990. – 243 с.
- 99.Василюшин Р.В., Діордієв В.Т., Сабо А.Г. Визначення оптимальних технологічних режимів для імпульсного лазерного передпосівного опромінення насіння овочевих культур. Вісник Харківського державного технічного університету сільського господарства "Проблеми енергозабезпечення та енергозбереження в АПК України". – Харків, ХДТУСГ, 2003. – Вип. 19, Т.1.- С. 177-182.
- 100.Діордієв В.Т. Дослідження параметрів виконавчих механізмів системи автоматизації малогабаритних комбікормових агрегатів// : Праці Таврійської державної агротехнічної академії. – Вип. 1., Т. 11. – Мелітополь, ТДАТА, 1999. – С. 13-17.
101. Иващенко Н.Н. Автоматическое регулирование. Теория и элементы систем. – М.: Машиностроение, 1973. – 606 с.
- 102.Ратмиров В.А., Ивоботенко Б.А. Шаговые двигатели для систем автоматического управления. – М.- Л.: Госэнергоиздат,1962.-128 с.
- 103.Гейлер Л.Б. Введение в теорию автоматического регулирования. – М.: Наука и техника, 1967. – 526 с.
- 104.Автоматика и управление в технических системах: В 11 кн. / Отв. ред. С.В. Емельянов, В.С. Михалевич. – К.: Вища шк., 1992. – Кн. 5. Теория автоматического управления. Ч. 2. Нелинейные, импуль-

сные и стохастические системы автоматического управления / Под ред. В.Б. Яковлева. – 215с.

- 105.Діордієв В.Т., Василішин Р.В. Дослідження роботи лазерної приставки для передпосівної обробки насіння овочевих культур // Зб. наук. пр.: Праці Таврійської державної агротехнічної академії. – Вип. 25.– Мелітополь, ТДАТА, 2005, – С. 141 –150
- 106.Очков В.Ф. Mathcad 8 Pro для студентов и инженеров. – М.: Компьютер Пресс, 1999. – 523 с.

ПРИЛОЖЕНИЯ

Приложение Б

Управляющая программа работой лазерной приставки
(на базе контроллера PIC16F84A-04)

1/ HEAD

```

CONSTANT timer_key = .100
    CONSTANT Byte_ind1 = 2
    CONSTANT Byte_ind2 = 1
    CONSTANT Byte_ind3 = 0

```

```

bot    equ    0ch
;bank 0
gie    equ    7
c      equ    0
r      equ    1
w      equ    0
indf   equ    00
tmr0   equ    01
pcl    equ    02
status equ    03
fsr    equ    04
porta  equ    05
portb  equ    06
eedata equ    08
eeadr  equ    09
pch    equ    0a
intcon equ    0b

```

```

;bank 1
_option equ    01
trisa   equ    05
trisb   equ    06
eecon1  equ    08
eecon2  equ    09
rp0     EQU    H'0005'

```

```

;*****

```

```

    cblock  bot
        LOOP1          ;
        LOOP2          ;
        LOOP3          ;
        setLOOP1       ;
        setLOOP2       ;
        setTempLOOP1   ;
        setTempLOOP2   ;
        temp           ;
        temp_line      ; '00001111' для линии ШД
        number_step
        flag_reg

```

```

end_cleang
endc

```

```

#define carry    status,0 ;признак переноса
#define zero     status,2 ;признак нуля
#define shift    status,5 ;переключение банков

#define T0IF     intcon,2 ;флаг переполнения таймера
#define T0IE     intcon,5 ;флаг разрешения прерывания от таймера
#define GIE      intcon,7 ;флаг разрешения прерываний
#define WREN     eecon1,2 ;флаг разрешения записи

#define Pusk     portb,3    ;кнопка старта движения
#define EndLine  portb,1    ;устройство приехало
#define EndstartLine portb,2 ;устройство приехало на начало
#define Stepcount portb,0   ;увеличение на 1
#define Stepcountm portb,2  ;уменьшение на 1
#define Line_A   portb,7    ;линия управления шаговым дв. Line_A
#define Line_B   portb,6    ;линия управления шаговым дв. Line_B
#define Line_C   portb,5    ;линия управления шаговым дв. Line_C
#define Line_D   portb,4    ;линия управления шаговым дв. Line_D

#define Start_step flag_reg,0
#define Start_back flag_reg,1

```

2/ INIT

```

org    000    ;при включении питания
goto   init
org    004    ;при включении питания
retfie

init    ;инициализация при включении
;очищаем память
        movlw bot            ;начало озу
        movwf fsr            ;в указатель
        bsf    end_cleang,0  ;1 в последнюю ячейку
clr_mem    clrf    indf        ;очистить ячейку по адресу указателя
        incf    fsr,1        ;передвинуть указатель
        btfsc  end_cleang,0
        goto   clr_mem
        bsf    shift
;        movlw b'00000000'    ;ra0-ra3 in
        movlw b'00011111'    ;ra0-ra3 in
        movwf trisa
;        movlw b'00000000'    ;rb0-rb4 in rb4-rb7 out
        movlw b'00001111'    ;rb0-rb4 in rb4-rb7 out
        movwf trisb
        movlw  B'10000011'    ;прескалер 1:16 на таймер
        movwf  _option        ;инкремент таймера примерно
        bcf    shift
        clrf   porta          ;(256-TMR0)*4*PS/Tclock
        clrf   portb
        movlw  B'00000000'    ; удерживаем в состоянии
        call   Save_port
        movlw  .18

```

```

movwf setLOOP1
movwf setTempLOOP1
movlw .250
movwf setLOOP2
movwf setTempLOOP2
goto  main

