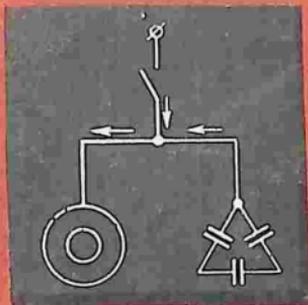




**ПРОЕКТИРОВАНИЕ  
КОМПЛЕКСНОЙ  
ЭЛЕКТРИФИКАЦИИ**



631 3  
П-491

УЧЕБНИКИ И УЧЕБНЫЕ ПОСОБИЯ  
ДЛЯ ВЫСШИХ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ  
УЧЕБНЫХ ЗАВЕДЕНИЙ

# ПРОЕКТИРОВАНИЕ КОМПЛЕКСНОЙ ЭЛЕКТРИФИКАЦИИ

Под редакцией академика ВАСХНИЛ,  
доктора технических наук,  
профессора Л. Г. Прищепа

*Допущено Главным управлением высшего  
и среднего сельскохозяйственного образо-  
вания Министерства сельского хозяйства  
СССР в качестве учебного пособия для  
студентов высших сельскохозяйственных  
учебных заведений по специальности 1510  
«Электрификация сельского хозяйства»*

Библиотека  
СамСХИ  
И.И. №



МОСКВА «КОЛОС» 1983

631 3  
17-491

УЧЕБНИКИ И УЧЕБНЫЕ ПОСОБИЯ  
ДЛЯ ВЫСШИХ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ  
УЧЕБНЫХ ЗАВЕДЕНИЙ

# ПРОЕКТИРОВАНИЕ КОМПЛЕКСНОЙ ЭЛЕКТРИФИКАЦИИ

Под редакцией академика ВАСХНИЛ,  
доктора технических наук,  
профессора Л. Г. Прищепа

*Допущено Главным управлением высшего  
и среднего сельскохозяйственного образо-  
вания Министерства сельского хозяйства  
СССР в качестве учебного пособия для  
студентов высших сельскохозяйственных  
учебных заведений по специальности 1510  
«Электрификация сельского хозяйства»*

Библиотека  
СамСХИ  
ИЗЧ. №



МОСКВА «КОЛОС» 1983

ББК 40.7

П79

УДК 631.371 : 621.311.001.2(075.8)

Авторский коллектив: академик ВАСХНИЛ, доктор технических наук Л. Г. Прищеп (введение, гл. 1...9), кандидаты технических наук А. П. Якименко (гл. 1...4), Я. Я. Соловьев (гл. 5), Л. В. Шаповалов (§ 6.1...6.10), В. Н. Судаченко (§ 6.11 и 6.12), А. И. Цатурян (6.13), В. М. Гарбуз (гл. 7), И. И. Подтынков (§ 9.8 и 9.9), кандидат биологических наук Б. Н. Китлаев (§ 9.4), кандидат физико-математических наук А. В. Малогин (гл. 7), инженер В. В. Голобородько (гл. 8).

Рецензенты: кандидаты технических наук, доценты Б. Ш. Файзуллаев, А. Р. Раджабов, М. Э. Мамедшахов (ТИИМСХ), доценты Г. В. Қолесов, А. Г. Рябов (Волгоградский СХИ), кандидаты технических наук, доценты В. С. Олейник, В. Н. Гайдук, Л. П. Тищенко, И. И. Шарамок (УСХА), кандидат технических наук Е. Ф. Андреев (ВНИИ биотехники).

**Проектирование комплексной электрификации**  
П79 Л. Г. Прищеп, А. П. Якименко, Л. В. Шаповалов и др.; Под ред. Л. Г. Прищеп. — М.: Колос, 1983. — 271 с., ил. — (Учебники и учеб. пособия для высш. с.-х. учеб. заведений).

В учебном пособии излагается общая методика проектирования комплексной электрификации сельскохозяйственного производства, даются оценка современным и перспективным формам энергообеспечения автономных объектов, освещаются методы проектирования энергетико-животноводческих объектов, традиционных и перспективных форм производства закрытого грунта, безаварийной эксплуатации электродвигателей.

Пособие предназначено студентам факультетов электрификации сельского хозяйства.

П 3802040200—242 251—83  
035(01)—83

ББК 40.7  
631.

© Издательство «Колос», 1983

## ВВЕДЕНИЕ

Успешная реализация Продовольственной программы, одобренной майским (1982 г.) Пленумом ЦК КПСС, возможна при наличии надежной и постоянно развивающейся энергетической базы — главной составляющей материально-технической основы сельского хозяйства.

Энергетическую базу сельского хозяйства составляют мобильная и стационарная тепло- и электроэнергетика.

В настоящее время в сельском хозяйстве работают более 14 млн. электродвигателей и 2,5 млн. других электроустановок (электронагреватели, электрокотлы, электрокалориферы, электрохолодильники, специализированные облучательные установки и т. д.). Их общая мощность более 92 млн. кВт. Во многих хозяйствах парк двигателей достигает 500 единиц и более. К началу 1982 г. уровень комплексной электромеханизации на фермах крупного рогатого скота составлял 45 %, а на свиноводческих фермах — 60,5 %.

В решениях XXVI съезда ~~КПСС~~ и последующих Пленумов ЦК КПСС уделено большое внимание научно-техническому прогрессу в сельском хозяйстве, внедрению достижений науки и передового опыта, улучшению машинноиспользования и повышению качества техники и уровня ее эксплуатации в колхозах и совхозах, дальнейшему развитию электрификации сельского хозяйства и автоматизации производственных процессов как главных факторов роста производительности труда, ускорению разработки и внедрения энергосберегающих, малоотходных и безотходных технологий, повышению уровня использования квалифицированных специалистов и совмещению профессий.

На ближайший период основными задачами в области энергетики и электрификации сельского хозяйства в свете решений ноябрьского (1982 г.) и июньского

(1983 г.) Пленумов ЦК КПСС и положений и выводов, вытекающих из речей Генерального секретаря ЦК КПСС товарища Ю. В. Андропова на Пленумах, являются поиск путей кардинального роста производительности труда, поиск и реализация резервов в ускорении научно-технического прогресса, внедрение достижений атомной энергетики, развитие электротехнологий. В значительной мере этому должен способствовать курс дисциплины «Проектирование комплексной электрификации».

Этот курс зародился по инициативе профессорско-преподавательского коллектива факультета электрификации сельского хозяйства Московского ордена Трудового Красного Знамени института инженеров сельскохозяйственного производства имени В. П. Горячкина в конце 60-х годов. Его формирование практически продолжается и в настоящее время. Задача этого курса — системный подход к решению вопросов повышения производительности труда, энерго- и электроснабжения, эффективного использования электроэнергии, надежной эксплуатации электрооборудования, в первую очередь электродвигателей, новейших методов электротехнологии, интенсификации производственных процессов на основе их электрификации и автоматизации.

В настоящем учебном пособии основное внимание уделено той тематике, связанной с отмеченными выше проблемами, которая еще недостаточно освещена в специальной литературе.

Такой выбор содержания пособия должен способствовать не только скорейшей успешной реализации новых методов интенсификации производства и повышения производительности труда, но и развитию творческого мышления инженеров-электриков сельского хозяйства, самостоятельному выбору новейших методов и средств технологии. Например, в связи с современными тенденциями поиска наиболее экономичных методов энергообеспечения сельскохозяйственных предприятий и увязки их с эффективным использованием системы машин инженерам-электрикам предстоит решать на практике вопросы, связанные с выбором методов энергообеспечения хозяйств в целом и мелких автономных потребителей с учетом возможностей использования вторичных энергоресурсов, возобновляемых источников энергии и т. д.

Причем возобновляемые источники энергии могут быть существенным подспорьем в энергообеспечении технологии и быта в сельском хозяйстве. Однако инженеры-электрики сельского хозяйства не должны при этом обольщаться кажущейся дешевизной этих источников, а проявлять достаточную инженерную и хозяйскую мудрость.

В связи с принятым курсом на развитие подсобных сельскохозяйственных предприятий и цехов при промышленных комплексах и комбинатах, а также в связи с проектированием и созданием сельскохозяйственных предприятий на новых землях в районах развивающихся промышленных комплексов инженеры-электрики сельского хозяйства должны владеть методикой макетного проектирования электрификации сельскохозяйственных предприятий.

В тех случаях, когда ведется расчет средств для электрификации хозяйств в районах традиционного земледелия и животноводства, проектирование целесообразно вести по укрупненным показателям. Метод укрупненных показателей широко используется проектными организациями.

Непосредственное отношение к энергосберегающим технологиям имеют новые решения в овощеводстве в защищенном грунте. Здесь полезно развитие творческой инициативы по разработке и внедрению методов перспективного конвейерного овощеводства. Это в значительной мере может способствовать ускорению решения задачи по круглогодичному обеспечению населения свежими овощами.

Другой важный раздел энергосберегающей технологии — это поиск путей создания и внедрения естественных методов обогрева животноводческих объектов. Известно, что за последние 20...30 лет в результате неоптимальных тенденций в проектировании и строительстве животноводческих объектов неоправданно возросли расходы на обогрев и вентиляцию различных животноводческих объектов. И в то же время сохранились такие животноводческие помещения, которые не нуждаются ни в техническом обогреве, ни в принудительной вентиляции даже в самое холодное время. Поэтому специалисты, занимающиеся вопросами энергетики и электрификации сельского хозяйства, в своей практической деятельности должны уметь находить опти-

мальные варианты энергозатрат на обогрев, вентиляцию и строительные решения и владеть современными методами оптимизации с привлечением вычислительной техники.

Большое место в деятельности инженеров-электриков занимают вопросы эксплуатации. Здесь прежде всего необходимо обеспечить максимально надежную защиту электродвигателей, спроектировать средства и методы для безаварийной эксплуатации электродвигателей. Ибо, несмотря на постоянно выдвигаемые самой жизнью требования о повышении уровня машиноиспользования, повышении качества работы и ответственности за эксплуатацию техники в сельском хозяйстве, все еще высоким продолжает оставаться уровень выхода электродвигателей из строя. Исключительно важно научить молодых специалистов не только проектированию, но и методам безаварийной эксплуатации электродвигателей в сельскохозяйственных установках.

Другая сторона этой проблемы — это внедрение современных методов расчета инженерной службы, которые позволяют лучше использовать квалифицированное рабочее время специалистов, найти резервы для совмещения профессий, поднять надежность работы электрифицированных установок.

Наконец, широкое использование различных электрофизических методов стимуляции всхожести семян, интенсификации процессов фотосинтеза, улучшения поливных свойств воды и т. п. все настойчивее требует творческого осмысливания происходящих при этом в биообъектах явлений. Поэтому в девятой главе авторы обобщили и дополнили наиболее достоверные разрозненные литературные сведения о роли внутренней (на молекулярном и клеточном уровнях) и внешней электромагнитной энергии в развитии биообъектов.

Авторы будут благодарны за все замечания и пожелания и надеются, что настоящее пособие окажет пользу также практическим работникам и специалистам проектных организаций.

**1.1. Система машин и автоматизация как главные факторы научно-технического прогресса в растениеводстве и животноводстве**

В нашей стране создание техники для сельского хозяйства осуществляется в соответствии с постоянно совершенствуемой системой машин, которая является технической основой комплексной механизации и электрификации сельскохозяйственного производства.

Постоянное совершенствование технической оснащенности отрасли — необходимое условие непрерывного увеличения производительности труда. Развитие материально-технической базы открывает возможности к переходу от применения отдельных машин к комплексным поточным линиям с автоматизированным электроприводом, позволяющим резко снизить затраты труда на производство единицы продукции.

Развитие системы машин для молочного животноводства идет по пути создания типоразмерных рядов поточных линий для доения, переработки кормов, их хранения и раздачи, уборки и переработки навоза, обеспечения оптимального микроклимата, максимальной унификации всех животноводческих ферм и комплексов, дальнейшей автоматизации процесса доения с учетом эффективного построения системы «человек—машина—животное».

В свиноводстве система машин развивается по пути ускоренного создания и применения автоматизированных поточных линий, которые предопределяют внедрение все более совершенных технологий содержания животных.

Во всех отраслях животноводства важной задачей является изыскание оптимальных способов автоматизации управления технологическими процессами не только на комплексах, но и на крупных колхозных и сов-

хозных фермах, создание ферм-автоматов для откорма свиней и молодняка крупного рогатого скота, выращивания бройлеров и производства яиц.

Дальнейшее повышение производительности труда в значительной степени зависит от уровня автоматизации процессов и отдельных установок, как стационарных, так и мобильных. Появляются технические решения, например, по автоматизации таких мобильных технических средств, которые могут работать за пределами возможностей человеческого внимания. В частности, можно значительно раздвинуть границы скоростей на полевых работах. Следует увеличить мощность машин и точность их действия путем установки на агрегатах автоматов.

Быстродействие и точность работы мощных и скоростных машин эффективны при программировании их действий. Массовое применение автоматов, в свою очередь, вызовет дальнейшее совершенствование техники и технологии. При этом значительно сократится разрыв между потребностью в рабочей силе и ее фактическим наличием, открывается возможность предъявить более высокие требования к качеству выполнения операций и получаемой продукции.

Таким образом, автоматизация оказалась на первом плане технического прогресса и стала одним из главных направлений технического развития средств механизации не только стационарных, но и мобильных процессов. Расширился круг обязанностей у инженера-электрика.

Промышленность уже выпускает системы автоматизированного управления зерноочистительными агрегатами и зерноочистительно-сушильными пунктами, а также целый ряд отдельных элементов для осуществления схем автоматизации на стационаре методом комплектации.

На свеклоуборочных комбайнах успешно действуют автоматические устройства для направления движения рабочих органов вдоль рядков. Внедряются в производство системы контроля и сигнализации вращения валов высевающих аппаратов, заглубления сошников и дистанционной связи между сеяльщиками и трактористом на посевных агрегатах. Совершенствуются фотоэлектронные системы автоматического контроля работы посевных агрегатов. Они позволяют снять сеяльщиков с

посевных агрегатов и повысить производительность труда на данной операции более чем в два раза, а также увеличить урожайность за счет сокращения просевов. Ведутся опытно-конструкторские работы по созданию систем автоматического вождения сельскохозяйственных тракторных агрегатов.

В конструкции наиболее сложных и крупных сельскохозяйственных машин будут вводиться блоки электронно-вычислительного телеуправления для автоматического регулирования всего процесса работы с обеспечением максимальной производительности в различных условиях эксплуатации. Создаются условия для развития поточных методов проведения работ на уборке зерновых, сахарной свеклы, на заготовке кормов комплексными уборочно-транспортными отрядами. Интенсифицируется производство в целом. Здесь также важно иметь средства автоматического обеспечения программы работы для решения технологических оптимизационных проблем. Автоматизированные средства НОТ и управления должны занять важное место в перспективных формах организации труда.

Дальнейшее внедрение автоматизации требует разработки и освоения в производстве автоматических устройств для обеспечения индивидуального нормирования расхода кормов, диспетчерского управления производственными процессами на комплексах, контроля привесов животных на откорме, контроля качества технологических процессов послеуборочной обработки зерна и качества выполнения механизированных работ в полеводстве, управления работой машинно-тракторных агрегатов при индивидуальном и групповом вождении.

В перспективе из разрозненных технических решений будут созданы стандартизованные модули как для автоматизации отдельных операций и процессов, так и для управления целыми объектами в полеводстве и животноводстве, которые затем войдут в единую автоматизированную систему управления сельским хозяйством.

Учеными отрасли создаются единые научно-методические основы для системы и подсистем АСУ, действующих как в сельском хозяйстве, так и в других звеньях агропромышленного комплекса, завершается внедрение диспетчеризации и связи в сельскохозяйственное производство, разрабатывается генеральная схема управления отраслью и осуществляется ее реализация.

В сельском хозяйстве создаются сети вычислительных центров на базе электронно-вычислительных машин третьего поколения в рамках единой организационной структуры управления, ведутся исследования по биологической кибернетике в целях совершенствования технологических процессов и их управления, создания оптимальных параметров технологических процессов и технических средств.

В свою очередь, успешное развитие материально-технической базы сельского хозяйства предполагает наличие надежной, развивающейся опережающими темпами электроэнергетической базы.

## **1.2. Формы обеспечения сельского хозяйства энергией**

Энергетическая база сельского хозяйства складывается из различных стационарных и мобильных средств, работающих на жидком топливе, газе, угле, торфе, дровах и электрической энергии. Эти виды энергии доставляют по четырем различным каналам с большими расходами на транспорт, средства хранения и раздачи. Уголь и дрова завозят по железной дороге или на автомобилях, нефть и нефтепродукты — специализированными транспортными средствами, газ транспортируют по трубам или доставляют в баллонах. Для передачи и распределения электрической энергии созданы разветвленные электрические сети.