```

3/ MAIN

```

processor 16f84a
include head.asm      ;объявления переменных и констант
include init.asm      ;инициализация при включении
main
    bcf    shift
    btfss  Pusk        ;если нажата клавиша пуск
    goto  skip_pusk
    bsf    Start_step  ;запустить шаговый прямо
    bcf    Start_back
skip_pusk
    btfsc  Start_back
    goto  dont_p_delay
    btfss  Stepcount    ;уменьшить задержку
    goto  dont_m_delay
    movlw .2
    subwf  setLOOP1
    xorwf  setLOOP1,w
    skpz
    goto  ok_delay_1
    movlw .20
    movwf  setLOOP1
ok_delay_1
    call  DELAY_100USEC
press_m    btfsc  Stepcount    ;если нажата клавиша EndLine
    goto  press_m

dont_m_delay
    btfss  Stepcountm    ;увеличить задержку
    goto  dont_p_delay

;    btfss  Stepcountm    ;увеличить задержку
;    goto  dont_p_delay
;    movlw .2
;    addwf  setLOOP1
;    movlw .22
;    xorwf  setLOOP1,w
;    skpz
;    goto  ok_delay_2
;    movlw .2
;    movwf  setLOOP1
;ok_delay_2
;    call  DELAY_100USEC
;press_p    btfsc  Stepcountm    ;если нажата клавиша EndLine
;    goto  press_p
dont_p_delay

```

```

;-----
    btfss    Start_step          ; запущен прямо?
    goto     no_directly
    call     Run_stepper
no_directly
    btfss    EndLine             ;если нажата клавиша EndLine
    goto     next_line_verify
    btfsc    Start_back
    goto     next_line_verify
    movfw    setLOOP1
    movwf    setTempLOOP1
    movlw    .2
    movwf    setLOOP1
    movfw    setLOOP2
    movwf    setTempLOOP2
    movlw    .250
    movwf    setLOOP2

    bsf      Start_step
    bsf      Start_back
    movlw    .0
    call     Save_port
next_line_verify
    btfss    EndstartLine
    goto     next_line_verify1
    bcf      Start_step
    bcf      Start_back
    movfw    setTempLOOP1
    movwf    setLOOP1
    movfw    setTempLOOP2
    movwf    setLOOP2
    movlw    .0
    call     Save_port
next_line_verify1
    goto     main
Save_port:
    movwf    temp_line
    movfw    portb
    andlw    0x0f
    iorwf    temp_line,w
    movwf    portb
    return

Delay1
    movfw    setLOOP1
    MOVWF    LOOP1                ; 1
loop_1
    movfw    setLOOP2
    MOVWF    LOOP2                ; 1
    DECFSZ   LOOP2                ; 1
    GOTO     $-1                  ; 2
    DECFSZ   LOOP1                ; 1
    GOTO     loop_1               ; 2
    return                        ; 2

```

Wave_Step:

```
    addwf pcl,f
    nop
    retlw  B'00010000'
    retlw  B'01000000'
    retlw  B'00100000'
    retlw  B'10000000'
```

Full_Step:

```
    addwf pcl,f
    nop
    retlw  B'01010000'
    retlw  B'01100000'
    retlw  B'10100000'
    retlw  B'10010000'
```

Half_Step:

```
    addwf pcl,f
    nop
    retlw  B'00010000'
    retlw  B'01010000'
    retlw  B'01000000'
    retlw  B'01100000'
    retlw  B'00100000'
    retlw  B'10100000'
    retlw  B'10000000'
    retlw  B'10010000'
```

Half_Step_Back

```
    addwf pcl,f
    nop
    retlw  B'00100000'
    retlw  B'01100000'
    retlw  B'01000000'
    retlw  B'01010000'
    retlw  B'00010000'
    retlw  B'10010000'
    retlw  B'10000000'
    retlw  B'10100000'
```

DELAY_100USEC: ; provides a delay equal to $W * 10$ usecs

```
    movlw .5
    MOVWF LOOP3    ; 1
    nop            ; 1
    nop            ; 1
    nop            ; 1
    nop            ; 1
    nop            ; 1
    nop            ; 1
    nop            ; 1
    DECFSZ LOOP3    ; 1
    GOTO  $-8        ; 2
    return
```

;переместить двигатель

Run_stepper

```
    incf  number_step
    movlw 0x9
```

```
        xorwf number_step,w
        skpz
        goto ok_step
        clrf number_step
        goto skip_pusk
ok_step
        movfw number_step
        btfss Start_back
        goto on_back_move
        call Half_Step_Back
        goto on_back_move1
on_back_move
        call Half_Step
on_back_move1
        call Save_port
        call Delay1
        return
end
```

Додаток А

Анкета

вивчення соціально-психологічного клімату в колективі карного розшуку

1. В моїй службовій діяльності я найбільше ціную:

Власний успіх	8
Колективну роботу	75
Результат роботи	42
Ваш варіант:	

2. Що Вас найбільше приваблює в службі в ОВС?(2-3 критерії)

Престиж професії	33
Державна служба	42
Робота по спеціальності	33
Стабільність матеріального забезпечення	8
Можливість отримання житла	25
Пільги і соціальна захищеність	0
Можливість реалізувати себе (зробити кар'єру)	42
Інше	

3. Чи хотіли б Ви перейти в інший відділ?

Так	Важко відповісти	Ні
17	8	75

4. Оцініть частоту виникнення конфліктів у Вашому відділі:

Причини конфліктів	Часто	Іноді	Ніколи
Через недоліки в організації праці	17	58	17
Через нечіткий розподіл обов'язків	8	50	33
Через незадовільну роботу колег	8	50	33
Через низький рівень заробітної плати	50	17	33
Через недисциплінованість, слабку особисту відповідальність або низький культурний рівень працівників	0	58	33
Через особисті непорозуміння між працівниками	0	58	33

5. Оцініть частоту виникнення конфліктів із Вашим керівником:

Причини конфліктів	Часто	Іноді	Ніколи
Через недоліки в організації праці	0	58	33
Через нечіткий розподіл обов'язків	8	33	50
Через незадовільну роботу колег	8	42	42
Через низький рівень заробітної плати	42	8	42
Через недисциплінованість, слабку особисту відповідальність або низький культурний рівень працівників	0	50	33
Через стиль й методи роботи керівника	0	33	50
Через незадоволення членами колективу діловими якостями керівника	0	17	75
Через незадоволення керівника діловими якостями співробітника	0	67	25

6. Характер взаємин керівника із підлеглими:

Авторитарний	Демократичний	Ліберальний (попустительський)
17	83	0

7. Ставлення керівника до нововведень:

Позитивне	Нейтральне	Негативне
75	25	0

8. Ставлення керівника до критики:

Позитивне	Нейтральне	Негативне
25	58	17

9. Ваші службові відносини з керівником регламентуються:

Субординацією	Особистими відносинами	Традиціями відділу
50	8	58

10. Оцініть, будь-ласка, психологічний клімат Вашого колективу:

	5	4	3	2	1	
Згода	0	42	58	0	0	Незгода
Задоволеність	0	33	67	8	0	Незадоволеність
Зацікавленість	17	58	42	0	0	Байдужість
Продуктивність	8	42	75	0	0	Непродуктивність
Тактовність	0	42	42	8	0	Безтактність
Взаємна підтримка	17	33	42	17	0	Недоброзичливість
Взаєморозуміння	0	67	33	0	0	Нерозуміння
Згуртованість	8	33	42	8	8	Роз'єднаність
Спрацьованість	0	33	58	8	0	Уособленість
Успішність	0	25	67	17	0	Неуспішність
Взаємна довіра	0	50	42	0	8	Недовіра

11. Найкращий результат та успіх в роботі досягається:

У взаємодії із колегами й опрацюванні спільних рішень	За рахунок власних зусиль і здібностей
75	25

12. На чию підтримку та захист Ви можете розраховувати, якщо потрапили в екстремальну ситуацію? ("ВС" - внутрішня служба безпеки)

Колег	Керівництва	ВС	МВС	Тільки на себе	Інших
50	42	0	0	33	17

Примітка: всі дані наведені у відсотковому співвідношенні.

Додаток Б

Анкета
вивчення соціально-психологічного клімату в колективі дільничних інспекторів міліції

1. В моїй службовій діяльності я найбільше ціную:

Власний успіх	14
Колективну роботу	48
Результат роботи	43
Ваш варіант:	

2. Що Вас найбільше приваблює в службі в ОВС?(2-3 критерії)

Престиж професії	14
Державна служба	33
Робота по спеціальності	19
Стабільність матеріального забезпечення	14
Можливість отримання житла	62
Пільги і соціальна захищеність	0
Можливість реалізувати себе (зробити кар'єру)	19
Інше	

3. Чи хотіли б Ви перейти в інший відділ?

Так	Важко відповісти	Ні
62	10	28

4. Оцініть частоту виникнення конфліктів у Вашому відділі:

Причини конфліктів	Часто	Іноді	Ніколи
Через недоліки в організації праці	24	62	0
Через нечіткий розподіл обов'язків	28	57	0
Через незадовільну роботу колег	19	28	24
Через низький рівень заробітної плати	43	33	14
Через недисциплінованість, слабку особисту відповідальність або низький культурний рівень працівників	0	38	33
Через особисті непорозуміння між працівниками	0	43	24

5. Оцініть частоту виникнення конфліктів із Вашим керівником:

Причини конфліктів	Часто	Іноді	Ніколи
Через недоліки в організації праці	19	57	0
Через нечіткий розподіл обов'язків	14	71	14
Через незадовільну роботу колег	14	33	33
Через низький рівень заробітної плати	19	33	28
Через недисциплінованість, слабку особисту відповідальність або низький культурний рівень працівників	0	24	43
Через стиль й методи роботи керівника	14	43	24
Через незадоволення членами колективу діловими якостями керівника	24	38	24
Через незадоволення керівника діловими якостями співробітника	8	38	24

6. Характер взаємин керівника із підлеглими:

Авторитарний	Демократичний	Ліберальний (попустительський)
48	52	0

7. Ставлення керівника до нововведень:

Позитивне	Нейтральне	Негативне
14	76	10

8. Ставлення керівника до критики:

Позитивне	Нейтральне	Негативне
24	38	38

9. Ваші службові відносини з керівником регламентуються:

Субординацією	Особистими відносинами	Традиціями відділу
57	8	38

10. Оцініть, будь-ласка, психологічний клімат Вашого колективу:

	5	4	3	2	1	
Згода	14	33	33	0	0	Незгода
Задоволеність	0	10	28	28	0	Незадоволеність
Зацікавленість	0	24	38	8	10	Байдужість
Продуктивність	0	28	28	10	8	Непродуктивність
Тактовність	10	19	24	19	0	Безтактність
Взаємна підтримка	10	24	33	8	0	Недоброзичливість
Взаєморозуміння	10	24	28	8	0	Нерозуміння
Згуртованість	10	10	52	0	8	Роз'єднаність
Спрацьованість	0	14	43	10	0	Уособленість
Успішність	0	43	24	8	0	Неуспішність
Взаємна довіра	8	14	24	19	8	Недовіра

11. Найкращий результат та успіх в роботі досягається:

У взаємодії із колегами й опрацюванні спільних рішень	За рахунок власних зусиль і здібностей
86	14

12. На чию підтримку та захист Ви можете розраховувати, якщо потрапили в екстремальну ситуацію? ("ВС" - внутрішня служба безпеки)

Колег	Керівництва	ВС	МВС	Тільки на себе	Інших
38	10	0	0	43	19

Примітка: всі дані наведені у відсотковому співвідношенні.

Додаток В

Анкета

опитування керівників райвідділів, управлінь та начальників штабів

1. В моїй службовій діяльності я найбільше ціную:

Власний успіх	8
Колективну роботу	8
Результат роботи	92
Ваш варіант:	

2. Що Вас найбільше приваблює в службі в ОВС?(2-3 критерії)

Престиж професії	25
Державна служба	17
Робота по спеціальності	92
Стабільність матеріального забезпечення	17
Можливість отримання житла	0
Пільги і соціальна захищеність	8
Можливість реалізувати себе (зробити кар'єру)	67
Інше	

3. Чи хотіли б Ви перейти в інший відділ?