Задача ученых — найти, а инженеров-практиков — внедрить наиболее экономичные перспективные узкоканальные схемы доставки энергии и топлива.

В общем энергетическом балансе сельского хозяйства потребление мобильными средствами энергии жидкого топлива и газа составляет около 35 %. Электросиловые установки (главным образом привод стационарных машин) потребляют 8 % энергии, освещение, облучение и мелкие приборы в быту — около 4 %. А всего в энергетическом балансе сельского хозяйства электроэнергия занимает около 12 %. Тепловые процессы в производстве, в коммунальном хозяйстве и в быту в общем балансе энергопотребления составляют 52 %. Живое тягло в балансе составляет очень малую долю.

Потребление топливно-энергетических ресурсов в сельском хозяйстве увеличивается примерно в полтора

раза через каждые 10 лет. Особо следует отметить тенденцию нарастания потребления жидкого топлива (нефтепродуктов) в сельском хозяйстве. Нарастание потребления нефтепродуктов, учитывая их все возрастающую роль в других отраслях народного хозяйства, в том числе для получения синтетических материалов, лекарственных препаратов, белка для животных и другой продукции, требует серьезной проработки всего комплекса конъюнктурных проблем энергообеспечения на перспективу. При этом следует учесть, что источники получения нефтепродуктов имеют конечные, невозобновляемые запасы, поэтому с течением времени будет наблюдаться постоянное увеличение стоимости нефтепродуктов в связи с усложнением техники добычи нефти из обедненных и остаточных пластов, а также с использованием сложной техники для крекинг-процесса. Поэтому ученые занимаются поиском более усовершенствованных схем энергоснабжения сельского хозяйства с учетом использования как традиционных источников (минеральных топлив, электроэнергии), так и перспективных, в первую очередь синтетических топлив, а также ядерной энергии.

Чтобы оценить наиболее перспективные решения по энергообеспечению сельскохозяйственных потребителей, рассмотрим баланс энергопотребления модельными хозяйствами в двух основных зернопроизводящих зонах страны: Западной Сибири и Казахстане и на Северном Кавказе. Модельное хозяйство в первом случае имеет 40 тыс. га сельскохозяйственных угодий, в том числе 25 тыс. га пашни, 500 дворов, 2000 дойных коров. Потребление тепловой энергии хозяйством на перспективу (10...15 лет) составляет 16 500 т усл. топл., или в пересчете на электроэнергию 135 млн. кВт·ч; потребность же в электроэнергии составляет всего 5,6 млн. кВт·ч на хозяйство (4 %). Напрашивается предложение — создать такой канал обеспечения тепловой энергией, который мог бы произвести попутно эти 4 % электрической энергии.

Для Северного Кавказа, где модельное хозяйство включает 10 тыс. га сельскохозяйственных угодий, в том числе 6,1 тыс. га пашни, 900 дворов, имеет 2000 голов крупного рогатого скота, общее потребление тепловой энергии составляет 9550 т усл. топл. (78 млн. кВт·ч), а потребность в электроэнергии всего 4,5 млн.

кВт·ч. Здесь также вполне оправданно искать способ узкоканального энергоснабжения с попутной выработкой электроэнергии.

Перспективную тепловую потребность может обеспечить атомная тепловая станция мощностью около 100...500 тыс. кВт. На 5...10 модельных хозяйств одна крупная атомная тепловая станция, имеющая оптимальные технико-экономические показатели 500...1000 МВт, приемлема уже в ближайшее время.

Для нужд колхозов и совхозов в большом количестве требуются затраты тепловой энергии на производство холода для консервирования зеленых кормов и фуражного зерна, хранения продукции овощеводства и плодородства.

Особо следует отметить целесообразность замены котельных крупных тепличных комбинатов, работающих на газе и нефтепродуктах, атомными станциями теплоснабжения (АСТ). В настоящее время на тепличных комбинатах на газовом топливе в средней полосе страны на производство 1 кг огурцов расходуется примерно 11 м<sup>3</sup> газа, а на угольных котельных при тепличных комбинатах — не менее 10 кг угля.

При современной технологии производства травяной муки и брикетированных кормов расходуется до 300 кг жидкого топлива на 1 т сухой массы.

Если же использовать АСТ на 500 МВт, то можно обеспечить теплотой все технологические процессы в 5...10 модельных хозяйствах или тепличное хозяйство с площадью остекленных теплиц не менее 1000 га. Если на таких станциях стоимость 1 кВт·ч тепловой энергии составит 0,1...0,3 к., то доля в себестоимости, например, 1 кг огурцов, приходящаяся на обогрев, составит 10...30 к., что меньше, чем при использовании традиционных котельных в европейской части СССР, работающих на газе и жидком топливе.

Для межхозяйственных атомных станций (на 5...10 крупных агропромышленных объединений) в качестве полезной нагрузки перспективно применять обогрев защищенного и открытого грунта.

При наличии мощного источника тепловой энергии в виде атомных станций становится реально осуществимой и целесообразной в модельном хозяйстве биогазодуменная установка, которая в течение круглого года может вырабатывать биогаз и производить высококачествен-

венное органическое удобрение, а также белково-витаминный концентрат (БВК) как побочный продукт.

По подсчетам ученых, если растительные остатки с 25 000 га пашни, а также навоз с ферм на 10 000 голов и стоки из поселка перерабатывать на биогазогумусной установке, то можно получить 520 тыс. т высококачественных органических удобрений при влажности 94 %, 2000 т БВК при влажности 14 % и 15,5 млн. м<sup>3</sup> газа, эквивалентных по скрытой теплоте сгорания 8000 т бензина. Этого количества биогаза достаточно для покрытия значительной доли потребностей поселка в газе для приготовления пищи и привода тракторов.

В получаемом (в биогазогумусной установке) удобрении азота, фосфора и калия сохраняется соответственно на 99, 100 и 100 %, в то время как при буртовании навоза их остается 79,5; 92 и 85 %. Весь биогаз из навоза, хранимого в буртах, теряется, и с ним уносится в атмосферу 39 кг углерода на тонну (из общего его количества 116 кг).

В связи с разработкой высокоэффективных методов термоллиза и электролиза воды на водород и кислород на атомных тепловых установках в будущем можно будет получать синтетические топлива в виде водорода и его производных.

### **1.3. Основные задачи в области электроснабжения сельского хозяйства**

Увеличение потребления электроэнергии наряду с предстоящими качественными изменениями в составе сельскохозяйственных потребителей и постепенным переводом сельского хозяйства на индустриальную основу требует коренного улучшения системы электроснабжения и решения таких важнейших задач, как повышение ее надежности, широкое внедрение подземных кабельных линий напряжением 0,38 и 10 кВ, определение оптимальных способов резервирования, в том числе за счет дизельных электростанций.

Применение кабельных линий повышает надежность электроснабжения, уменьшает ущерб, наносимый сельскохозяйственному производству перерывами в подаче электроэнергии, исключает необходимость защиты сетей от атмосферных перенапряжений, от ураганов и гололеда, исключает затраты на высококачественную

древесину, стальные и железобетонные изделия, снижает опасность поражения персонала электрическим током, значительно сокращает убытки, наносимые отчуждением земель при строительстве электрических сетей.

Однако кабельные сети требуют более высоких капиталовложений по сравнению с воздушными. Поэтому требуется специальное технико-экономическое обоснование целесообразности строительства кабельных сетей.

Следует отметить, что еще в 1954...1956 гг. в селе Ям Подольского района Московской области были созданы подземные кабельные сети. Их общая протяженность составила около 30 км с четырьмя трансформаторными подстанциями 6/0,4 кВ. Эта кабельная сеть работает практически бесперебойно до настоящего времени.

Стоимость перспективных облегченных подземных кабелей превысит стоимость воздушных линий всего на 18...22 %.

Надежное обеспечение постоянно увеличивающейся потребности сельского хозяйства в высококачественной электрической энергии требует совершенствования системы передачи и распределения электроэнергии напряжением 110...220/35/10/0,4 кВ и более широкого применения напряжений 110...220/10 и 110/20 кВ.

Одно из наиболее важных условий эффективного и качественного электроснабжения — это приближение высоких напряжений к потребителям, расширение питающих сетей напряжением 35...110 кВ, а также переход на использование этих линий в качестве распределительных с одновременным сокращением радиуса действия сетей 10 кВ.

Необходимо увеличивать единичную мощность трансформаторов и число двухтрансформаторных подстанций всех напряжений с применением схем с двухсторонним питанием. Повышение надежности электроснабжения обеспечивает внедрение регулирования напряжения, увеличение коэффициента мощности, а также насыщение сетей автоматическими устройствами и различными устройствами, следящими за состоянием сетей.

В связи с тем что крупные животноводческие и птицеводческие предприятия отнесены к первой категории

надежности, их следует обеспечивать резервным электроснабжением.

При выборе оптимального варианта проектируемых сетей и с целью получения лучшей пропускной способности электрических сетей необходимо стремиться к повышению точности определения значений расчетных электрических нагрузок, добиваться уплотнения и выравнивания их суточных и сезонных графиков, пользуясь при их составлении сведениями о реальных технологических процессах и технических средствах, применяя технологические накопительные устройства, автоматическое регулирование нагрузок трансформаторов, добиваясь снижения установленной мощности электроприемников при одновременном увеличении продолжительности их включения в сеть, используя устройства, компенсирующие реактивные нагрузки.

Внедрение кабельных линий напряжением 0,38... 10 кВ в первую очередь следует осуществить для внутрихозяйственных сетей на животноводческих и других предприятиях.

Большой эффект дает улучшение качества и увеличение выпуска для нужд сельского электроснабжения силовых трансформаторов 35/10 кВ мощностью 1800... 6300 кВ·А с автоматическим регулированием напряжения, силовых трансформаторов 6... 20/0,4 кВ мощностью до 630 кВ·А, кабельной продукции на напряжение 0,4 и 10 кВ, комплектных трансформаторных подстанций и распределительных устройств напряжением 10... 0,4 кВ, регулируемых конденсаторных установок поперечной компенсации реактивной мощности, релейной и коммутационно-защитной аппаратуры напряжением 0,38 кВ, комплексов устройств обнаружения и сигнализации аварийных и ненормальных режимов работы сетей и др.

#### **1.4. Оценка перспективных методов энергоснабжения мелких потребителей**

В современном сельском хозяйстве имеется большое число мелких автономных объектов, электро- и тепло-снабжение которых является не только технической, но и важной социальной проблемой.

К таким потребителям в первую очередь относятся жилища чабанов и водопойные пункты на отгонных па-

стбищах, отдельные жилые дома или группы в 2...3 дома, в которых проживает персонал, обслуживающий отдаленные животноводческие фермы, бригадные полевые станы и дома бригад, передвижные домики для рабочих. Почти все эти объекты располагаются в местах, удаленных от централизованного энергоснабжения.

Потребность в электрической энергии одного жилого дома в сельской местности составляет примерно 400...500 кВт·ч/год. Потребность в энергии на отопление — 15...20 тыс. кВт·ч/год, на приготовление пищи и горячее водоснабжение — 2...3 тыс. кВт·ч/год.

Необходимо отметить, что капитальные затраты на сооружение огневых печей для отопления дома на четыре человека составляют 150...300 р. Издержки, связанные с эксплуатацией индивидуальных отопительных установок, составляют в среднем (7...8)  $10^{-3}$  р/(кВт·ч). Пока на удаленных сельскохозяйственных объектах требуется количество топлива практически повсеместно заготавливают самостоятельно, причем во многих случаях используют низкосортные топлива. Так, на отгонных пастбищах Казахстана и Киргизии кизяк является основным видом топлива. Стоимость его в пересчете на 1 т усл. топл. составляет 80...140 р. (дров — 180...200 р.). При этом часто не учитываются большие потери рабочего времени на заготовки местного топлива.

Энергия ветра для электрификации сельского хозяйства даже в районах с малой плотностью нагрузки не может быть использована прежде всего потому, что ветроэлектрические станции не гарантируют бесперебойного электроснабжения. Его постоянство — первейшее и необходимое условие комплексной электрификации сельскохозяйственного производства. Установка же резервной тепловой электростанции при ветростанциях для достижения бесперебойности нецелесообразна, так как требует дополнительных капитальных вложений и сохраняет проблему доставки горючего. Поэтому ветродвигатели нашли незначительное применение лишь для механического привода мельниц и для орошения небольших участков овощных культур и садов.

Ветродвигатели находят широкое распространение в ряде стран с мелкофермерским хозяйством. В наших условиях для приусадебных хозяйств при отсутствии

централизованного электроснабжения перспективны ветродвигатели мощностью до 0,5 кВт. Другими словами, реальные перспективы для широкого использования ветродвигателей имеются лишь на объектах, расположенных в труднодоступной местности, в степных, пустынных и полупустынных зонах страны, в оазисах, на островах, в первую очередь для подъема воды, а в местах постоянно дующих ветров и для электроснабжения. Ученые установили, что к зонам с перспективными для использования ветра территориями можно отнести Черные земли, Ногайские и Кулундинские степи, ряд районов Казахстана, Алтая, Камчатки, Крайнего Севера.

Создан ряд ветронасосных установок, имеющих одни и те же параметры и предназначенных для подъема воды из шахтных колодцев и скважин глубиной до 30 м с дебитом не менее 0,5 л/с. Это прежде всего водоподъемники ВП-3М и ВБ-3Т, ветроэлектростанции АВЭС-0,1, АВЭС-1-5 и др.

Исследования последних лет, проведенные Гипроводхозом СССР, показали, что для повышения срока службы малodeбитных водонсточников целесообразно переходить к специальным типам колодцев с мощными гравийными фильтрами и к водоподъемникам, производительность которых не должна превышать дебит водонсточников. Дебит таких источников (до 83 % от общего числа) обычно не превышает 0,1 л/с (0,36 м<sup>3</sup>/ч). И здесь для обеспечения одной или двух отар овец водоподъемное устройство и его энергетическая часть должны работать 20...24 ч в сутки. Ветроподъемники же могут быть рекомендованы к установке лишь там, где имеется возможность за 5...6 ч обеспечить страховой запас воды на 3...5 суток возможного безветрия. Это условие резко ограничивает число источников воды, у которых можно рекомендовать установку ветронасосных агрегатов мощностью 1 кВт и более.

Проектируя использование ветра в данном регионе, следует учитывать, что ветродвигатели нельзя устанавливать в местах гнездований птиц и вблизи путей их миграции, чтобы избежать массовой гибели. От пасек ветродвигатели должны быть расположены на расстоянии не менее 2 км.

В настоящее время для обеспечения электрической энергией кошар и домиков чабанов на пастбищах Кир-

гизии и Казахстана наиболее широко используются автоматизированные бензоэлектрические агрегаты типа АБМ мощностью 2...4 кВт. Затраты на их обслуживание составляют в среднем 0,123 р/ч. При четырехчасовой работе агрегата в сутки ежегодные затраты на обслуживание составляют около 180 р. Годовые эксплуатационно-технические расходы (топливо, смазочные материалы и их доставка) для агрегата АБМ-2, работающего по 4 ч в сутки, составляют около 130 р. Годовой расход топлива 2,0 т, смазочных материалов 600 кг.

Следует также учесть, что энергоснабжение удаленных сельскохозяйственных потребителей по схемам: бензо- или дизель-электрический агрегат+топливо и ветроагрегат+топливо требует больших капитальных затрат, значительного количества металла и сопряжено со сложностью и трудоемкостью обслуживания установок и достаточно высокими затратами времени на заготовку и транспортировку топлива.

В себестоимость энергии, получаемой от любого источника, входят амортизационные отчисления, эксплуатационные расходы и стоимость первичной энергии. Иными словами, если ветроэнергия сама по себе бесплатна, то механическая или электрическая энергия, получаемая от ветроэнергетического агрегата, будет иметь вполне определенную стоимость. Например, если начальная стоимость ветроагрегата 750 р., а срок его службы 10 лет, то ежегодно на амортизацию нужно получить за выработанную энергию 75 р. Если ветроагрегат выработал 1000 кВт·ч, то доля в стоимости полученной энергии, приходящаяся на амортизацию, составит 7,5 к/(кВт·ч). Доля на оплату разъездного механика и затраты на ремонт составят по меньшей мере 2...3 к/(кВт·ч), если один механик обслуживает 10...16 агрегатов. Таким образом, энергия, полученная от ветроагрегата, будет стоить не менее 10 к/(кВт·ч).

Если ветроустановка работает на подъеме воды для отары в 800...1000 овец, то при средней глубине колодца 10...20 м и общем потреблении 5 м<sup>3</sup> воды в сутки ежедневная потребность в энергии составит 0,75...1,5 кВт·ч, а в год — не более 600 кВт·ч, при поении двух отар от одного колодца — до 1200 кВт·ч.