Так	Важко відповісти	Ні
33	50	17

4. Оцініть частоту виникнення конфліктів у Вашому відділі:

Причини конфліктів	Часто	Іноді	Ніколи
Через недоліки в організації праці	25	58	0
Через нечіткий розподіл обов'язків	33	42	25
Через незадовільну роботу колег	17	58	8
Через низький рівень заробітної плати	25	58	17
Через недисциплінованість, слабку особисту відповідальність або низький культурний рівень працівників	17	75	0
Через особисті непорозуміння між працівниками	8	50	33

5. Оцініть частоту виникнення конфліктів із Вашим керівником:

Причини конфліктів	Часто	Іноді	Ніколи
Через недоліки в організації праці	17	50	17
Через нечіткий розподіл обов'язків	8	33	25
Через незадовільну роботу колег	8	67	8
Через низький рівень заробітної плати	17	33	33
Через недисциплінованість, слабку особисту відповідальність або низький культурний рівень працівників	0	42	42
Через стиль й методи роботи керівника	25	42	8
Через незадоволення членами колективу діловими якостями керівника	0	42	33
Через незадоволення керівника діловими якостями співробітника	8	42	25

6. Характер взаємин із підлеглими:

Авторитарний	Демократичний	Ліберальний (попустительський)
42	42	16

7. Ставлення керівника до нововведень:

Позитивне	Нейтральне	Негативне
50	17	33

8. Ставлення керівника до критики:

Позитивне	Нейтральне	Негативне
16	42	42

9. Ваші службові відносини з керівником регламентуються:

Субординацією	Особистими відносинами	Традиціями відділу
75	0	25

10. Оцініть, будь-ласка, психологічний клімат Вашого колективу:

	5	4	3	2	1	
Згода	0	25	33	17	0	Незгода
Задоволеність	0	25	25	17	8	Незадоволеність
Зацікавленість	8	25	42	8	8	Байдужість
Продуктивність	0	25	33	25	0	Непродуктивність
Тактовність	0	25	33	17	0	Безтактність
Взаємна підтримка	8	17	42	8	8	Недоброзичливість
Взаєморозуміння	0	25	42	17	0	Нерозуміння
Згуртованість	0	33	8	25	8	Роз'єднаність
Спрацьованість	17	17	33	17	8	Уособленість
Успішність	0	33	33	17	0	Неуспішність
Взаємна довіра	8	42	25	17	0	Недовіра

11. Найкращий результат та успіх в роботі досягається:

У взаємодії із колегами й опрацюванні спільних рішень	За рахунок власних зусиль і здібностей
42	58

12. На чий підтримку та захист Ви можете розраховувати, якщо потрапили в екстремальну ситуацію? ("ВС" - внутрішня служба безпеки)

Колег	Керівництва	ВС	МВС	Тільки на себе	Інших
33	25	0	0	58	25

Примітка: всі дані наведені у відсотковому співвідношенні.

Додаток Г

АНКЕТА

Назва органу (підрозділу) _____

№	Ознаки	5	4	3	2	1	Ознаки
1.	У Вашому колективі завжди дотримуються встановлених термінів виконання службових завдань	5	4	3	2	1	Встановлені терміни вирішення службових завдань не дотримуються
2.	При підведенні підсумків Ваш колектив відмічається вищим керівництвом як один із найкращих	5	4	3	2	1	Вашому колективу вище керівництво завжди дорікає за недоліки в роботі
3.	Працівники Вашого колективу досягають високих індивідуальних результатів	5	4	3	2	1	Індивідуальні результати роботи працівників Вашого колективу є низькими
4.	Умови діяльності в підрозділі дозволяють Вам розкрити власні можливості, спрямувати їх на досягнення високих показників у службі	5	4	3	2	1	Розкрити власні можливості в професійній діяльності не можливо
5.	Робота працівників Вашого підрозділу високо оцінюється громадянами	5	4	3	2	1	Місцеве населення не задоволене роботою працівників Вашого підрозділу
6.	Ваш керівник - кваліфікований фахівець, здатний планувати роботу, вирішувати необхідні службові завдання	5	4	3	2	1	Рівень кваліфікації Вашого керівника низький, він губиться при плануванні роботи, вирішенні складних завдань
7.	У спілкуванні з підлеглими керівник поєднує вимогливість та принциповість з увічливістю та коректністю	5	4	3	2	1	Керівник недостатньо ввічливий, безпринципний, може нагрубити підлеглим, образити їх
8.	Морально-ділові якості Вашого керівника високі і є взірцем для підлеглих	5	4	3	2	1	За своїми морально-діловими якостями керівник не відповідає займаній посаді

9.	Стиль роботи керівника позитивно впливає на ділові стосунки	5	4	3	2	1	Стиль роботи керівника негативно впливає на ділові стосунки
10	Дії та вчинки Вашого керівника викликають у Вас повагу до нього	5	4	3	2	1	Дії та вчинки Вашого керівника викликають негативне ставлення
11	Працівники Вашого підрозділу у процесі професійного спілкування добре розуміють один одного	5	4	3	2	1	Взаєморозуміння в процесі професійного спілкування у колективі відсутнє
12	Ваші колеги в переважній більшості кваліфіковані працівники, здатні вирішувати службові завдання	5	4	3	2	1	Переважна більшість Ваших колег мають низьку кваліфікацію, службові завдання вирішують неякісно
13	В колективі чітко визначені та організаційно забезпечені функціональні обов'язки кожного працівника	5	4	3	2	1	Функціональні обов'язки працівників чітко не визначені і не дотримуються
14	Переважними темами для спілкування між колегами є службові проблеми	5	4	3	2	1	Більшість тем спілкування знаходиться поза межами службових проблем
15	При виникненні складної екстремальної ситуації колектив Вашого підрозділу діє чітко, злагоджено та ефективно	5	4	3	2	1	При виникненні складної екстремальної ситуації Ваші колеги губляться, діють незлагоджено та неефективно
16	Колеги по роботі готові допомогти Вам, підказати, надати кваліфіковану пораду	5	4	3	2	1	Кваліфікована взаємодопомога та взаємопідтримка практично відсутня
17	Успіхи або невдачі товаришів викликають співпереживання, щире участь всіх працівників підрозділу	5	4	3	2	1	Успіхи або невдачі товаришів залишають колег байдужими
18	Виявляється почуття гордості за свій підрозділ, якщо його позитивно відзначає керівництво	5	4	3	2	1	До заохочення всього підрозділу ставляться байдуже

19	Доброзичливо ставляться до нових працівників, допомагають їм адаптуватися до служби	5	4	3	2	1	Новачки відчують себе чужими, до них часто виявляють ворожість
20	У колективі Вашого підрозділу колеги користуються повагою, можуть розраховувати на те, що їх думку вислухають і врахують	5	4	3	2	1	Взаємоповага, схильність прислухатися до думки колег відсутні, кожен працівник вважає свою думку головною
21	Серед працівників вашого підрозділу переважає позитивний, життєрадісний настрій	5	4	3	2	1	Серед працівників вашого підрозділу настрій похмурий, безрадісний, апатичний
22	Серед працівників вашого підрозділу переважають товариські, доброзичливі взаємини	5	4	3	2	1	Серед працівників Вашого підрозділу переважають недоброзичливі, конфліктні взаємини
23	Колектив активний, повний енергії	5	4	3	2	1	Колектив інертний, пасивний
24	У взаємовідносинах між членами колективу існують єдність і розуміння	5	4	3	2	1	Члени колективу конфліктують між собою
25	Ви радите Вашим друзям та знайомим працювати у Вашому підрозділі	5	4	3	2	1	Ви не радите іншим працювати у Вашому колективі

Продовження дод. Д

[illegible]

Додаток Е

ГРАФІК СОЦІАЛЬНО-ПСИХОЛОГІЧНОГО КЛІМАТУ

Органу (підрозділу) ВДАІ



Додаток Є

Співвідношення виборів стилів керівництва

№ п\п (запитання)	Авторитарний	Демократичний	Ліберальний
1.	25	67	8
2.	25	67	8
3.	50	50	0
4.	8	42	50
5.	25	75	0
6.	58	42	0
7.	8	84	8
8.	58	17	25
9.	17	75	8
10.	42	42	16
11.	58	25	17
12.	68	16	16
13.	42	42	16
14.	16	75	8
15.	42	58	0
16.	33	67	0
17.	8	42	50
18.	59	33	8
19.	17	58	25
20.	75	25	0
21.	17	50	33
22.	59	33	8
23.	50	42	8

Примітка: всі дані наведені у відсотковому співвідношенні.

Додаток Ж

Коефіцієнти парної кореляції взаємозв'язку показників соціально-психологічного клімату колективу карного розшуку та психологічних параметрів його членів

№ п\п	Показник індивідуального очікування рівня групової згуртованості (ІОЗ)	Референтність членства (Sr)	Вік	Загальний стаж в ОВС	Стаж на посаді	Методики
1.	-116	250	405	414	417	НС
2.	397	340	-326	-345	-306	НВ
3.	-356	-421	-044	-034	-072	НЗ
4.	032	049	135	341	252	Е-І
5.	-242	-322	-316	-369	-338	Н
6.	166	-133	023	110	116	С
7.	335	-171	-344	-014	131	С 1
8.	-430	-449	071	-006	021	С 2
9.	-129	255	066	-052	-271	К
10.	-407	-232	369	-084	-021	У
11.	056	368	123	105	013	П
12.			-380	-015	-136	ІОЗ
13.	343		-115	305	142	Референтність членства

Примітки:

НС – спрямованість на себе;	}	Смекала - Кучери
НВ – спрямованість на взаємодію;		
НЗ – спрямованість на задачу;		
Е-І – екстраверсія-інтроверсія;	}	Г. Айзенка
Н – нейротизм;		
С – самооцінка		
С 1 – суперництво;	}	К.Томаса
С 2 – співробітництво;		
К – компроміс;		
У – уникання;		
П – пристосування		

Додаток 3

Коефіцієнти парної кореляції взаємозв'язку показників соціально-психологічного клімату колективу ВДІМ та психологічних параметрів його членів

№ п\п	Показник індивідуального очікування рівня групової згуртованості (ІОЗ)	Референтність членства (Sr)	Вік	Загальний стаж в ОВС	Стаж на посаді	Методики
1.	402	422	705	448	508	НС
2.	478	395	659	415	463	НВ
3.	328	344	650	4	407	НЗ
4.	361	290	632	393	393	Е-І
5.	392	478	469	466	386	Н
6.	117	020	307	006	185	С
7.	-035	-093	356	114	-023	С 1
8.	330	349	681	471	498	С 2
9.	444	470	693	504	538	К
10.	411	361	639	336	540	У
11.	437	452	624	376	422	П
12.		635	470	460	314	ІОЗ
13.			432	580	338	Референтність членства

Примітки:

НС – спрямованість на себе;	}	Смекала - Кучери
НВ – спрямованість на взаємодію;		
НЗ – спрямованість на задачу;		
Е-І – екстраверсія-інтроверсія;	}	Г. Айзенка
Н – нейротизм;		
С – самооцінка		
С 1– суперництво;	}	К.Томаса
С 2– співробітництво;		
К – компроміс;		
У – уникання;		
П – пристосування		

Додаток И

Співвідношення видів спрямованості у працівників ВКР

Види спрямованості	Високий рівень	Середній рівень	Низький рівень
На себе	75%	25%	0
На взаємодію	17%	58%	25%
На задачу	8%	25%	67%

Додаток Й

Співвідношення видів спрямованості у працівників ДІМ

Види спрямованості	Високий рівень	Середній рівень	Низький рівень
На себе	76%	19%	5%
На взаємодію	33%	52%	14%
На задачу	0	57%	43%

Додаток К

ДОВІДКА

про результати вивчення соціально-психологічного клімату у відділі
карного розшуку та відділі дільничних інспекторів міліції N-ського РУ ГУМВС
України в м. Києві

У відповідності із планом роботи 12.08.2004 р. старшим психологом Центру практичної психології ГУМВС України в м. Києві здійснено вивчення стану соціально-психологічного клімату колективу ВКР та ДІМ.

В дослідженні прийняли участь 63 працівників карного розшуку та 87 дільничних інспекторів міліції.