Значит, оценивая насосные установки на водопойных пунктах, следует говорить не о возможной их выработке, а об обеспечении годового (сезонного) водо-

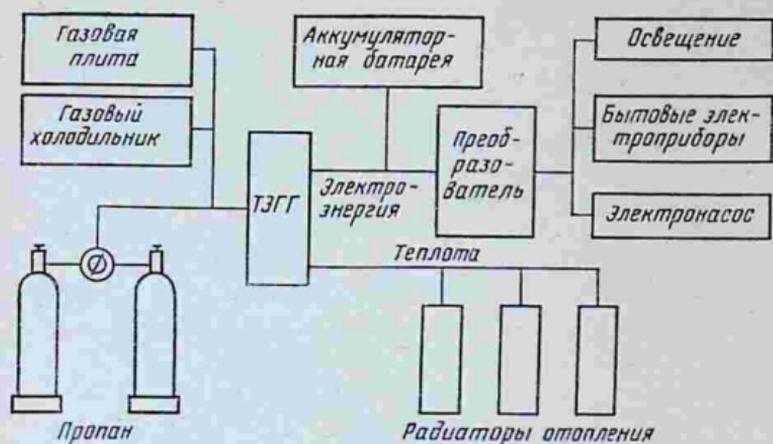


Рис. 1.1. Схема комплексного энергообеспечения автономного сельскохозяйственного потребителя.

потребления, о том количестве воды, которое можно и нужно дать животным.

Ветроустановки могут оказаться эффективными в зонах со среднегодовой скоростью ветра менее 4 м/с, при стечении ряда факторов, не способствующих применению бензоагрегатов, в районах с очень большим удалением пастбищ от центральных усадеб колхозов и совхозов, при отсутствии каких-либо дорог.

Одной из перспективных является схема комплексного энергоснабжения, предусматривающая централизованную доставку на объект одного вида энергоносителя — сжиженного газа, который используется для получения требуемого количества теплоты и электрической энергии.

Газовый термоэлектрический генератор (ТЭГГ) — основной элемент схемы вырабатывает электрическую и тепловую энергию (рис. 1.1). Важнейшее преимущество ТЭГГа в том, что он относится к необслуживаемым энергоустановкам. Для нормальной эксплуатации его необходимы лишь смена газовых емкостей и внешний осмотр установки. Мощность ТЭГГа выбирают в зависимости от суточного количества энергии, потребляемой всеми электроприемниками объекта. Для обеспечения пиковых нагрузок можно использовать буферную аккумуляторную батарею. При необходимости в

схему включают преобразователь постоянного тока в переменный с частотой 50 Гц и напряжением 220 В. Отработанную теплоту ТЭГГа используют для отопления помещений. Осуществимы два метода отопления: воздушный конвективный и водяной радиаторный. Первый метод применим для отопления помещений малого объема, второй — для отопления помещений, имеющих несколько отсеков.

При работе только на производство электроэнергии расход газа ТЭГГом мощностью 100 Вт составляет не более 0,4 кг/ч. Коэффициент полезного действия ТЭГГа в настоящее время невелик — 3,5...4,0 %. К 1990 г. предполагается довести его до 7...8 %. Но так как, кроме электрической энергии, потребитель получает от ТЭГГа горячую воду, отапливает помещение и готовит пищу, общий энергетический КПД составляет около 70 %.

Максимальный расход газа при круглосуточной работе ТЭГГа и газового холодильника при наличии мелких бытовых электроприемников и электронасоса для подъема воды с глубины 20...40 м на отару до 1000 голов составит около 3940 кг в год. Если на объекте отсутствуют холодильник и электронасос, то расход газа уменьшается до 700 кг в год.

### **1.5. Перспективы использования солнечной энергии**

Солнечная энергия во многих странах рассматривается как один из дополнительных источников, могущий дать весомую прибавку в энергетическом балансе уже в ближайшие 10...15 лет. Это энергетическое подспорье может быть эффективным не только в южных широтах, но и в северных.

Наиболее перспективными районами для солнечных установок в нашей стране считаются Среднеазиатские и Закавказские республики, а также Северный Кавказ, Южное Поволжье, Казахстан. Здесь продолжительность солнечного сияния достигает от 2200 до 3000 ч в год, а общая солнечная энергия, приходящаяся на 1 м<sup>2</sup> горизонтальной поверхности, за год составляет от 1280 до 1869 кВт·ч. В солнечный июльский день эта энергия составляет 6,4...7,5 кВт·ч/м<sup>2</sup>.

Средняя реальная мощность солнечного лучистого потока, достигающего поверхности, составляет около

160 Вт/м<sup>2</sup>. В течение года и суток она колеблется в широких пределах, достигая максимума 1...1,3 кВт/м<sup>2</sup> в безоблачный полдень в южных и средних широтах.

Растения в процессе фотосинтеза преобразуют около 0,2 % падающего на них излучения. В масштабах всей планеты это около  $360 \cdot 10^{12}$  Вт, что примерно в 40 раз больше всех энергетических мощностей, используемых человеком.

Солнечную энергию можно использовать для получения в первую очередь низкопотенциальной теплоты для горячего водоснабжения, опреснения воды, сушки сельскохозяйственной продукции, отопления зданий, обогрева сооружений защищенного грунта, получения средне- и высокопотенциальной теплоты для плавления и обработки различных материалов, для выработки электроэнергии в автономных энергетических установках.

Сократить расход энергии в сельском хозяйстве можно, четко выполняя мероприятия по снижению потерь теплоты путем теплоизоляции внутренних стен зданий, замены двухрамочных окон трехрамочными, уменьшения вентиляционной нормы воздухообмена, ограничения потребления горячей воды, правильной регулировки температуры внутри помещения, повышения КПД приборов обогрева, устройства тамбуров в животноводческих и других производственных помещениях.

Для управления освещением следует применять фотореле, которые, кроме включения и выключения системы, регулировали бы и интенсивность освещения. Этим можно сэкономить 40...80 % электроэнергии, идущей на освещение.

Для того чтобы теплота не уходила излучением через окна в ночное время, когда стекла охлаждаются, необходимо использовать плотные занавеси — гардины или жалюзи, помещаемые между рамами (рис. 1.2). Причем целесообразно окрасить одну сторону жалюзи в черный, а другую в белый цвет. Днем черную сторону жалюзи обращают наружу, солнце нагревает их поверхность, и воздух, циркулирующий между оконными стеклами, нагревается. Если жалюзи обращены к солнцу белой стороной, то лучи отражаются и теплота не попадает в комнату.

С точки зрения рациональной энергетики применение охладителей-кондиционеров в средних широтах считается расточительством. Здесь эффект охлаждения



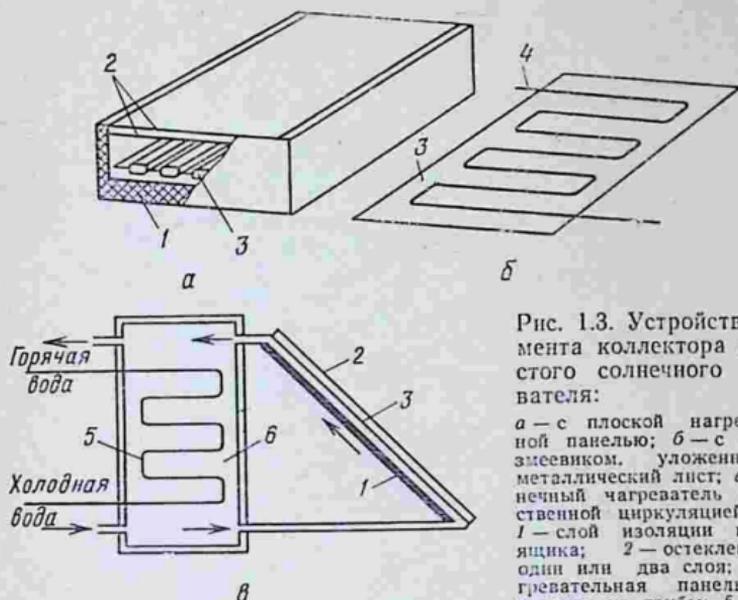


Рис. 1.3. Устройство элемента коллектора и простого солнечного нагревателя:

*а* — с плоской нагревательной панелью; *б* — с трубчато-змеевиком, уложенной на металлический лист; *в* — солнечный нагреватель с естественной циркуляцией воды; *1* — слой изоляции на дне ящика; *2* — остекление в один или два слоя; *3* — нагревательная панель; *4* — змеевик из трубы; *5* — змеевик теплообменника; *6* — аккумулятор тепла.

энергии поглощается панелью в том случае, если она расположена перпендикулярно к падающим лучам. Отклонение от перпендикуляра к солнцу на  $25^\circ$  снижает поглощательную способность на 9 %, а при  $45^\circ$  — на 29 %. Поэтому достаточное теплоулавливание обеспечивается и жестко закрепленной панелью, не поворачивающейся за солнцем.

В средней полосе нашей страны мощность потока в летний день при ярком солнце составляет около  $1 \text{ кВт/м}^2$ . В облачный же день эта мощность может оказаться в 2...3 раза меньше, однако и этот рассеянный солнечный свет может обеспечить эффективную работу нагревателей.

На рисунке 1,3, *в* приведен простой солнечный нагреватель с естественной циркуляцией с использованием плоского солнечного коллектора. Вода нагревается в плоской или трубчатой панели-коллекторе и самотеком поднимается вверх, в бак-аккумулятор, откуда ее потребляют по необходимости. При высокой интенсивности солнечной радиации в этот бак-аккумулятор может быть помещен теплообменник в виде змеевика.

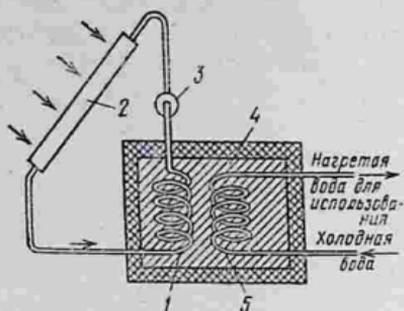


Рис. 1.4. Двухконтурный солнечный нагреватель с теплообменником:

1 — змеевик первого контура; 2 — солнечная панель; 3 — насос; 4 — жидкий теплоноситель; 5 — змеевик второго контура.

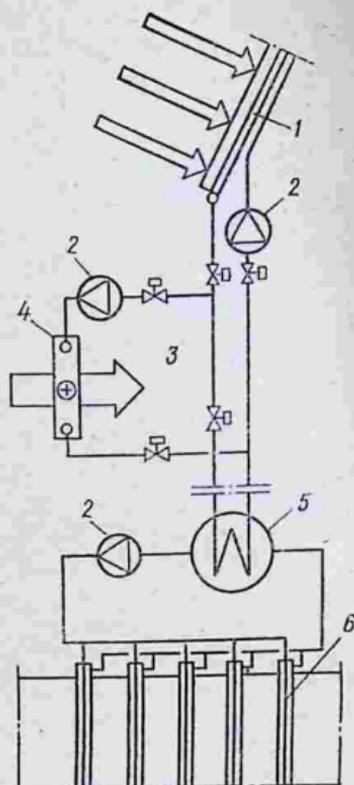


Рис. 1.5. Схема установки с использованием солнечной энергии для обогрева помещения с аккумулярованием теплоты в грунте:

1 — солнечные панели; 2 — насосы; 3 — система обогрева помещения; 4 — подогрев свежего воздуха; 5 — теплообменник в подвале помещения; 6 — накопители теплоты в грунте.

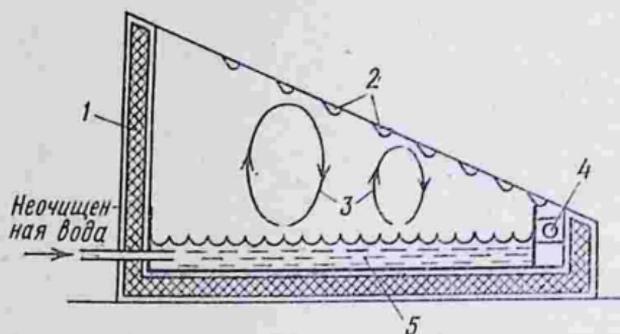


Рис. 1.6. Солнечный опреснитель:

1 — ящик опреснителя; 2 — конденсат; 3 — конвективные потоки с парами воды вверх; 4 — сборник очищенной воды; 5 — слой воды в поддоне.

Если требуется подогрев воздуха, то в пластине-поглопителе высверливают множество отверстий и воздух, проходя снизу вверх, хорошо отнимает теплоту от панели.

В ряде случаев целесообразно применять теплообменник, в котором теплота от нагревательных панелей поступает в змеевик, где часть ее расходуется на подогрев протекающей в теплообменнике воды, остальная часть снова поступает в панель (рис. 1.4). Подобным образом можно аккумулировать теплоту.

В качестве накопителя теплоты можно использовать, например, погреб, заполненный камнями, которые подогреваются от змеевика, а затем отдают теплоту воздуху, продуваемому через камни. На рисунке 1.5 показана схема установки с использованием солнечной энергии для обогрева помещения с аккумулярованием теплоты в грунте, разработанная и используемая в условиях Финляндии. В теплообменной цепи с солнечным коллектором используется антифриз. Солнечная теплота, запасенная в грунте летом, зимой используется для обогрева помещения, а летом — для охлаждения воздуха в здании.

При недостатке пресной воды ее можно получить путем солнечного опреснения загрязненной или соленой воды. На рисунке 1.6 изображен простой солнечный опреснитель. Вода, протекая тонким слоем в поддоне, хорошо нагревается. Пары конденсируются на внутренней стороне покрытия из стекла или пленки и стекают в сборник дистиллята.

В заключение следует отметить, что различные солнечные нагреватели малой мощности, где стоимость не играет решающей роли, необходимо широко использовать уже в настоящее время.

При их монтаже следует помнить, что при стечении обстоятельств может закипеть вода и разорваться нагреватель, если, например, откажет система циркуляции воды. В морозные дни следует принимать меры против возможного замерзания и разрыва труб.

## 1.6. Устройство биогазогумусных установок

Методы реализации энергии биомассы. Солнечная энергия, запасенная в биомассе, может быть использована прямым сжиганием биомассы, анаэробным сбра-

живанием с получением биогаза и высококачественного удобрения, пиролизом с получением жидкого топлива.

Биогаз выделяется при анаэробном сбраживании сельскохозяйственных отходов, содержащих целлюлозу. Из 1 т сухого вещества навоза при оптимальных условиях можно получить 340 м<sup>3</sup> биогаза, или в пересчете на одну голову крупного рогатого скота в сутки 2,5 м<sup>3</sup>, а в течение года примерно 900 м<sup>3</sup>. Биогаз состоит из 65 % метана и 35 % углекислого газа. Один кубический метр метана при сгорании дает 23 МДж теплоты. Если использовать биогаз, получаемый из навоза от одной коровы в течение года в качестве топлива на тепловой электростанции, то это может дать около 900 кВт·ч электроэнергии.

Для метанового сбраживания можно использовать любые растительные отходы. Но лучшая органическая масса для получения биогаза — навоз крупного рогатого скота в смеси с растительными остатками при соотношении этих компонентов 1:2 или 1:1. Удельный выход газа при этом на 15...20 % выше, чем при использовании одного навоза. Устойчиво протекает процесс и при смешивании навоза крупного рогатого скота (КРС) с навозом свиней (1:2) или с древесными опилками, используемыми в качестве подстилки.

Лучшие удобрения и максимальный выход газа получаются при разложении органического вещества на 30...33 %. Для достижения такого уровня разложения массы требуется 20...22 дня, поэтому объем камер для фермы (усадыбы) должен быть равен примерно двадцатидвухдневному выходу навоза и другой органики. При пребывании массы в метановых камерах в течение 14...15 дней полнота ее разложения составляет 25 %. Соответственно ежесуточная нагрузка не должна превышать 1/22, или 4,5...5 %, объема камеры. Добавляемая каждые сутки доза автоматически вытесняет такое же количество перебродившего материала.

Важный побочный продукт метанового брожения навоза — витамин В<sub>12</sub>. В одном литре перебродившего навоза его содержится до 300 мкг. Для получения витамина жидкую фракцию отделяют и очищают от перебродившей соломы и других грубых остатков, а затем высушивают при температуре до 70°C. В полученном концентрате витамина содержится 8...10 мкг/г. Теоретически от одной коровы в течение года можно полу-

чить до 1 т концентрата, содержащего до 10 г чистого витамина В<sub>12</sub>, которым можно обогатить 300 т кормов.

На рисунке 1.7 представлена схема простейшей биогазовой установки, широко используемой в странах Азии. Через устройство для загрузки свежего навоза и растительных остатков масса поступает в бродильную камеру 1. Для подогрева массы в холодное время используется теплообменник 2, выполненный из эластичной пластмассовой трубки (шланга), через которую пропускают горячую воду. Подогревательное устройство может быть встроено и в перегородку 7. Выделяющийся при сбраживании массы биогаз собирается под колоколом газгольдера 4. Он может быть выполнен из тонкой доски и герметизирован пленкой.