Цілі й задачі дослідження:

Дослідження планове. Основною задачею являлось вивчення стану та динаміки значущих соціально-психологічних процесів у колективах ВКР і ДІМ, а також впливу індивідуальних психологічних якостей працівників на СПК.

Методи дослідження: анкетування; тестування за методиками В.Смекала-К.Кучери, Г.Айзенка, К.Томаса; опитування, статистичні відомості.

Результати дослідження

Відомості про особовий склад ВКР та ДІМ мають наступний вигляд:

Вік працівників	Карний розшук	ДІМ
20-25	50%	33%
26-30	30%	12%
31-35	7%	33%
36-40	7%	22%
Більше 40 років	6%	-

Загальний стаж в ОВС	Карний розшук	ДІМ
До 1 року	-	10%
Від 1 до 3 років	8%	33%
Від 3 до 5 років	33%	8%
Від 5 до 10 років	33%	14%
Від 10 до 15 років	20%	25%
Більше 15 років	6%	10%

Стаж на посаді	Карний розшук	ДІМ
До 1 року	33%	38%
Від 1 до 3 років	50%	57%
Від 3 до 5 років	17%	5%

Аналізуючи статистичні дані, що наведені вище, можна передбачити, що у відділі карного розшуку має місце вже складений, “зрілий” у соціальному плані колектив, т.б. – 92% працівників працюють в органах внутрішніх справ від 3 до 15 років і вище. Відповідно, припущення про те, що у співробітників ВКР високий рівень згуртованості колективу, стійкий соціально-психологічний клімат і, як наслідок, високий рівень професіоналізму, повинне мати місце. Але результати вивчення підтверджують це тільки частково.

Деяко інша картина спостерігається в групі працівників ДІМ. Там лише 57% міліціонерів працюють в ОВС від 3 до 15 років, а безпосередньо на посаді від 3 до 5 років (строк формування досить адаптованого, досвідченого фахівця) лише 5%. Як показали результати дослідження, це суттєво вплинуло на стан та динаміку СПК у даному підрозділі.

Позитивні аспекти клімату:

ВКР

- спрямованість діяльності на колективну роботу (75%) та на результат роботи (42%);
- бажання працювати і надалі в даному підрозділі (75%);
- демократичний характер взаємин із підлеглими (83%);
- позитивне відношення керівника до нововведень (83%);
- регламентація відносин із керівником традиціями відділу (58%) та субординацією (50%);
- характеристика колективу: згуртований, серед працівників виявлена зацікавленість у результатах спільної діяльності, продуктивності та взаємній підтримці.

ВДІМ

- спрямованість діяльності на колективну роботу (48%) та на результат роботи (43%);
- регламентація відносин із керівником субординацією (57%) та традиціями відділу (38%) ;
- характеристика колективу: згуртований, серед працівників виявлена згода при прийнятті найбільш важливих колективних рішень, тактовність, взаємна підтримка, взаєморозуміння та взаємна довіра.

Проблемні аспекти:

ВКР

- часто виникають конфлікти із-за низького рівня заробітної плати між співробітниками підрозділу (50%) та з безпосереднім керівником (42%).
- нейтральне відношення керівника до критики (58%);
- такі характеристики колективу: роз'єднаність та недовіра один до одного, недоброзичливість та неуспішність спільної діяльності.

ВДІМ

- бажання перейти в інший відділ (62%);
- досить часто виникають конфлікти із-за низького рівня заробітної плати між співробітниками підрозділу (43%);
- дещо невизначений характер взаємин керівника з підлеглими: демократичний (52%), авторитарний (48%);
- нейтральне відношення керівника до нововведень (76%);
- не досить адекватне відношення керівника до критики. Зокрема, опитані подібно оцінили його нейтральність та негативізм (38%);
- наступні негативні характеристики колективу: байдужість, непродуктивність спільної діяльності, роз'єднаність та недовіра один до одного, незадоволеність від членства в даному колективі.

Здійснюючи самооцінку особистості та вивчаючи перспективи подальшої самореалізації в системі ОВС, опитані назвали наступні чинники, що плинули

на їх, вибір професії правоохоронця:

ВКР

- державна служба та можливість реалізувати себе (зробити кар'єру) – 42%;
- престиж професії та робота по спеціальності – 33%;
- можливість отримання житла – 25%;
- стабільність матеріального забезпечення – 8%.

Жоден з опитаних при виборі професій не керувався критерієм пільг та соціальної захищеності працівників міліції.

Це свідчить про досить високу працездатність колективу та націленість на ефективну діяльність.

ВДІМ

- можливість отримання житла – 62%;
- державна служба – 33%;
- робота по спеціальності та можливість зробити кар'єру – 19%;
- престиж професії та стабільність матеріального забезпечення – 14%.

Ніхто з опитаних працівників УДІМ також не керувався можливістю користування пільгами та соціальною захищеністю. Причина, можливо, в тому, що останнім часом майже всі пільги із працівників ОВС зняті, а соціальний захист правоохоронців і зовсім сумна тема.

Аналіз самооцінки та перспектив подальшої самореалізації працівників колективу ВДІМ свідчать про те, що їх професійна діяльність має дещо корисний характер, що впливає і на працездатність колективу та продуктивність спільної діяльності.

Мають бажання перейти в інший підрозділ 17% опитаних працівників ВКР та 8% - важко відповісти на це запитання.

У службі ДІМ тільки 28% не бажають шукати іншого місця роботи, 10% – важко відповісти.

Іноді 58% працівників ВКР конфліктують із-за наступних причин: недоліків в організації праці; недисциплінованості, слабкої особистої

відповідальність або низького культурного рівня працівників; особистих непорозумінь між працівниками (58%) та незадовільної роботи колег (50%).

Дільничні інспектори міліції іноді конфліктують як між собою так і з керівником із-за недоліків в організації праці (62% та 57% відповідно).

Конфлікти між керівником і підлеглими ВКР іноді спричиняються незадоволенням керівника діловими якостями співробітників (67%), що говорить про досить високу самокритичність підлеглих; недоліками в організації праці (58%) та недисциплінованістю, слабкою особистою відповідальністю (50%).