К потребителю газ подается по газопроводу с фильтром очистки 5 от сероводорода.

В отделение для дображивания 8 масса поступает после перебродивания и всплытия в бродильной камере 1.

В такой установке не достигается высокая степень разложения массы. Кроме того, здесь имеются трудности, связанные с разрушением плавающей корки и с удалением осадка из крупных частиц на дне в камере 1. Его приходится выгребать вручную.

На рисунке 1.8 изображена биогазовая установка проточного типа. Навоз из помещения для скота попадает через трубу 1 в сборник, откуда насосом 2 подается в приемную камеру 3. Из нее по принципу сообщающихся сосудов через трубу 4 он попадает в бродильную камеру 5, где установлено перемешивающее устройство 6.

Полусброженная масса затем через трубу 8 стекает в камеру 7, где происходит ее окончательное сбраживание. Перебродивший и всплывший шлам через трубу 10 попадает в сборник шлама 11, откуда он затем через выпуск 12 забирается на поля (удобрение). Крупные тяжелые остатки удаляются через шнек 13. Для компенсации потерь тепла через стенки установлен нагреватель 9.

Имеется большое разнообразие конструкций биогазовых установок, которые можно встретить в литературе или в проектах. При изготовлении их своими силами необходимо соблюдать следующие требования.

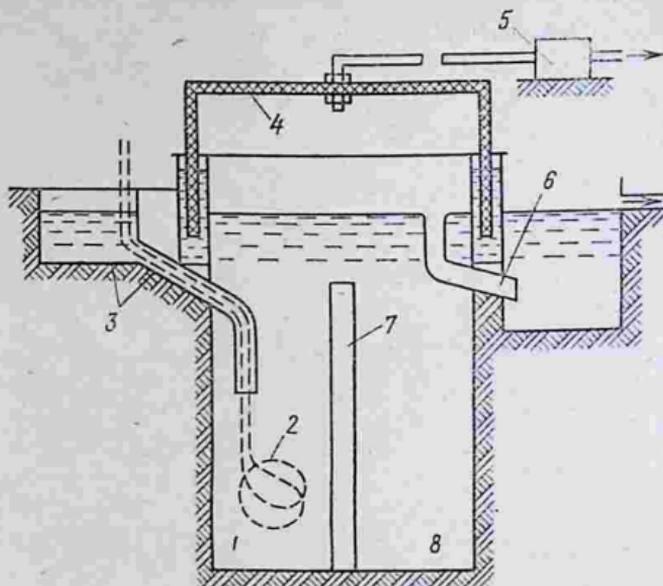


Рис. 1.7. Схема простейшей биогазовой установки:

1 — броуиальная камера; 2 — трубчатый теплообменник; 3 — устройство для загрузки свежего жидкого навоза; 4 — колокол газгольдера; 5 — фильтр очистки от сероводорода; 6 — труба слива сброшенной массы — удобрения; 7 — перегородка; 8 — отделение для дображивания массы.

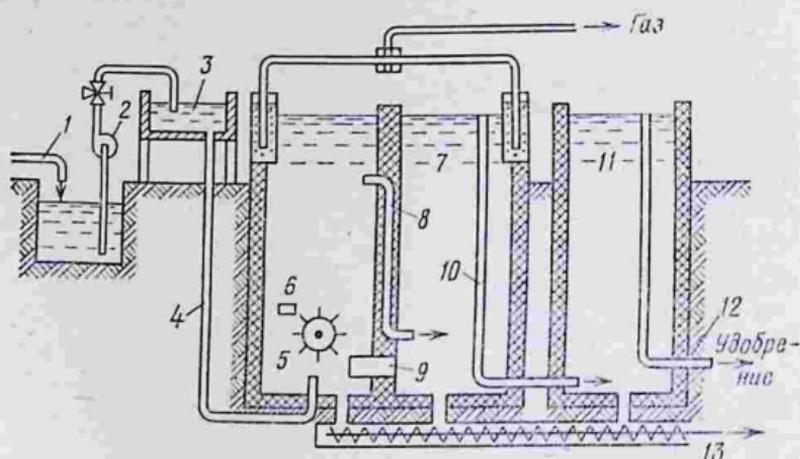


Рис. 1.8. Биогазовая установка проточного типа:

1, 4, 8, 10, 12 — трубы, обеспечивающие самотек массы в процессе работы установки; 2 — насос; 3 — приемная камера; 5 — броуиальная камера; 6 — перемешивающее устройство; 7 — камера дображивания; 9 — нагреватель для компенсации потерь через стенки; 11 — сборник сброшенной массы; 13 — шнек для удаления крупных осадков.

**Бродильная камера** должна иметь хорошую герметизацию, не допускающую газообмена и протечек жидкости через стенки, иметь хорошую теплоизоляцию, быть стойкой к коррозии. Внутренняя часть камеры должна быть доступной для обслуживания, иметь простые средства для загрузки и опорожнения. Наиболее подходящим материалом для камеры объемом до 40 м<sup>3</sup> является стеклопластик. В крупных установках камеры делают из бетона.

Бродильные камеры можно заглублять в землю, где их удобнее теплоизолировать и герметизировать.

**Нагревательное устройство** необходимо для обеспечения требуемой для процесса брожения температуры, а также для компенсации тепловых потерь. Подачу теплоты целесообразно сочетать с интенсивным перемешиванием. Подогрев можно осуществлять путем подачи горячей воды в сбразживаемую массу или пара под давлением. Температура воды в теплообменнике не должна превышать 60 °С. Более высокая температура вызывает налипание на трубах теплообменника элементов массы.

В ряде случаев может оказаться целесообразным использовать теплоту от свежего шлама для подогрева загружаемого навоза (рекуперация теплоты). При встраивании бродильной камеры в помещение для скота или в дом газгольдер необходимо удалять от помещения, тщательно герметизировать и теплоизолировать от наружного воздуха.

**Устройство для перемешивания** сбразживаемой массы и предотвращения образования корки может быть механического (с электроприводом), гидравлического или пневматического действия. В малых приусадебных установках можно обойтись ручным перемешиванием.

**Газгольдер** выполняют в виде надстройки на бродильную камеру (рис. 1.7 и 1.8), а также отдельно стоящим, соединенным трубопроводом с бродильной камерой. При работе затвора газгольдера в холодное время применяют антифриз. В малых установках газ можно собирать в подушку из многослойной синтетической ткани или в гармошку из подушек. На них укладывают груз, который обеспечивает подачу газа потребителю под давлением до 2 кПа. Самым простым сборником газа может быть простейший мешок из пленки.

Хотя опасность взрыва в системах низкого давления и мала, тем не менее надо соблюдать правила техники безопасности, регламентированные для газовых установок, не допускать избыточного давления, не курить, не разжигать костры в радиусе до 10 м от газгольдера, иметь соответствующие предупреждающие надписи и плакаты.

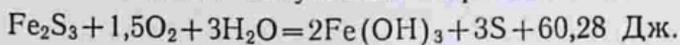
В бродильных камерах следует иметь хорошую вентиляцию. Обслуживать их должны компетентные работники, знающие правила эксплуатации. За работающим в камере должны наблюдать два человека, чтобы в случае опасности удушья или взрыва прийти ему на помощь.

Размещать газгольдеры следует на расстоянии не менее 5 м от домов. Если газгольдер установлен вне двора, то его необходимо огораживать.

При использовании газа надо удалять из него сероводород (обессеривание) и уголекислоту, если газ предполагается сжигать для последующего его использования в качестве горючего.

Наиболее простой метод обессеривания — это пропускание газа через катализатор из гидроксиды трехвалентного железа  $\text{Fe}(\text{OH})_3$ . При этом протекают следующие реакции:  
при обессеривании

$$2\text{Fe}(\text{OH})_3 + 3\text{H}_2\text{S} = \text{Fe}_2\text{S}_3 + 6\text{H}_2\text{O} + 61,92 \text{ Дж};$$
при восстановлении полученного сернистого железа



Этот этап получения биогаза также требует соблюдения требований техники безопасности.

В малых установках биогаз не очищают от  $\text{CO}_2$ .

### **2.1. Основные категории комплексной электрификации**

При комплексной электрификации должно быть достигнуто гармоническое сочетание прогрессивных технологий, системы электрифицированных машин, рациональной организации труда и производства, позволяющее осуществить высокоэффективное производство сельскохозяйственной продукции. При этом предполагается использовать электротехнические средства не только для обеспечения рабочих операций, но и для улучшения условий труда и организации производства.

Если все рабочие операции по производству исходного и конечного продукта выполняются системой машин без применения ручного труда, то эта высшая форма организации производства называется поточной. Она создает условия для автоматизации как отдельных технологических операций, так и всей технологии в целом.

Следует различать понятия: объекты электрификации и средства электрификации.

**Объекты электрификации** — это поточные линии, сельскохозяйственные предприятия, оросительные и осушительные системы, коммунально-бытовые, торговые и обслуживающие предприятия, населенные пункты и территориальные районы, где имеются рабочие операции, технологические процессы.

К **средствам электрификации** относятся устройства, оборудование, приборы и аппараты, снабжающие энергией, преобразующие электрическую энергию в другие виды или использующие ее непосредственно при выполнении рабочих операций. Чем крупнее объект, тем больший набор средств потребуется для решения задачи комплексной электрификации.

На эффективность применения электротехнических средств оказывают влияние специфические условия

сельскохозяйственного производства, которые необходимо учитывать при разработке проектов электрификации. Рассмотрим основные из них.

Сельскохозяйственное производство всегда связано с биологическими объектами (животные, растения и другая сельскохозяйственная продукция). Поэтому требования бесперебойного снабжения электроэнергией ряда сельскохозяйственных предприятий, точного поддержания параметров окружающей среды при автоматическом управлении и другие определяются требованиями биологии сельскохозяйственных объектов. Проектирование без учета этих требований может привести к снижению выхода продукции, а иногда и к ее гибели (молодняка животных и птицы, семян, овощной рассады в теплицах).

Сельскохозяйственное производство характеризуется большим разнообразием окружающей среды, в которой приходится работать машинам и средствам электрификации. Отрицательными факторами окружающей среды являются резкое колебание температуры (лето, зима), повышенная влажность воздуха (в некоторых случаях до 100 %), повышенное содержание агрессивных примесей (аммиака, углекислоты, сероводорода), содержание значительного количества взвешенных в воздухе примесей (пыль на зернотоках и комбикормовых заводах). Неблагоприятная окружающая среда отрицательно сказывается на режиме работы и эксплуатации электрооборудования, поэтому проектировщик должен закладывать в проект оборудование, исполнение которого соответствовало бы условиям окружающей среды. Нарушение этого требования приведет к значительному ущербу из-за сокращения сроков службы технических средств и недопроизводства, а в ряде случаев и к гибели продукции.

Рассредоточенность нагрузки по хозяйству, району и зоне вызывает необходимость строительства протяженных сетей и увеличения числа трансформаторных подстанций, а это, в свою очередь, снижает эффективность электрификации. Отсюда вытекает требование: при проектировании электрификации любого объекта сельского хозяйства необходимо стремиться к концентрации нагрузки, а следовательно, и к концентрации производства.

Сезонность работы целого ряда технологических процессов (послеуборочная обработка зерна, выращивание овощей в закрытом грунте, хранение продукции) резко уменьшает коэффициент использования оборудования и снижает эффективность электрификации.

Так, число часов использования электродвигателей в сельском хозяйстве не превышает 1000 ч/год, а на зерноочистительных пунктах—не более 100...250 ч/год.

Учитывая это, при проектировании необходимо выбирать оптимальные технические средства электромеханизации производственных процессов, искать варианты, при которых можно было бы повысить коэффициент использования оборудования. Например, сочетание зерноочистительного пункта с комбикормовым заводом или кормоцехом позволяет использовать транспортные механизмы в течение почти всего года.

При проектировании следует учитывать и особенности самих сельскохозяйственных машин, обладающих в ряде случаев большими моментами инерции, большим диапазоном частоты вращения, значительным откликом их по производительности. Эти особенности следует учитывать как при составлении технологических карт, так и при разработке схем автоматического управления.

Соизмеримость мощности источника электроснабжения и токоприемников—одна из характерных особенностей многих объектов сельской электрификации. Питание электропривода от соизмеримого по мощности трансформатора (или при протяженных сетях) приводит к значительным колебаниям напряжения в сети и отрицательно сказывается на работе электроприемников. Поэтому для наиболее крупных и часто включаемых двигателей следует предусматривать средства облегчения их запуска.

На эффективность электрификации оказывают влияние также специализация в соответствии с производственным направлением хозяйства, природно-климатическими условиями, типизация технических решений, квалификация инженерно-технических кадров.

Необходимым условием комплексной электрификации является рациональное сочетание производства, распределения и потребления электроэнергии в сельском хозяйстве, при этом решающее значение приобретает бесперебойное и надежное электроснабжение при высоком качестве напряжения.

Подготовка и совершенствование кадров — неотъемлемое условие комплексной электрификации. Современный инженер-электрик должен не только обладать знаниями по электроснабжению, устройству и эксплуатации электропривода и систем автоматического управления, светотехнике, но и понимать электрическую природу явлений, которая лежит в основе развития жизни животных и растений, процессы, происходящие в растительном и живом организмах, и уметь давать количественную и качественную оценку воздействия на них электричества.

## **2.2. Общие требования к проекту. Стадийность реального проектирования**

**Общие требования.** Проект современного сельскохозяйственного объекта представляет собой сложный документ, увязывающий в единое целое архитектурные, инженерные и социально-экономические решения. К проекту предъявляется целый ряд общих требований, и при разработке его должно быть предусмотрено следующее.

1. **Прогрессивная технология, базирующаяся на современной системе машин и механизмов.** При проработке проектных решений необходимо стремиться к повышению коэффициентов загрузки и сменности этих машин, рациональному их размещению, оптимизации уровня механизации и автоматизации рабочих операций.

2. **Рациональное использование сырья, материалов, энергии.** При этом необходимо определить наличие местных источников энергетического сырья (уголь, газ, торф, горючие сланцы, дрова и др.), которые не представляют промышленной ценности, но могут эффективно использоваться в данных конкретных условиях. В ряде случаев целесообразно проработать варианты по использованию источников возобновляемой энергии.

3. **Увязка или рациональное использование существующих коммуникаций:** водо- и энергоснабжения, канализации, очистных сооружений, транспортных магистралей и т. п.

4. **Рациональное использование земли, рекультивация ее, охрана окружающей среды.** Согласно существующему законодательству, под вновь проектируемые объекты должна отводиться малопродуктивная земля.

5. Система организации и управления производством. На сложных объектах необходимо проектировать автоматизированные системы управления производством (АСУП), базирующиеся на развитой системе сбора информации и переработке ее с применением ЭВМ. Подобные системы целесообразно применять на крупных животноводческих комплексах.

6. Широкое использование типовых или повторно применяемых решений. Это не только сокращает сроки проектирования, но и повышает надежность будущего объекта, так как данный вариант уже прошел проверку в хозяйственных условиях.

7. Перспектива развития объекта (хозяйства). Обычно она учитывается на 7...10 лет, что реально составляет за вычетом времени, затрачиваемого на проектирование, строительство и освоение объекта, 5...7 лет. В течение этого периода не потребуется существенной реконструкции, расширения объекта.

8. Экономичность применяемых решений. Это достигается путем вариантной проработки основных идей. Обычно рассматривают не менее трех вариантов по каждому основному вопросу.

9. Решение вопросов жилищного строительства, культурно-бытового обслуживания населения. Проектирование таких объектов обычно проводится при комплексном развитии хозяйства или создании нового комплекса по производству сельскохозяйственной продукции.

10. Высокий уровень организации строительства, обеспечение выполнения сроков освоения капитальных вложений и мощностей. Электротехническая часть проекта дополнительно должна отвечать всем требованиям правил устройства электроустановок (ПУЭ), правил техники безопасности и правил технической эксплуатации электроустановок (ПТБ и ПТЭ), а также предусматривать высокий уровень индустриализации электромонтажных работ, который оценивается коэффициентом индустриализации:

$$K = \frac{A+B}{B+B} \geq 0,45, \quad (2.1)$$

где  $A$  — стоимость электроконструкций заводского исполнения (щиты, пульты и т. п.);  $B$  — стоимость электрооборудования, подлежащего монтажу;  $B$  — стоимость электромонтажных работ.

**Стадийность проектирования.** Госстроем СССР установлено два вида проектирования: в одну стадию — рабочий проект со сводным сметным расчетом стоимости объектов; в две стадии — проект со сводным сметным расчетом стоимости (первая стадия) и рабочая документация со сметами (вторая стадия).

Проекты комплексной электрификации отдельных сельскохозяйственных объектов, как новых, так и реконструируемых, выполняют в одну стадию.

Проектирование крупных животноводческих комплексов, комплексного развития хозяйства в целом, реконструкции или развития района, зоны выполняют в две стадии.

Проектирование осуществляют на основе проектного задания, включающего технико-экономическое обоснование (ТЭО). В задании ставится цель: определить техническую возможность, экономическую целесообразность и хозяйственную необходимость проектирования и строительства в данном месте и в намеченные сроки. Для обоснования прорабатывают несколько вариантов экономических и технических предложений. Определяют также площади и их расположение для строительства, источники снабжения энергией, топливом, водой, кормами, строительными материалами, без которых не может функционировать данный объект. Здесь же обосновывают сроки, стоимость и общие технико-экономические показатели, достижение которых должно обеспечить строительство объекта.

### **2.3. Состав рабочего проекта**

Рабочий проект включает в себя пояснительную записку и чертежи.

1. **Пояснительная записка** содержит краткую характеристику важнейших технических решений, сведения об использованных изобретениях, а также основные ссылки на соответствующие нормы и правила; в ней указаны сроки и очередность строительства. Здесь же приводятся основные мероприятия по охране окружающей среды: очистке сточных вод, атмосферы, восстановлению земель.

2. **Технико-экономический раздел** включает материал по экономическому обоснованию проектируемого объекта, анализу капитальных вложений (структура,

удельные показатели, фондоотдача, фондовооруженность, окупаемость капитальных вложений). В этом разделе приводятся данные о технологии и уровне ее соответствия мировому стандарту, соображения по концентрации и специализации производства, а также основные показатели, характеризующие объект (занимаемая площадь, уровень механизации и автоматизации, производительность труда). Проектные показатели сравниваются с показателями технико-экономического обоснования (ТЭО). Следует иметь в виду, что проектные показатели не могут быть ухудшены по сравнению с показателями ТЭО. Расчет потребности в количестве обслуживающего персонала и его квалификация — неотъемлемая часть данного раздела.

**3. Генеральный план, транспорт и рекультивация земель** включают описательную часть и чертежи по соответствующим разделам.

**Генеральный план.** В этом разделе приводят основную характеристику архитектурно-планировочных решений, размеры площадок строительства, ориентацию их на местности по направлению господствующих ветров. В разделе дают перечень основных мероприятий по гражданской обороне, как правило, со ссылкой на соответствующий проект. В состав раздела входят чертежи: генплан с нанесением окружающей ситуации и отражением коммуникаций, план объекта, картограмма и сводный план инженерных сетей.

**Транспорт.** В разделе приводят характеристику грузопотоков, объем перевозок и радиус (плечо) перевозок, а также характеристику транспортных средств. Для крупных объектов составляют схему грузопотока и схему перевозки обслуживающего персонала. Для отдельных объектов приводят лишь ссылку на генплан и транспортные коммуникации, отраженные в нем.

**Рекультивация земель.** Основные данные по рациональному использованию земли приводят в проектном задании. В этом же разделе уточняют объемы работ по снятию и использованию плодородного слоя, мелиорации или другим мероприятиям, связанным с восстановлением земель, которые компенсируют продуктивную площадь, занимаемую проектируемым объектом. К разделу прилагают чертежи земельных участков (застраиваемого и вновь вводимых).

4. **Технология производства, обеспечение энергоресурсами и защита окружающей среды.** Технологии производства. Приводят характеристику производства продукции, схему (технология) производства, характеристику и обоснование технологических и технических решений, режим работы предприятия, условия окружающей среды, данные об исходном и конечном продуктах. Здесь же дают обоснование выбора основного технологического и вспомогательного оборудования, приводят требования к освещенности, шуму, вибрации, а также к очистке сточных вод и выбросов в атмосферу, расчет численности обслуживающего персонала и распределение его по сменам (бригадам), состав рабочих групп.

К разделу прикладывают чертежи: технологическую схему, планы с размещением и компоновкой оборудования, схемы трубопроводов.

**Автоматизация технологических процессов.** Приводят перечень операций и процессов, подлежащих автоматизации, дают обоснование принятых решений по контролю, регулированию сигнализации и автоматизации технологических процессов, требования к приборам, регуляторам по точности и режиму регулирования.

При двухстадийном проектировании могут быть сформулированы требования к приборам, датчикам, оборудованию, которые не производятся промышленностью, но необходимы для решения задач данного производства, то есть требования к научным и конструкторским организациям на разработку технических средств, на основании которых формулируется задание на проектирование.

К описанию прикладывают необходимые для монтажа и эксплуатации чертежи: схемы автоматического управления, контроля, регулирования (структурные, функциональные, принципиальные).

**Электроснабжение и электрооборудование.** Здесь дают перечень машин и механизмов и их характеристику как потребителей электрической энергии. На основании расчетов определяют нагрузки на вводе потребителя, по которым выбирают мощность источников электроснабжения. При этом на основе вариантной проработки выбирают число, месторасположение и мощность каждой трансформаторной подстан-

ции, определяют протяженность и площадь поперечного сечения проводов высоковольтных и низковольтных сетей, способ их прокладки. В зависимости от категории потребителей решают вопросы повышения надежности электроснабжения за счет сетевого или местного резервирования.

В этом же разделе приводят обоснования по выбору источников освещения, типов светильников, выборупускозащитной аппаратуры, щитов, пультов, а также характеристики внутренних сетей и способы их прокладки. В ряде случаев дают расчет и обоснование типа электропривода, если машина или механизм поставляется некомплектно, или решают вопрос о переводе каких-либо механизмов на электропривод. Одновременно могут быть решены задачи по обоснованию электротехнологии. В соответствии с ПТБ и ПТЭ приводят рекомендации по устройству молниезащиты и соображения по эксплуатации электроустановок.

К разделу прикладывают заказные спецификации на оборудование и материалы, а также чертежи: планы и разрезы с размещением технологического и электротехнического оборудования, с нанесением сетей, щитов и пультов, схемы электроснабжения, управления и защиты токоприемников, расчетно-монтажные таблицы.

**Энергетические установки.** В разделе приводят обоснования и расчеты по обеспечению проектируемого объекта сжатым воздухом, кислородом, газом, разрабатывают чертежи энергетических сетей и составляют заказные спецификации.

**Тепловые сети.** Раздел содержит расчеты потребности теплоты, обоснования выбора источника теплоснабжения и размещения тепловых сетей, их изоляции, защиты от коррозии и т. д. В нем разрабатывают чертежи расположения наружных и внутренних сетей и составляют заказные спецификации.

**Охрана водоемов, почвы и атмосферы.** На основании норм санитарии и сведений гидрометеослужбы проводят расчеты количества выбросов, по которым выбирают типы и размеры очистных сооружений. Разрабатывают чертежи защитных сооружений или дают ссылку на типовый проект подобных объектов.

**5. Организация труда и системы управления предприятием.** Рекомендации по организации труда, технике безопасности, в том числе

и электробезопасности, приводят в соответствии с технологией и режимом работы.

**Система управления.** В разделе приводят общие сведения по структуре управления, расчет необходимых средств для обеспечения системы, расчет численности и состава аппарата управления. Составляют заказные спецификации и чертежи: общие схемы управления, схемы информационных потоков и схемы размещения и расположения как системы управления, так и управляющих сетей.

**Связь и сигнализация.** В пояснительной записке приводят обоснования принимаемых решений по организации связи и сигнализации, составляют заказные спецификации.

**6. Строительная часть.** Архитектурно-строительная часть. В этом разделе приводят обоснование архитектурно-планировочных решений. К разделу разрабатывают строительные чертежи.

**Отопление и вентиляция.** В разделе решают вопросы, связанные с созданием микроклимата, то есть оптимальных температурно-влажностных режимов для обслуживающего персонала, содержания животных, выращивания растений и т. п. В соответствии с нормами, указанными в СНиП (строительные нормы и правила), проводят обоснования и расчеты по отоплению и вентиляции, определяют количество потребной теплоты, выбирают необходимое оборудование. Составляют заказные спецификации и чертежи наружных и внутренних отопительных и вентиляционных сетей.

**Водоснабжение и канализация.** Приводят обоснования и расчеты по определению потребностей предприятия в водопотреблении и по отводу отходов, выбирают оборудование, рассчитывают коммуникационные сети. К разделу составляют заказные спецификации и необходимые чертежи.

**7. Организация строительства.** В разделе определяют объемы строительных и монтажных работ, очередность их проведения, обосновывают временные коммуникации и площадки для хранения материалов и оборудования, составляют графики проведения работ и строительно-организационный план.

**8. Организация подготовки и освоения проектных мощностей.** Раздел содержит рекомендации по очередности ввода объектов или их частей и по их освоению.

9. **Сметно-финансовый расчет.** На основании объемов работ, определенных в предыдущих разделах проекта, и ценников составляют сметы и сводки затрат. При этом составляют как общую смету на строительство, так и сметы по объектам и видам работ. Сметы — это документы, по которым финансируется строительство.

10. **Жилищное и гражданское строительство.** Этот раздел включает обоснование необходимости, объемов и сроков строительства, а также определяет выбор типовых проектов, по которым должно осуществляться данное строительство.

11. **Паспорт рабочего проекта** составляется по установленной форме.

#### **2.4. Исходные материалы для проектирования**

Разработку проекта ведут на основании задания на проектирование, которое составляет заказчик — руководитель хозяйства, района, области или министерства. Исходными материалами для разработки проекта служат директивные и нормативные материалы, результаты обследования объекта проектирования, типовые проекты и решения.

В качестве нормативных материалов при проектировании комплексной электрификации следует считать: строительные нормы и правила (СНиП), строительные нормы (СН), нормы технологического проектирования (НТП), правила устройства электроустановок (ПУЭ), правила техники безопасности и технической эксплуатации электроустановок (ПТБ и ПТЭ), руководящие материалы (РМ), издаваемые вышестоящими организациями, ГОСТы, нормалы, технические условия отраслей.

Одной из важнейших составляющих проектного задания является технико-экономическое обоснование (ТЭО), которое разрабатывают на материалах обследования объекта проектирования, если речь идет о его реконструкции, или на результатах обследования месторасположения и взаимосвязки проектируемого объекта с территориальными и производственными комплексами данного района.

Перед ТЭО ставится задача — доказать техническую возможность и экономическую целесообразность проек-

тирования и строительства (реконструкции) данного объекта в указанные сроки.

Для примера рассмотрим состав материалов обследований по комплексной электромеханизации животноводческого колхоза (совхоза). При обследовании хозяйства необходимо детально ознакомиться с основными направлениями развития хозяйства, достигнутыми показателями в его комплексной электрификации, выяснить состояние существующих построек и сооружений, их габаритные размеры, состав машинно-тракторного парка и долю его в механизации животноводства, состав средств электромеханизации в животноводстве и их техническое состояние, перспективы развития данной отрасли на 5...7 лет. При этом нужно собрать следующие материалы:

- планы расположения животноводческих ферм, схемы коммуникаций (транспортные, водоснабжения, канализации, электроснабжения и др.);
- природно-климатические характеристики района;
- данные о поголовье скота, способе содержания и кормления его, наличии кормовой базы, технологии первичной обработки продукции животноводства;
- данные о численности работающих, в том числе в животноводстве.

## **2.5. Оценка эффективности вариантов проекта**

Поиск оптимальных вариантов принимаемых решений базируется на экономическом сравнении равноценных по техническим возможностям предложений. Для оценки эффективности варианта существует целый ряд показателей: удельные и суммарные капитальные вложения, производительность труда, себестоимость продукции, наименьшие эксплуатационные затраты и т. п.

На первый взгляд, при выборе рационального варианта нужно отдать предпочтение такому, у которого наименьшие трудовые затраты или минимальная себестоимость продукции. Рассмотрим, так ли это. Для анализа в качестве базового критерия (аргумента) примем суммарные капитальные вложения, которые будут характеризовать уровень электромеханизации производственных процессов на проектируемом объекте, а в качестве функции рассмотрим такие показатели, как трудовые затраты, себестоимость и приведенные затраты.

Приведенными называются суммарные капитальные затраты, взятые с коэффициентом эффективности капитальных вложений, и эксплуатационные затраты, отнесенные к одному году или к единице продукции.

С увеличением капитальных затрат в себестоимости продукции уменьшаются составляющие от трудовых затрат, непосредственно расходуемых на производство продукции, одновременно растут составляющие от амортизационных отчислений и от затрат на обслуживание средств механизации.

Согласно существующей методике выбора рациональных средств и оценки новых машин, за оптимальный вариант принимается тот, у которого приведенные затраты наименьшие. При этом оказывается, что уровень электромеханизации процессов (по удельным капитальным вложениям) меньше, чем при поиске оптимума по трудовым затратам или себестоимости. Из этого следует, что оптимальным вариантом комплексной электрификации следует считать тот, у которого

$$P_3 = E_n K + \mathcal{E} \rightarrow \min, \quad (2.2)$$

где  $P_3$  — приведенные затраты (р/ед продукции в год);  $E_n$  — коэффициент нормативной окупаемости капитальных вложений;  $K$  — суммарные капитальные затраты;  $\mathcal{E}$  — годовые эксплуатационные затраты.

При сравнении двух вариантов поиск эффективно-го можно вести на основе срока окупаемости:

$$T = \frac{K_1 - K_2}{\mathcal{E}_2 - \mathcal{E}_1} = \frac{\Delta K}{\mathcal{E}_2 - \mathcal{E}_1} \leq T_n, \quad (2.3)$$

где  $T$  и  $T_n$  — соответственно расчетный и нормативный сроки окупаемости капитальных вложений,  $T_n = \frac{1}{E_n}$ ;  $K_1$  и  $K_2$  — капитальные вложения по первому и второму вариантам, при этом полагаем  $K_1 > K_2$ ;  $\mathcal{E}_1$  и  $\mathcal{E}_2$  — эксплуатационные затраты по вариантам, при этом  $\mathcal{E}_2 > \mathcal{E}_1$ .

Капитальные вложения определяются суммой затрат на оборудование, материалы, монтажные и строительные работы, связанные с электрификацией производства:

$$K = \sum_{i=1}^n K_i. \quad (2.4)$$

Здесь  $n$  — число типов оборудования;  $K_i$  — капитальные затраты на один из типов оборудования.

$$K_i = m(C + M + H), \quad (2.5)$$

где  $m$  — количество однотипного оборудования;  $C$  — преискуртанная цена оборудования;  $M$  — затраты на установку и монтаж;  $H$  — накладные расходы.

Величины, входящие в выражение (2.5), приводятся в соответствующих ценниках. Эксплуатационные затраты в общем виде можно определять по выражению

$$\mathcal{E} = \mathcal{Z}_n + A + T_p + \Gamma + П, \quad (2.6)$$

где  $\mathcal{Z}_n$  — зарплата обслуживающего персонала;  $A$  — отчисления на амортизацию;  $T_p$  — затраты на текущий ремонт;  $\Gamma$  — стоимость горюче-смазочных материалов и электроэнергии;  $П$  — прочие затраты.

При выборе наилучшего варианта электрификации объекта определяют основные показатели эффективности внедрения новых технических решений. К ним относятся суммарные капитальные вложения  $K$  себестоимость продукции  $C$ , производительность труда  $П_{тр}$ , энергоемкость процессов  $q$ , годовой экономический эффект  $\Gamma_s$  и другие показатели, характеризующие данное производство.

Себестоимость продукции (р/ед. продукции) определяют делением годовых эксплуатационных затрат  $\mathcal{E}$  на валовой продукт  $B$ :

$$C = \frac{\mathcal{E}}{B}. \quad (2.7)$$

Производительность труда (ч/ед. продукции):

$$П_{тр} = \frac{N}{B}. \quad (2.8)$$

Здесь  $N$  — количество обслуживающего персонала.

$$N = \frac{T_s}{t\alpha}, \quad (2.9)$$

где  $T_s$  — суммарные годовые затраты труда на производство продукции по технологическим картам и эксплуатацию оборудования, ч;  $t$  — продолжительность рабочего дня, ч;  $\alpha$  — число рабочих дней в году.

Энергоемкость процесса или производства  $q$  (кВт·ч/ед. продукции) есть отношение затрат энергии  $Q$  к валовому продукту:

$$q = \frac{Q}{B}. \quad (2.10)$$

Годовой экономический эффект определяется разностью между приведенными затратами нового варианта и существующего, умноженной на годовой валовой продукт:

$$\Gamma_0 = [(E_n K_1 + \mathcal{E}_1) - (E_n K_0 - \mathcal{E}_0)] B, \quad (2.11)$$

где индекс «1» соответствует новому варианту, а «0» — базовому.

Срок окупаемости дополнительных вложений  $T$  определяется по выражению (2.3).

Стоит вопрос: сколько же вариантов необходимо рассматривать?