Як і між собою, так і з керівником ДІМ конфліктують із причини нечіткого розподілу обов'язків (відповідно 57% та 71%).

Повний спектр оцінювання (від 5 до 1) отримала така пара якостей колективу ВКР як згуртованість - роз'єднаність. Зокрема, 5 – 8%, 4 – 33%, 3 – 42%, 2 – 8%, 1 – 8%. Вище середнього оцінені: взаєморозуміння – 67%, зацікавленість – 58% та взаємна довіра – 50%. Отримали середню оцінку (3) такі пари якостей як: продуктивність – непродуктивність (75%), задоволеність – незадоволеність та успішність - неуспішність (67%), згода – незгода та спрацьованість – уособленість (58%).

У ДІМ такою парою виявилась взаємна довіра – недовіра (5 – 8%, 4 – 14%, 3 – 24%, 2 – 19%, 1 – 8%). Посередньо оцінена пара згуртованість - роз'єднаність (52%). Цікавим, на нашу думку, виявився факт досить різноманітного, дещо полярного оцінювання якостей у даному колективі. Це може свідчити про те, що дані якості не мають стабільного характеру та знаходяться в стадії формування. Ще однією із причин такого стану речей може бути досить нетривалий термін перебування на посаді 38% ДІМ, які ще не досить чітко можуть дати оцінку якостей свого колективу.

Наряду із цим, 75% працівників ВКР та 86% співробітників ВДІМ найкращого результату та успіху у роботі досягають у взаємодії з колегами й опрацюванні спільних рішень. І лише 25% та 14 % відповідно - за рахунок

власних зусиль і здібностей.

Цікавим, на нашу думку, виявилось з'ясування думки опитаних із приводу того, на чію підтримку та захист вони можуть розраховувати, якщо потраплять в екстремальну ситуацію. Так, 50% працівників ВКР розраховують на своїх колег, 42% - на керівництво, 33% - тільки на себе і 17% - на інших. Ніхто з опитаних не очікує необхідного захисту ні від внутрішньої служби безпеки, ні від МВС у цілому. Це, на нашу думку, може говорити про певну недовіру до цих організацій.

Дещо інша ситуація в колективі ВДІМ. Найбільше опитуваних (43%) розраховують тільки на самих себе, 38% - на колег, 19% - на інших та 10% - на керівництво. Також жоден з опитаних за допомогою в разі необхідності не буде звертатись до внутрішньої служби безпеки та МВС. Недовірою в цьому колективі користується ще й керівництво районного управління. Хоча це може свідчити також і про достатню самостійність, впевненість у власних силах та стресостійкість дільничних працівників міліції.

Результати психологічного дослідження працівників ВКР за вище вказаними методиками дали картину індивідуальних особливостей членів даного колективу. Так 75% опитаних мають високий показник спрямованості на себе, 58% - середню спрямованість на взаємодію та 67% - низьку спрямованість на задачу (Додаток І). Таке співвідношення є не досить сприятливим для успішної колективної діяльності, але, враховуючи дещо індивідуальний характер професійної діяльності працівників карного розшуку, на нашу думку, для даного підрозділу є допустимим. Це підтверджується і результатами оперативно-розшукової діяльності ВКР (досить високий відсоток розкриття злочинів).

Як показує практика, успішно працюючі дільничні інспектори міліції характеризуються досить розвинутою діловою спрямованістю, дещо підвищеними показниками спрямованості на взаємні дії. Останнє пояснюється специфікою діяльності дільничних інспекторів, функціональні обов'язки яких

передбачають постійний контакт із населенням, спілкування, взаємодію з людьми. Спрямованість ДІМ даного РУ має наступний вигляд: 76% висока спрямованість на себе, 52% - середня спрямованість на взаємні дії та 57% - середня спрямованість на задачу (Додаток Й). Високий показник спрямованості на себе є несприятливим для ефективної професійної діяльності. Це підтверджується і станом дисципліни та законності в цій службі. За неналежне виконання своїх функціональних обов'язків до дисциплінарної відповідальності притягнутий кожен другий працівник ДІМ, а 20% - мають по два і більше дисциплінарних стягнення.

За результатами діагностування комунікабельності, товариськості працівників ВКР, виявлено, що більшість (67%) працівників даного колективу досить комунікабельні, схильні до самоаналізу, планують і обдумують свої дії наперед, не довіряють раптовим спонуканням, серйозно відносяться до прийняття рішень, контролюють свої почуття, їх нелегко вивести із себе. Вони емоційно стійкі, т.б. зберігають організовану поведінку, ситуативну цілеспрямованість у звичайних та стресових ситуаціях. Лише 17% мають дещо підвищений показник нейротизму, на що потрібно звернути увагу при плануванні психокорекційної роботи психолога.

Специфіка професійної діяльності ДІМ вплинула на формування соціалізації дільничних інспекторів міліції. Так дослідження виявило, що 75% опитаних комунікабельні, товариські, мають широке коло знайомств, необхідність у контактах, схильні до ризикованих дій, їх почуття та емоції не мають суворого контролю. Більшість ДІМ мають дещо завищені показники нейротизму, що говорить про їх емоційну вразливість, тривожність, схильність хворобливо переживати невдачі. Це може породити такі ознаки несприятливого соціального-психологічного клімату, як приховану критику умов праці, розповсюдженню пліток один про одного, обговорення вказівок керівників "у кулуарах". На нашу думку, це може пояснюватись ще й не тривалим терміном

перебування на посаді, не сформованістю у них достатньої стресостійкості, впевненості у власних силах.

Більшість опитаних працівників КР та ДІМ для вирішення конфліктів використовують стилі компромісу й уникання. Це може породжувати часті конфлікти, уникання колективу від їх вирішення, що є ознаками незрілого соціально-психологічного клімату.