По существующим нормам для выбора оптимального решения необходимо провести технико-экономическое сравнение не менее трех вариантов, равнозначных по своим техническим возможностям.

## **2.6. Типовые проекты. Порядок согласования и утверждения проектов**

Одним из обязательных условий проектирования является требование по использованию типовых решений или проектов. Типовым называется проект, который многократно использовался при строительстве, выдержал экспертизу и утвержден в качестве типового Госстроем СССР.

Сущность проектирования на основе типовых решений (проектов) заключается в привязке данного проекта к конкретным условиям. В понятие «привязка» входят: архитектурно-строительные решения в соответствии с природно-климатическими условиями, увязка проекта с транспортными магистралями, с системой электроснабжения, водоснабжения, канализации, меры по защите окружающей среды, гражданской обороне и т. п.

Использование типовых решений в значительной мере удешевляет стадию проектирования, сокращает сроки монтажа и наладки и повышает эффективность производства.

**Организация проектирования.** Проектные организации по просьбе руководителя на основании вариантной проработки предлагают оптимальный для данных условий вариант. Далее идут согласования со всеми организациями, чьи интересы затрагивает данное строительство, с местными советскими органами и выше-

стоящей финансирующей организацией, строительными участками (трестами) и т. п.

Следует различать обязательные службы, согласование с которыми не зависит от рода проекта, и вспомогательные, согласование с которыми проводится только в том случае, если вновь строящийся объект как-то затрагивает их интересы.

К обязательным службам относятся пожарная инспекция, санэпидемстанция, инспекция водоохраны, районные органы, контролирующие использование земли (исполкомы Советов народных депутатов).

К вспомогательным службам относятся район электрических сетей (энергообеспечения), служба энергосбыта, связи, канализации (подземных сооружений), дорожная служба, лесничество и др.

Согласованный проект подлежит утверждению. При этом следует иметь в виду, что чем выше стоимость проекта, тем более высокая инстанция его утверждает. Проекты, выполненные на основе типовых, требуют утверждения в инстанции на порядок ниже, чем индивидуальные. Например, индивидуальный проект животноводческой фермы общей стоимостью до 10 тыс. р. может утвердить руководитель хозяйства. Если стоимость индивидуального проекта выше, то его утверждает вышестоящая финансирующая организация. Если же проектирование фермы осуществлялось по типовому проекту, то руководитель хозяйства может утвердить проект стоимостью до 100 тыс. р., согласовав это решение с финансирующей организацией.

Индивидуальное проектирование проводится на стадии научного поиска или отработки технологических, энергетических или социально-организационных решений.

Общая схема развития комплексной электрификации может быть представлена (безусловно, схематично) таким образом:

1) директивные указания — творческий поиск их реализации (проработка ТЭО);

2) разработка проекта (утверждение и согласование его), строительство объекта (освоение объекта), достижение заданных показателей.

## 2.7. Структура электротехнической части проекта

Комплексное применение электрической энергии в сельскохозяйственном производстве связано с использованием многочисленных технических средств, выбор которых определяется широтой охвата электрификацией технологических процессов и уровнем их автоматизации.

Проектирование рациональных уровней электрификации базируется на технико-экономическом сравнении различных вариантов. Проектировщикам приходится рассматривать рациональность применения тех или иных технических средств при электрификации технологических процессов, не выделяя их в самостоятельные группы. Однако с методических позиций целесообразно представлять электротехническую часть проектов как совокупность самостоятельных групп, состоящих из электротехнических средств, объединенных общностью технологического назначения.

В соответствии с этим электротехническая часть проекта может быть представлена следующими группами средств: электромеханизации (электропривод), электронагрева и электротехнологии, электроосвещения, аппаратуры защиты и управления, электроснабжения, автоматического управления, включая автоматизированные системы управления производством (АСУТП), молниезащиты и заземления. Число групп определяется функциональным назначением электротехнических средств, поэтому оно может изменяться в зависимости от объекта проектирования.

### 3.1. Задачи и объем макетного проектирования. Основные показатели по хозяйству-макету для данного района

Макетное проектирование электрификации наиболее типичных для данного района хозяйств имеет целью определить или уточнить ряд удельных показателей, с тем чтобы в дальнейшем выполнять так называемые укрупненные расчеты, необходимые для планово-экономических целей. Поэтому в проекте хозяйства-макета должны быть подробно рассмотрены задачи по управлению процессом использования электрической энергии для производственных целей, планированию оптимальных вариантов энергопотребления различными объектами, выбору рациональных электрических схем управления и электропривода установок, а также их автоматизации, проведению технико-экономических расчетов по принятым решениям, конструированию и комплектowaniu отдельных нестандартных устройств.

Предварительно для проекта электрификации хозяйства-макета составляют общую характеристику хозяйства и перечень его энерго- и электропотребителей, а также обосновывают уровень комплексной электрификации.

В состав проекта хозяйства-макета входят следующие расчеты:

- 1) определение с учетом достижений научно-технического прогресса рациональных комплексов электромеханических и электротехнических средств для объектов растениеводства, животноводства, подсобных предприятий, мастерских, коммунально-общественного хозяйства и индивидуального быта;
- 2) определение расчетной мощности нагрузки по отдельным группам объектов, подключенных к общей линии, а также по хозяйству в целом, выбор площади поперечного сечения проводов воздушных линий и внут-

ренных проводок, выбор месторасположения распределительных щитков на объектах и месторасположения источника электроснабжения — трансформаторной подстанции или электростанции;

3) составление суточных и сезонных графиков нагрузок.

При проектировании нужно учитывать перспективу развития хозяйства на 7...10 лет. В проекте также учитывают необходимость электрификации несельскохозяйственных объектов, находящихся на территории хозяйства, — предприятий местной промышленности и промыслов, которыми сельское население занимается вне сезона полевых работ.

В процессе расчетов определяют осветительные, бытовые, силовые и тепловые нагрузки по хозяйству, установленную, максимальную и расчетную мощность потребителей, мощность, число источников питания и их местонахождение, рассчитывают сеть напряжением 380/220 В, определяют средневзвешенный коэффициент мощности и выбирают компенсирующие устройства.

В заключение составляют спецификацию основного технологического и электротехнического оборудования с указанием его стоимости и стоимости его монтажа по укрупненным показателям.

Основные показатели электрификации, которые должны быть выявлены в процессе проектирования хозяйства-макета, следующие.

Общая установленная мощность  $P_y$  (кВт) электрооборудования характеризует состояние электрооборуженности хозяйства:

$$P_y = P_c + P_o + P_{к.б.}, \quad (3,1)$$

где  $P_c$  — мощность силовых установок;  $P_o$  — мощность осветительных установок;  $P_{к.б.}$  — мощность культурно-бытовых электроустановок.

Совмещенный максимум нагрузки  $P_{max}$  потребителей, одновременно включенных на источник электроснабжения, наиболее точно можно определять по графику нагрузки, снятому, например, при помощи ваттметров, включенных на подстанции. Его можно определять и по расчетному графику, составляемому в процессе проектирования, как будет показано далее.

Этим показателем пользуются при определении мощности трансформаторов на подстанции или генератора на электростанции.

Кроме  $P_{\max}$ , на графике следует различать второй (чаще утренний) пик нагрузки, а также часы минимальной нагрузки (провалов нагрузки), в которые целесообразно включать в сеть различные энергоемкие потребители: аккумулирующие водонагреватели, мощные мельницы, мощные калориферы для сушки сена и др.

Электроснабжающие организации заинтересованы в том, чтобы нагрузка генераторов в течение суток была как можно равномернее. В целях стимулирования потребления электрической энергии в ночные часы, когда промышленные предприятия не работают на полную мощность, а у генераторов электростанции наблюдается недогрузка, целесообразно вводить двойной тариф на электроэнергию. В ночные часы, обычно с 22 до 6 ч, энергия отпускается по цене, например, в два раза ниже, чем в дневные. Дифференцированный учет энергии осуществляется автоматическим переключением счетчика на замедленный учет.

Коэффициент спроса  $K_c$  определяют по формуле

$$K_c = \frac{P_{\max}}{P_y}. \quad (3.2)$$

Этот коэффициент — величина меняющаяся. Обычно зимнее его значение больше летнего. На него оказывают влияние КПД установок, коэффициенты загрузки машин и каталожной неувязки электродвигателей, потери мощности на линиях, коэффициенты мощности отдельных токоприемников. Чем лучше техническое оснащение сельскохозяйственных объектов, совершеннее машины, выше квалификация персонала и организационные способности руководителей хозяйства, тем выше коэффициент спроса.

Для групп мелких коммунально-бытовых электроприемников и разнородных электроприемников производственного назначения, каждый из которых имеет небольшую мощность по сравнению с суммарной установленной мощностью до 3 кВт, коэффициент спроса ориентировочно может быть равен 0,6. При суммарной мощности от 4 до 10 кВт коэффициент спроса равен 0,5; от 11 до 20—0,45; от 21 до 50—0,4; от 51 до 100—0,35; более 100 кВт—0,3.

Коэффициент спроса для осветительной нагрузки по отдельным объектам дается в Указаниях по проекти-

рованию электрического освещения производственных зданий (СН 203—62). Он равен: 1,0 — для мелких зданий производственного характера; 0,95 — для производственных зданий, состоящих из отдельных крупных пролетов; 0,9 — для административных зданий, столовых, библиотек; 0,85 — для производственных зданий, состоящих из нескольких отдельных помещений; 0,8 — для конторско-бытовых, лечебных, детских, учебных учреждений и лабораторных зданий; 0,6 — для складов, подстанций; 1,0 — для линий, питающих отдельные групповые щитки.

Коэффициент спроса можно определить на аналогичном проектируемому объекте и принять к использованию в расчетах.

**Суточное потребление электроэнергии**  $A_{сут}$  (кВт·ч) в зимний, летний, весенний и осенний дни используют для подсчета примерного годового потребления электроэнергии.

Объем потребления электроэнергии — показатель производственной мощности хозяйства. Чем больше энергии потребляется в хозяйстве, тем больший эффект получает хозяйство от электрификации, тем лучше благоустроен быт жителей (1 кВт·ч эквивалентен 12 ч ручной работы). Стоимость работы, проделанной электродвигателем, в несколько сот раз меньше стоимости того же количества ручной работы. В год человек может выработать мускулами около 150 кВт·ч. Ориентировочно 1 кВт·ч, полученный от электросети, дешевле тракторной энергии в 5...6 раз, конной тяги в 17...18 раз, ручного труда в 60 раз. Как правило, чем выше уровень электрификации, тем выше годовой доход, приходящийся на одного работника и жителя.

Суточное потребление электроэнергии наиболее точно можно найти по графику нагрузки (рис. 3.1) как площадь, ограниченную графиком и осью абсцисс. Суточный расход энергии по отдельным процессам можно определить исходя из количества подлежащего переработке материала  $M$  (т или кг) и из удельного расхода электроэнергии на переработку единицы материала  $a$  (кВт·ч/т или кВт·ч/кг):

$$A = Ma. \quad (3.3)$$

По графикам нагрузки для всех сезонов можно определить характерное для данного района число часов

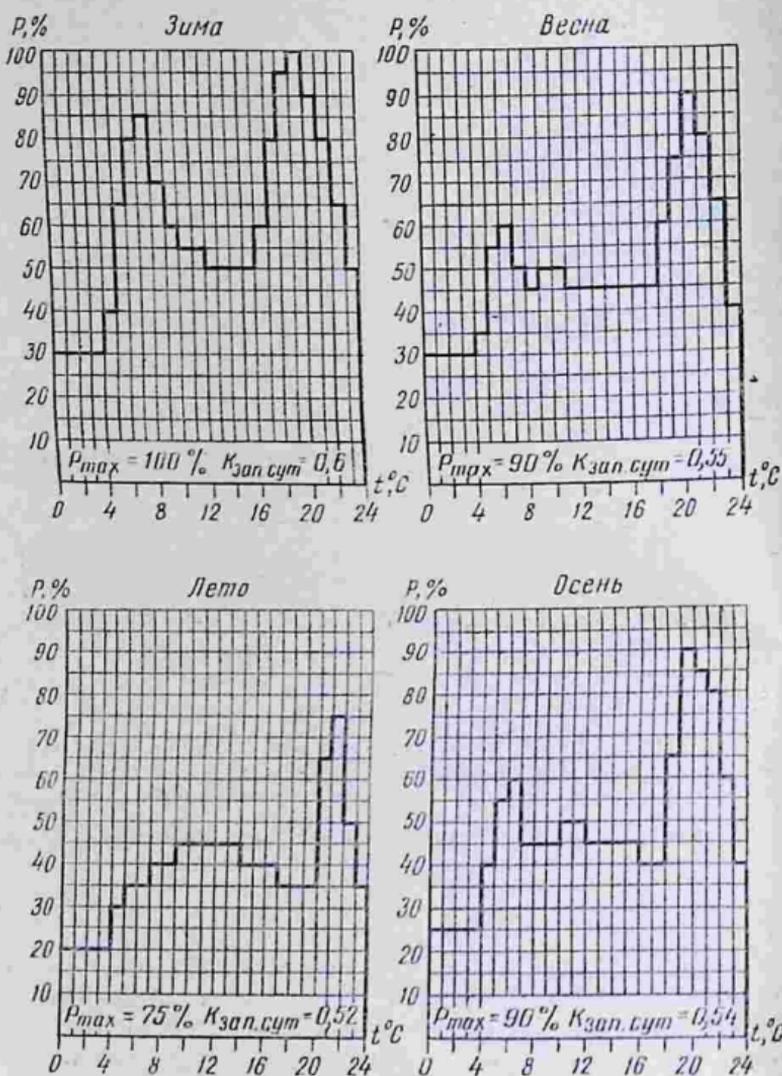


Рис. 3.1. Примерные суточные графики нагрузок сельской районной трансформаторной подстанции.

использования установленной  $T_y$  или максимальной  $T_{\max}$  мощности.

Использование установленной мощности трансформатора  $S_{\text{тр}}$  на подстанции характеризуется коэффициентом заполнения графика  $K_{\text{зап.сут}}$ :

$$K_{\text{зап.сут}} = \frac{A_{\text{сут}}}{S_{\text{тр}} \cos \varphi_{\text{тр}} \cdot 24} \cdot \quad (3.4)$$

Использование установленной мощности токоприемников характеризуется коэффициентом использования:

$$K_{\text{исп}} = \frac{A_{\text{сут}}}{P_y \cdot 24} \cdot \quad (3.5)$$

Число часов использования установленной мощности:

$$T_y = \frac{A_{\text{год}}}{P_y} \cdot \quad (3.6)$$

Число часов использования максимальной мощности в году определяют по формуле

$$T_{\max} = \frac{A_{\text{год}}}{P_{\max}} \cdot \quad (3.7)$$

Удельный расход электроэнергии (кВт·ч/ед):

$$a = \frac{A}{H} \quad (3.8)$$

где  $H$  — число единиц показателя, например площадь посевов (га), число работников, число животных, площадь помещения, число мест (клуб, столовая, школа), тонна произведенной продукции.

Удельный расход мощности на единицу показателя:

$$P_{\text{уд}} = \frac{P_{\max}}{H} \cdot \quad (3.9)$$

Таким образом, по перечисленным показателям можно определить основную идею электрификации как максимально возможное и эффективное внедрение электрической энергии в производственные процессы.

Электрообеспеченность — это мощность силовых трансформаторов, приходящаяся на 100 га пашни (кВ·А/100 га) при общей ее площади  $F$  (га):

$$\mathcal{E}_0 = \frac{S_y \cdot 100}{F} \cdot \quad (3.10)$$

Электровооруженность труда (кВт·ч на одного работающего) — отношение годового потребления электроэнергии к числу работающих:

$$\mathcal{E}_в = \frac{A_{\text{год}}}{N}, \quad (3.11)$$

где  $N$  — среднее годовое число работающих.

Уровень электрификации (%) — отношение электрических мощностей в хозяйстве к сумме всех мощностей:

$$У_э = \frac{P_э}{P_{\Sigma}} \cdot 100, \quad (3.12)$$

где  $P_{\Sigma} = P_э + P_м + P_т$  — сумма мощностей электроустановок, механических и тепловых двигателей, кВт.

### 3.2. Примерный объем исходных данных для проектирования электрификации хозяйства-макета

Исходные данные для проектирования включают следующие сведения.

1. Название хозяйства и его адрес.
2. Число дворов, домов и жителей.
3. Общая площадь и распределение ее под пашню, огороды, сады, лес, выгон, сенокос.
4. Сведения о культурах и технологии переработки и хранения, оформленные в виде таблицы по приведенной ниже форме.

Наименование культуры	Площадь, га	Урожайность, т/га	Валовой сбор, т	Технология переработки и хранения, принятая в хозяйстве

5. Сведения о числе животных и рационе зимнего и летнего дня, оформленные в виде следующей таблицы.