Заходи з удосконалення соціально-психологічних відносин

в колективі ВКР

1. Роз'яснити співробітникам джерела формування фонду заробітної плати й принципи його, цього фонду, розподілу.
2. Проаналізувати та нагадати на нараді принципи розподілу матеріального та матеріального заохочення.
3. Шляхом проведення лекцій, занять, семінарів підвищити рівень психологічних та педагогічних знань керівника.
4. Провести дослідження, для виявлення фактів, які викликають стабільну незадоволеність чи створюють постійні конфліктні ситуації між керівником та підлеглими.
5. Провести додаткові заняття для підвищення рівня психологічної підготовленості працівників при виборі оптимального стилю поведінки для вирішення конфліктних ситуацій.
6. Провести спеціальне дослідження по визначенню психологічної сумісності членів колективу.
7. Спланувати заходи організації колективного відпочинку (шляхом систематичності, достатньої частоти заходів щодо спільного відпочинку, їх високої якості, інформаційності, етичної й естетичної цінності й розмаїття).
8. Шляхом стимулювання творчої ініціативи, своєчасного заохочення працівників, сформувати групові норми і спільну думку колективу.
9. Зменшити “дефіцит спілкування” у колективі й розмістити людей за робочими місцями з урахуванням особистих симпатій.

10. Провести соціально-психологічний тренінг безконфліктного спілкування та формування колективів.

Рекомендації для удосконалення соціально-психологічного клімату в колективі ДІМ.

1. Роз'яснити співробітникам джерела формування фонду заробітної плати й принципи його, цього фонду, розподілу.

2. Проаналізувати та нагадати на нараді принципи розподілу матеріального та матеріального заохочення.

3. Шляхом проведення лекцій, занять, семінарів підвищити рівень психологічних та педагогічних знань керівника.

4. Виявити фактори у процесі правоохоронної діяльності, які створюють постійні конфлікти між членами колективу й погіршують загальний стиль і фон стосунків, а також визначити заходи для їх усунення.

5. Підкріпити колективні ділові відносини через систему стимулювання (матеріального й морального).

6. Краще інформувати колектив про досягнення працівників, про існуючий стан справ, стимулювати творчу ініціативу та своєчасно заохочувати працівників.

7. В системі соціально-психологічної підготовки провести додаткові заняття для інформування працівників про причини конфліктів в службовій діяльності, формування психологічних умінь та навичок при виборі оптимального стилю поведінки для вирішення конфліктних ситуацій.

8. Більше спрямовувати діяльність ДІМ на колективну роботу та її результати.

9. Стиль та методи керівництва являються джерелами конфліктів. Їх потрібно проаналізувати і при необхідності внести корективи.

10. Провести тренінгові заняття безконфліктного спілкування та формування колективів.

Додаток Л

ДОВІДКА

про результати діагностування соціально-психологічного клімату у відділі
дорожньої автомобільної інспекції

Загальний висновок за результатами вивчення СПК: показники знаходяться в зоні найкращого соціально-психологічного клімату. Загальний показник СПК колективу ВДАІ – 4,7 за п'ятибальною системою.

Найвище оцінені показники, що характеризують авторитет керівника (4,8). Зокрема:

1. Рівень кваліфікації керівника – 4,9.
2. Вміння поєднувати вимогливість та принциповість з увічливістю та коректністю – 4,8.
3. Морально-ділові якості керівника – 4,8.
4. Позитивний вплив стилю керівництва на ділові стосунки – 4,7.
5. Оцінка дій і вчинків керівника – 4,8.

Це свідчить про досить високий професійний рівень керівника, його високі організаторські здібності та морально-ділові якості, хороше відношення до підлеглих.

Найнижчі показники при оцінці продуктивності професійної діяльності (4,1) наступні :

1. Дотримання встановлених термінів вирішення вирішення службових завдань – 4,7.
2. Оцінка колективу вищим керівництвом – 3,9.
3. Досягнення високих індивідуальних результатів – 3,8.
4. Реальність розкриття власних можливостей та їх спрямування на досягнення високих показників у службі – 4,4.
5. Оцінка громадянами роботи працівників ДАІ – 3,7.

Внутрішньокolleктивний настрій оцінений наступним чином (4,7). Зокрема:

1. Переважання серед працівників підрозділу позитивного, життєрадісного настрою – 4,5.

2. Переважання серед працівників підрозділу товариських, доброзичливих взаємин – 4,7.

3. Оцінка колективу як активного, повного енергії – 4,5.

4. Існування між членами колективу єдності й розуміння – 4,6.

5. Порада друзям та знайомим працювати у даному підрозділі – 4,7.

Дещо нижче оцінена згуртованість навколо мети професійної діяльності (4,6). Зокрема:

1. Готовність колег допомогти, підказати, надати кваліфіковану пораду – 4,6.

2. Співпереживання успіхів або невдач товаришів – 4,5.

3. Гордість за свій підрозділ, якщо його позитивно відзначає керівництво – 4,5.

4. Доброзичливе ставлення до нових працівників, допомога їм адаптуватися до умов служби – 4,7.

5. Розрахунок на те, що думку колег вислухають і врахують – 4,5.

Спрацьованість у колективі оцінена наступним чином – 4,4. Зокрема:

1. Добре розуміння один одного у процесі професійного спілкування – 4,5.

2. Оцінка кваліфікації працівників, які здатні вирішувати службові завдання – 4,6.

3. Чітка визначеність і організаційна забезпеченість функціональних обов'язків кожного працівника – 4,7.

4. Тематика спілкування між колегами – 3,9.

5. Злагоджена й ефективна діяльність колективу при виникненні складної екстремальної ситуації – 4,2.

Рекомендації

для удосконалення соціально-психологічних відносин у колективі ДАІ

1. Спланувати й провести заходи щодо підвищення продуктивності професійної діяльності. Зокрема, з'ясувати причини низької оцінки професійної діяльності колективу вищим керівництвом та усунути їх; стимулювати досягнення високих індивідуальних результатів; методом вивчення громадської думки виявити причини досить низької оцінки громадянами роботи ДАІ та ступеню довіри до її працівників.
2. Провести спеціальні дослідження по визначенню психологічної сумісності членів груп патрулювання та екіпажів.
3. Зменшити “дефіцит спілкування” у колективі, й формувати групи патрулювання з урахуванням особистих симпатій.
4. Провести тренінгові заняття безконфліктного спілкування.