Вид животных	Число голов	Суточный рацион на голову на всех животных						Технология переработки, хранения
		зерно	жмых	корне-плоды	силос	сено	солома	

6. Сведения о производственных, общественных и других помещениях, их размерах, размещении на плане хозяйства.

7. План-карта хозяйства с нанесением всех объектов с указанием дорог и расстояний.

8. Стоимость дров, угля или другого топлива в данном хозяйстве, продолжительность отопительного сезона, средние зимние за отопительный сезон и средние минимальные температуры холодного месяца.

9. Перечень задач, подлежащих решению при проектировании данного хозяйства:

- а) выбрать машины и электропривод к ним;
- б) рассчитать освещение;
- в) составить графики нагрузок по отдельным объектам и по группам объектов, а также по всему хозяйству в целом;
- г) определить место расположения подстанции для имеющихся объектов;
- д) указать наиболее целесообразное место размещения запланированных к строительству объектов (с точки зрения качества электроснабжения);
- е) выбрать мощность трансформаторной подстанции;
- ж) выбрать аппаратуру управления и защиты к электродвигателям;
- з) показать, на каких нагревательных процессах целесообразно использовать электроэнергию;
- и) определить удельные показатели по электрификации.

### 3.3. Методика подсчета нагрузок на освещение

Строительные нормы рекомендуют при люминесцентном освещении брать освещенность в 2 раза большую, чем при лампах накаливания (вследствие сумеречного эффекта). Если учесть, что светоотдача ламп накаливания мощностью 60 Вт примерно в 4 раза меньше светоотдачи люминесцентных ламп 40 Вт, а светоотдача ламп накаливания мощностью 100...150 Вт примерно в 4 раза меньше светоотдачи люминесцентных ламп 60...80 Вт, то можно принять удельную мощность на освещение люминесцентными лампами в 2 раза меньшей, чем лампами накаливания.

Следует обратить внимание на необходимость возможно большего внедрения люминесцентных ламп вме-

сто ламп накаливания, а также ламп ДРЛ и ДНаТ и других для наружного освещения.

При подсчете нагрузок на освещение удобно пользоваться следующей таблицей.

Наименование объекта	Площадь по наружному обмеру, м <sup>2</sup>	Удельная мощность освещения, Вт/м <sup>2</sup>	$P_y$ , кВт	Коэффициент спроса $K_c$	$P_{\text{max}} = K_c P_y$ , кВт	Число часов использования установленной мощности $T_y$	Годовое потребление электроэнергии $A_{\text{год}} = P_y T_y$ , кВт·ч

Удельная мощность на освещение (Вт/м<sup>2</sup>), а также число часов использования установленной мощности даны в справочниках. Площадь объекта принимают по наружному обмеру. Отношение внутренней площади здания к площади по наружному обмеру равно 1:1,2. Площадь по наружному обмеру жилого здания больше жилой площади в нем в 1,5 раза.

При выборе типа ламп следует проводить технико-экономическую оценку варианта по следующей методике: рассчитывают годовые эксплуатационные расходы ( $K$ ) на систему освещения в данном помещении при различных типах ламп:

$$K = \frac{Ag}{100} + \frac{B}{L} \cdot T + CPT, \quad (3.13)$$

где  $A$  — стоимость арматуры, р.;  $g$  — отчисления на амортизацию, %;  $B$  — стоимость ламп в светильниках, р.;  $L$  — срок службы ламп;  $C$  — стоимость электроэнергии, р/(кВт·ч);  $P$  — мощность ламп в светильниках, кВт;  $T$  — число часов использования установленной мощности светильников.

Предпочтение отдается варианту с минимальным  $K$  для заданного  $T$ .

Люминесцентные лампы следует применять везде, где технико-экономическое сравнение в их пользу, условия помещения позволяют использовать типовой светильник, температура в помещении не опускается ниже 5° и отклонения напряжения не превышают  $\pm 5\%$ .

При освещении лампами накаливания следует стремиться к использованию ламп мощностью 60 Вт и бо-

лее, так как светоотдача ламп меньшей мощности (25 и 40 Вт) составляет всего лишь 9 лм/Вт.

При проектировании мероприятий по эксплуатации осветительных установок необходимо предусмотреть регулярную, не реже одного раза в месяц, чистку светильников и ламп, побелку помещений не менее двух раз в год и замену ламп накаливания один раз в год, а люминесцентных раз в три-четыре года, так как их световой поток снижается и они становятся малоэкономичными.

В проекте должны быть выбраны марки проводов, их число, а также арматура, выключатели и предохранители, способы прокладки проводов. При этом необходимо учитывать, что срок службы проводов АПР и АПН на изоляторах и роликах в коровниках и свинарниках составляет примерно 4 года, а проводов и кабелей типа АПР, АВРГ, АПВ, КРПТ превышает 8...10 лет.

Уличное освещение лампами накаливания рассчитывают, исходя из удельной нормы 3,5 Вт на 1 м и 140 Вт на 1 двор при продолжительности горения 1700...3100 ч/год. При освещении лампами ДРЛ расчетную удельную норму следует принять в 1,5 раза ниже.

#### **3.4. Методика подсчета нагрузки для обеспечения бытовых нужд и жилищно-коммунального хозяйства**

Электрификация быта должна занимать важное место в общей электрификации сельского хозяйства. По предварительным данным, в 1981...1985 годах в нашей стране на бытовые нужды сельских жителей будет израсходовано до 45 % всей потребляемой в сельском хозяйстве электроэнергии. Это указывает на необходимость внимательного рассмотрения вопроса электрификации быта и общественно-коммунального хозяйства.

На многоквартирный дом рекомендуется рассчитывать мощность от 950 (при газификации) до 2010 Вт (при отсутствии газификации) с нормой от 12 до 22 Вт/м<sup>2</sup> при использовании электронагревательных приборов для частичного обогрева помещений и частичного приготовления пищи.

Из 2010 Вт, приходящихся на дом, 450 Вт расходуется на освещение, 600 — на электробытовые приборы, 360 — на приготовление и разогрев пищи, 300 — на по-

догрев воды, 300 Вт — на частичное отопление. Расход электроэнергии в год примерно равен 1430 кВт·ч.

Электрический обогрев жилищ в сельской местности в ряде случаев может оказаться экономичнее обогрева дровами или углем. При проектировании необходимо провести технико-экономическое сравнение видов отопления на предмет выбора наиболее эффективного.

Стоимость 1 МДж теплоты ( $\rho/\text{МДж}$ ), полученной от любого вида топлива, можно определить как

$$D_{\tau} = \frac{C_{\tau}}{\theta \eta}, \quad (3.14)$$

где  $C_{\tau}$  — стоимость топлива,  $\rho/\text{кг}$  (уголь, нефть) или  $\rho/\text{м}^3$  (дрова);  $\theta$  — удельная теплота сгорания топлива (для дров 5540 МДж/м<sup>3</sup>, для угля-антрацита 28 МДж/кг);  $\eta$  — тепловой КПД, равный 0,35 для угольной или дровяной печи.

Стоимость топлива складывается из его себестоимости на месте добычи и расходов на транспортирование.

Для электроэнергии стоимость 1 МДж равна:

$$D_{\text{э}} = \frac{C_{\text{э}}}{100 \cdot 3,6 \eta_{\text{э}}} = 0,0028 \frac{C_{\text{э}}}{\eta_{\text{э}}}, \quad (3.15)$$

где  $C_{\text{э}}$  — стоимость электроэнергии,  $\text{к}/\text{кВт}\cdot\text{ч}$ ;  $\eta_{\text{э}}$  — КПД электронагревательного прибора, при внутренней установке  $\eta_{\text{э}} = 1$ .

Таким образом, можно сравнить, что дешевле использовать: уголь, дрова или электроэнергию.

Примерную необходимую мощность ( $\text{Вт}/\text{м}^3$ ) на обогрев и расход электроэнергии определяют по формуле

$$P = a \rho (\tau_{\text{вн}} - \tau_{\text{н}}), \quad (3.16)$$

где  $\rho$  — удельная тепловая характеристика, для одноквартирного дома равная 0,87  $\text{Вт}/(\text{м}^3 \cdot \text{град})$ ;  $a$  — коэффициент, учитывающий местные климатические условия и равный от 1,2 до 1,4;  $\tau_{\text{вн}}$  — температура внутри помещения, принимаемая равной 18 °С;  $\tau_{\text{н}}$  — среднесуточная температура за самый холодный месяц года.

При подсчете потребной на электроотопление энергии за весь отопительный сезон можно пользоваться следующей формулой:

$$W = a \rho (\tau_{\text{вн}} - \tau_{\text{ср.сез}}) T, \quad (3.17)$$

где  $\tau_{\text{ср.сез}}$  — средняя наружная температура за сезон;  $T$  — продолжительность отопительного сезона, ч.

Расчеты показывают, что если отпускная цена на дрова более 20  $\rho/\text{м}^3$ , то отопление электричеством выгоднее даже при стоимости электроэнергии 4  $\text{к}/(\text{кВт}\cdot\text{ч})$ . При стоимости тонны угля 50  $\rho$ , электроотопление бу-

дет целесообразнее при стоимости 1 кВт·ч электроэнергии менее 2 к.

Надо также учесть другие преимущества электрообогрева — возможность автоматического поддержания заданной температуры, высокую степень гигиеничности. Особенно выгодно электроотопление при удешевленном ночном тарифе и использовании печей с аккумулярованием теплоты в ночные часы.

### 3.5. Методика расчета нагрузки по силовым энергоприемникам

При определении максимальной мощности, потребляемой силовыми энергоприемниками из сети, исходной для расчета является мощность  $P_n$ , которая необходима для привода рабочей машины. Мощность двигателя должна превышать потребную по меньшей мере на значение потерь в передаточном механизме. Эти потери учитывают коэффициентом полезного действия передачи  $\eta_{пер}$ . Затем из каталога выбирают двигатель ближайшей мощности. Одновременно следует правильно выбрать тип двигателя, его исполнение и степень защиты от воздействия окружающей среды.

Максимальную мощность  $P_{max}$ , которую электродвигатель будет потреблять из сети, рассчитывают с учетом КПД двигателя  $\eta_{эд}$ , коэффициентов каталожной неувязки  $K_{н.в}$  и степени загрузки рабочей машины  $K_3$ . Последовательность расчета вытекает из последовательности граф приведенной ниже таблицы.

Оборудование, рабочая машина	$P_n$ , кВт	$\eta_{пер}$	$P_{р'}$ , кВт	Тип электродвигателя	$P_{у'}$ , кВт	$\eta_{эд}$	$P_{пг'}$ , кВт	$K_{н.в}$

Продолжение

Оборудование, рабочая машина	$K_3$	$P_{max}$ , кВт	$\cos \varphi_{II}$	$\cos \varphi_3$	$\lg \varphi_3$	$Q$	$T_{год}$	$A_{год}$

Расчетная мощность  $P_p$  для данной рабочей машины, в паспорте которой указана потребная мощность  $P_n$ , равна

$$P_p = \frac{P_n}{\eta_{пер}},$$

где  $\eta_{пер}$  — КПД передачи.

Присоединенная мощность  $P_{пр} = P_y / \eta_{эд}$ ,  $P_y$  и  $\eta_{эд}$  принимаются из паспорта (каталога) электродвигателя. Коэффициент каталожной неувязки  $K_{к.п} = P_p / P_y$ .

Коэффициент загрузки  $K_z$  рабочей машины приводится в каталожных данных на машину. Его определяют опытным путем:  $K_z = P_{ср.кв.п} / P_n$ , где  $P_{ср.кв.п}$  — среднеквадратичная мощность за цикл работы, определяемая по нагрузочной диаграмме и приводимая в справочнике для различных видов продукта, перерабатываемого машиной.

Максимальная мощность

$$P_{max} = \frac{P_y K_{к.п} K_z}{\eta_{эд}} = P_{пр} K_{к.п} K_z. \quad (3.18)$$

Коэффициент мощности  $\cos \varphi_n$  берут из паспорта,  $\cos \varphi_z$  — из каталожных данных на электродвигатель для данного  $K_z$ .

Реактивная мощность

$$Q = P_{max} \operatorname{tg} \varphi_z, \quad \operatorname{tg} \varphi_z = \frac{\sqrt{1 - \cos^2 \varphi_z}}{\cos \varphi_z}.$$

Годовое потребление электроэнергии  $A_{год} = P_{max} T_{год}$ , где  $T_{год}$  — число часов работы установки в год.

Если задано число часов использования установленной мощности  $T_y$ , то  $A_{год} = P_y T_y$ .

По данной методике определяют  $P_{max}$ ,  $Q$ ,  $A_{год}$  и другие показатели для всех групп силовых потребителей в животноводстве, птицеводстве, растениеводстве, на подсобных предприятиях.

### 3.6. Выбор аппаратуры управления к электродвигателям

Эта часть проектирования — одна из самых важных, определяющих не только квалификацию проектировщика, но и оказывающих влияние на надежную работу установок в дальнейшем.

Для сельскохозяйственных электроустановок применяют коммутационную и пускорегулирующую аппаратуру общепромышленного производства: рубильники, магнитные пускатели, установочные выключатели, плавкие предохранители, пусковые ящики, установочные автоматы, щитовые сборки. Последние три аппарата используют редко.

Рубильники, пусковые ящики, установочные выключатели применяют на силовых установках лишь в том случае, когда установка действует в присутствии обслуживающего персонала, который выключает ее в случае перегрузки или работы на двух фазах.

Магнитные пускатели следует применять на установках с дистанционным управлением или автоматизированных. Пускатели должны при этом иметь хорошо настроенную тепловую защиту, обеспечивающую выключение установки при перегрузке или работе на двух фазах.

На установках, которые работают в присутствии обслуживающего персонала, но имеют нулевую защиту, следует применять контакторы или магнитные пускатели без тепловых реле.

На неавтоматизированных установках, работающих без персонала, необходимо использовать автоматические выключатели типа АП50, АК63, АЗ100, АЗ700, которые дешевле магнитных пускателей и менее чувствительны к колебаниям напряжения.

Эта часть проекта может быть оформлена в виде чертежной схемы или следующей таблицы.

Помещение, объект, установка	Тип силового щитка	Тип предохранителя, токоплавкой вставки	Марка провода до пусковой аппаратуры, способ прокладки, длина, площадь поперечного сечения	Тип пускового аппарата, установка для защиты от перегрузки	Марка провода к электродвигателю, способ прокладки, длина, площадь поперечного сечения	Тип электродвигателя, мощность, частота вращения, исполнение	Заземляющий провод и его длина	Некоторые элементы эксплуатации

С целью повышения уровня надежности работы электроустановок и электродвигателей необходимо проектировать мероприятия по обеспечению их безаварийной работы.

### 3.7. Составление графиков нагрузки по отдельным потребителям, объектам и по хозяйству

При детальном расчете электрификации графики составляют для зимнего, летнего, осеннего и весеннего дней, а если имеется мощная нагрузка в течение кратковременного сезона, то и для данного сезона. Если известно, что наибольшая нагрузка в данном хозяйстве приходится на зимний день, то для определения максимальной мощности по объектам (необходимо для выбора проводов линий) и по хозяйству или отделению хозяйства (необходимо для выбора мощности источника электроснабжения) составляют один зимний график. Но он не дает возможности проанализировать детально состояние и возможности электрификации в течение круглого года.

Первоначально проводят предварительный расчет в соответствии со следующей таблицей.

Помещение, объект, установка	Количество продукта к переработке в сутки, т, кг, м <sup>3</sup>	Производительность машины, т, кг, м <sup>3</sup> /ч	Число часов в сутки $T_c$	Мощность $P_{\max}$ , кВт	Реактивная мощность $Q$ , квар

Затем составляют графики нагрузки по объектам или группам потребителей, питающихся по общей воздушной линии от общей подстанции, передвижной (резервной) электростанции.

Для наглядности и удобства дальнейшего анализа график следует построить в координатах: мощность нагрузки  $P$  — часы суток  $t$  (рис. 3.1).

Для определения среднего коэффициента мощности по объектам и по хозяйству в часы максимальной нагрузки составляют следующую таблицу.

Наименование электроустановок	Участие в максимуме нагрузки			
	объекта		по хозяйству	
	$P_{\max}$ , кВт	$Q$ , квар	$P_{\max}$ , кВт	$Q$ , квар

Определяют средний  $\cos\varphi_{\text{ср}}$  для отдельных линий. Например, для линии № 1

$$\cos\varphi'_{\text{ср}} = \sqrt{\frac{1}{\text{tg}^2\varphi'_{\text{ср}} + 1}}, \text{ где } \text{tg}\varphi'_{\text{ср}} = \frac{\Sigma Q'}{\Sigma P'_a}.$$

Расчетная мощность (кВ·А) для линии № 1  $S_1 = \frac{\Sigma P'_a}{\cos\varphi'_{\text{ср}}}$ , аналогично и для других линий, и для хозяйства в целом.

Из графиков по объектам и по хозяйству можно вывести коэффициент спроса:

$$K_c = \Sigma P'_a / \Sigma P'_y. \quad (3.19)$$

Мощность источника электроснабжения для хозяйства:

$$S_{\text{и}} = \frac{K_{\text{пот}} \Sigma P_a}{\cos\varphi_{\text{ср}}} \quad (3.20)$$

где  $K_{\text{пот}}$  — коэффициент, учитывающий потери в линии, обычно равный 1,03...1,06.

Построить графики нагрузки по отдельным объектам и по хозяйству в целом можно, пользуясь нормативными графиками, если они определены для данного района.

### 3.8. Использование графиков нагрузки

Расход электроэнергии определяют в основном двумя способами: 1) суммируют расходы энергии по отдельным потребителям, подсчитанные в таблицах, приведенных выше; 2) подсчитывают по графикам нагрузки. Этот расчет ведется в такой последовательности.

По двум (зимнему и летнему), четырем (тем же и осеннему и весеннему) или пяти (тем же и сезонному) графикам строят график годовой по продолжительности как зависимость  $P_T = f(T_{\text{год}})$ , где  $T_{\text{год}} = 8760$  ч.

Если используется пять графиков, то число  $P_{\text{дн}}$  дней действия каждого графика находят по формуле

$$P_{\text{дн}} = \frac{365 - P_{\text{сез}}}{4}. \quad (3.21)$$

Затем составляют следующую таблицу.

Текущая мощность нагрузки $P_T$ , кВт	Число часов использования данной мощности на графике					Всего число часов использо- вания в году
	зимнем $T_z = T_{сут} \cdot n_z$	летнем	осеннем	весеннем	сезонном	

Годовое потребление электроэнергии  $A_{год}$  определяется как площадь, ограниченная годовым графиком по продолжительности.

Коэффициент заполнения графика

$$K_{зап} = \frac{A_{год}}{8760 \cdot P_{max}} \quad (3.22)$$

Следует стремиться к максимальному заполнению графика.

Далее определяют удельные показатели электрификации хозяйства, которые позволяют сравнивать степень электрификации отдельных хозяйств и проводить ориентировочные расчеты, например, в масштабах района. К таким показателям относятся:

удельные мощность и расход энергии на одну голову скота или птицы;

удельное потребление энергии на одного трудоспособного человека.

Эти показатели используют в укрупненных расчетах по определению мощности трансформаторной подстанции отдельного хозяйства или района. Нетипичные потребители в районе (например, предприятия местной промышленности) учитывают при этом отдельно, составляя для них графики нагрузки, определяя мощности и т. д.

#### 4.1. Основные характеристики рационального электропривода

Под рациональным приводом понимается электро-механическая система, предназначенная для электрификации и автоматизации производственных процессов, обеспечивающая заданную производительность и качество продукции при минимальных приведенных затратах.

При проектировании электропривода необходимо стремиться к наиболее полному соответствию характеристик двигателя и рабочей машины, максимальному использованию его мощности. Параметры электропривода должны обеспечивать надежную работу в данных условиях окружающей среды, безопасность и отвечать эстетическим требованиям. Для достижения поставленных целей приходится решать задачи по выбору рационального электродвигателя, передаточного устройства, преобразователя и системы управления, учитывать следующие приводные характеристики.

Технологическая характеристика позволяет получить следующую информацию: назначение машины (механизма), производительность ее, данные о перерабатываемом материале, требования технологов к режиму работы, а также состояние окружающей среды.

Механическая характеристика представляет собой зависимость момента на валу электродвигателя от скорости. Назначение механической характеристики заключается в определении характера изменения статических сил сопротивления при различной частоте вращения двигателя.

Нагрузочная характеристика обычно представляет собой зависимость потребляемого тока или мощности от времени. Иногда она может быть представлена зависимостью момента на валу электродвигателя от времени. Нагрузочная характеристика позволяет судить об изме-

нениях нагрузки в процессе работы и определить степень ее колебаний (отклонений) от средних значений.

**Кинематическая характеристика** дает информацию о распределении моментов по отдельным звеньям (механизмам) машины и скорости движения их.

**Энергетическая характеристика** показывает, как распределяется энергия от двигателя к различным рабочим механизмам агрегата или машины.

**Инерционная характеристика** позволяет судить о значении инерционных масс отдельных элементов машины.

Кроме перечисленного, необходимо иметь информацию об условиях электроснабжения.

Ниже излагаются основные этапы проектирования электроприводов.

#### **4.2. Выбор рода тока и параметров напряжения**

В связи с развитием техники преобразования одного рода электрического тока в другой в ряде случаев для получения более качественных результатов технологического процесса целесообразно выбирать параметры источника электроснабжения. Эта задача должна решаться на основе технико-экономических сравнений вариантов.

При выборе рода тока в первую очередь оценивают требования технологии к диапазону и качеству изменения скоростей рабочих органов машины. При потребности в глубоком и плавном регулировании предпочтение следует отдавать двигателям постоянного тока. Подобные приводы используются в мобильных кормораздатчиках, а также на испытательных стендах.

При ступенчатом регулировании или незначительном его диапазоне предпочтительны электродвигатели, работающие на переменном токе. В этих случаях возникает вопрос: какими средствами обеспечить изменение частоты вращения двигателя? Возможны варианты: регулирование за счет параметров двигателя или за счет параметров питающего напряжения, то есть приходится решать вопрос о предварительном выборе, точнее об оценке преобразовательного устройства. В ряде случаев здесь подбирают необходимое передаточное звено.

Следует отметить, что выбор рода тока практически

предварительно определяет структуру подключения двигателя к сети. Эта задача должна решаться на основе технико-экономического сравнения вариантов структурных схем.

Если же привод нерегулируемый, то предпочтение следует отдать двигателям переменного тока.

При выборе частоты тока приходится учитывать технологическое назначение машины (механизма). Если речь идет о переносных инструментах (стригальные машинки, дрели, гайковерты и пр.), то предпочтение следует отдать повышенной частоте, так как при этом значительно улучшаются массо-габаритные характеристики инструмента. Если машина стационарная или мобильная, но не переносная, то обычно принимают стандартную частоту сети 50 Гц.

При выборе напряжения можно рекомендовать следующий подход: для постоянного тока использовать стандартные значения 12, 24, 48, 110 и 220 В, а для переменного тока — систему 380/220 В. Однако для привода машин и механизмов, у которых возможен тяжелой разгон, необходимо для облегчения запуска применять переключение обмоток двигателя со звезды на треугольник. В последнем случае следует рекомендовать электродвигатель, обмотки которого рассчитаны на напряжение 660/380 В. Для электродвигателей мощностью более 400 кВт, используемых в системе орошения, напряжения питающей сети принимают 6... 10 кВ.

### 4.3. Выбор рациональной структуры электропривода

Под рациональной структурой электропривода машины подразумевается число двигателей, необходимых для привода рабочих органов, сокращение числа передаточных звеньев, обеспечивающее повышение надежности, экономичности системы электропривод — рабочая машина.

Очевидно, снова возникает необходимость сравнивать варианты структурных схем привода. Исходными материалами к этому этапу служат кинематическая и энергетическая характеристики. На основе совместного их анализа выявляют основные энергетические узлы агрегата (машины) и решают задачу либо обеспечить привод каждого узла, в ряде случаев группы узлов,

самостоятельными приводами, либо осуществить привод сложной машины от одного электродвигателя. В первом случае привод многодвигательный, во втором — одиночный.

При одиночном приводе усложняется кинематика машины, снижается надежность и увеличиваются эксплуатационные затраты. При многодвигательном варианте существенно возрастают капитальные вложения. Следует заметить, что приведенные рассуждения справедливы для агрегатов и машин, имеющих группу рабочих органов (механизмов). Например, измельчитель кормов «Волгарь-5» включает в себя два рабочих органа для измельчения кормов и питающий транспортер, приводимые от одиночного двигателя. Кинематика машины достаточно разветвлена и, очевидно, далека от рациональной.

При наличии одного рабочего органа задача значительно упрощается, так как снимается вопрос о числе электродвигателей. Наиболее рациональное решение достигается при непосредственном соединении двигателя и рабочей машины. Этот вариант возможен лишь в редких случаях, так как рабочие скорости исполнительных механизмов большинства сельскохозяйственных машин не совпадают со стандартной частотой вращения электродвигателей, в последних случаях возникает задача по выбору частоты вращения вала двигателя и оптимальному передаточному числу.

Частота вращения вала электродвигателя определяет массо-габаритные характеристики двигателя. Чем она ниже, тем больше масса и габаритные размеры. С другой стороны, чем она выше, тем большим коэффициентом передачи должно обладать передаточное звено при одинаковых скоростях рабочего органа. Поэтому при выборе оптимального передаточного звена необходимо также рассматривать различные варианты системы двигатель — передаточное звено, добиваясь наилучших энергетических показателей привода в целом.

В общем случае эту задачу можно решить путем сравнения коэффициентов полезного действия передач, выбирая наибольший.

Для зубчатых передач

$$\eta = \eta_{ц} \left[ 1 - \mu_{ц} \left( \frac{1}{z_1} + \frac{1}{z_2} \right) \right], \quad (4.1)$$

где  $\eta_n$  — КПД соединений, принимаемый в пределах от 0,94 до 0,99;  $\mu$  — коэффициент трения, равный 0,03...0,15;  $z_1$  и  $z_2$  — число зубьев малого и большого колес.

Для ременной передачи

$$\eta_{р.п} = \eta_c \eta_p \eta_v, \quad (4.2)$$

где  $\eta_c$  — КПД, учитывающий потери на скольжение и принимаемый равным 0,98;  $\eta_p$  — КПД, учитывающий потери в ремне и равный 0,98;  $\eta_v$  — КПД, учитывающий потери на трение о воздух и равный 0,99.

Обычно частоту вращения вала двигателя принимают 1000...1500 об/мин, а затем решают вопрос о наиболее выгодном передаточном звене. При этом необходимо в первую очередь рассматривать варианты по использованию мотор-редукторов, а уже в дальнейшем варианты с применением других типов передач: ременных, цепных, редукторных, фрикционных.

Необходимо заметить, что в тех случаях, когда передаточное звено наряду с основными функциями выполняет и другие, например облегчает разгон системы за счет фрикционных свойств различного типа муфт или служит для изменения скольжения системы в процессе работы (электромагнитные или фрикционные муфты), технико-экономический анализ вариантов проводится с учетом всех элементов привода.

#### 4.4. Выбор мощности двигателя по условиям нагрева

Исходными материалами для данного этапа являются технологическая и нагрузочная характеристики. При этом по первой из них определяют режим работы привода: продолжительный при  $\varepsilon \geq 0,6$ , кратковременный при  $\varepsilon \leq 0,1$  или повторно-кратковременный при  $0,1 \leq \varepsilon \leq 0,6$ . Напомним, что  $\varepsilon$  есть относительная продолжительность работы, определяемая отношением времени работы к сумме рабочего времени и паузы  $t_p + t_n$ :

$$\varepsilon = \frac{t_p}{t_p + t_n}, \quad (4.3)$$

При проектировании привода рабочей машины предварительно определяют мощность двигателя по аналитическим зависимостям или по удельной энергоемкости. Аналитические зависимости мощности от производительности рабочей машины приводятся в спра-

вочниках. Например, требуется определить мощность электродвигателя насоса при известных значениях напора  $H$  и расхода  $Q$ , а также коэффициентов полезного действия насоса  $\eta_{\text{н}}$  и передачи  $\eta_{\text{п}}$ :

$$P = \frac{QH}{\eta_{\text{п}}\eta_{\text{н}}} \quad (4.4)$$

Определение мощности двигателя по удельной энергоемкости процесса не вызывает затруднений. В справочной литературе приводятся данные о затратах энергии на единицу продукции. Например, энергоемкость транспортировки зерна составляет 0,07 кВт·ч/т. Зная энергоемкость процесса  $a$  и производительность машины  $q$ , определяют мощность двигателя:

$$P = aq \quad (4.5)$$

По предварительно определенной мощности двигателя и частоте вращения его вала выбирают тип и мощность электродвигателя по каталогу. При этом необходимо учитывать режим работы и условия окружающей среды. Условия выбора:

$$P_{\text{н}} \geq P_{\text{расч}} \quad \text{и} \quad \omega_{\text{н}} \geq \omega_{\text{расч}}, \quad (4.6)$$

где  $P_{\text{н}}$  и  $P_{\text{расч}}$  — соответственно номинальная и расчетная мощность;  $\omega$  и  $\omega_{\text{расч}}$  — номинальная и расчетная частота вращения вала.

Тип двигателя выбирают из следующих соображений: для кратковременного или повторно-кратковременного режима работы необходимо выбирать двигатель с повышенным скольжением, а для продолжительного — обычного исполнения. В дальнейшем в процессе испытаний агрегата (машины) дают оценку приводу, в результате которой уточняют его параметры.

Мощность двигателя определяют по нагрузочной диаграмме с учетом режима работы. Например, для продолжительного режима работы номинальный ток двигателя определяют из следующих условий:

$$I_{\text{н}} \geq I_{\text{ср}}; \quad (4.7)$$

$$I_{\text{н}} \geq I_{\text{экв}}, \quad (4.8)$$

где  $I_{\text{ср}}$  и  $I_{\text{экв}}$  — среднее и эквивалентное значения токов, определяемые из нагрузочной диаграммы.

Выражение (4.7) используют в тех случаях, когда максимальное отклонение тока нагрузки не превосходит половины среднего значения, а в противном случае необходимо пользоваться выражением (4.8).

При относительно невысокой частоте колебания нагрузки диаграмма аппроксимируется (заменяется) ступенчатыми линиями, упрощающими аналитический подсчет эквивалентных значений токов. Следует иметь в виду, что реальная и аппроксимальная площади должны быть равны.

Эквивалентные значения токов при данном методе определяются как

$$I_{\text{экив}} = \sqrt{\frac{I_1^2 t_1 + I_2^2 t_2 + \dots + I_n^2 t_n}{t_1 + t_2 + \dots + t_n}}; \quad (4.9)$$

для кратковременного режима

$$I_{\text{экив}} = \sqrt{\frac{I_{\text{пуск}}^2 t_{\text{пуск}} + I_p^2 t_p}{t_{\text{пуск}} + t_p}}; \quad (4.10)$$

для повторно-кратковременного режима

$$I_{\text{экив}} = \sqrt{\frac{I_{\text{пуск}}^2 t_{\text{пуск}} + I_p^2 t_p + I_{\tau}^2 t_{\tau}}{\alpha t_{\text{пуск}} t_p + \beta t_{\tau} + \gamma t_n}}, \quad (4.11)$$

где  $I_1, I_2, I_n$  — значения токов из нагрузочной диаграммы на соответствующих участках продолжительностью  $t_1, t_2, t_n$ ;  $I_{\text{пуск}}$  — значение токов при пуске;  $t_{\text{пуск}} + t_{\tau}$  — продолжительность разгона и торможения;  $\alpha$  и  $\beta$  — коэффициенты, учитывающие ухудшение охлаждения двигателя при пуске ( $\alpha=0,75$ ), торможении ( $\beta=0,75$ ) и паузе ( $\gamma=0,5$ ).

При этом следует иметь в виду, что для кратковременного режима работы наряду с условием (4.8) должно выполняться и неравенство:

$$t_k \geq t_x, \quad (4.12)$$

где  $t_k$  и  $t_x$  — длительность стандартного и фактического периодов работы. Согласно ГОСТ 183—74,  $t_k$  может составлять 10, 30, 60 и 90 мин.

Для двигателя с повторно-кратковременным режимом работы также по условиям нагрева должно дополнительно соблюдаться неравенство:

$$PB_{\text{ст}} \geq PB_x, \quad (4.13)$$

где  $PB_{\text{ст}}$  и  $PB_x$  — стандартная и расчетная продолжительность включения, %.

Продолжительность включения

$$PB = \frac{t_p 100}{t_p + t_n}, \quad (4.14)$$

где  $t_p$  и  $t_n$  — соответственно время работы и время паузы, с.

По ГОСТ 183—74 стандартизованы значения  $PВ$ , равные 15, 25, 40 и 60 %.

Если для кратковременного режима работы используется двигатель, рассчитанный на продолжительный режим, то эквивалентное значение тока уменьшается. В этих случаях выражение (4.8) принимает вид:

$$I_{\text{н}} \geq KI_{\text{экв}}, \quad (4.15)$$

где  $K$  — расчетный коэффициент, зависящий от соотношения времени работы  $t_p$  и постоянной времени нагрева электродвигателя  $T$ , а также от соотношения постоянных и переменных потерь двигателя  $\alpha$ ;

$$\alpha = \frac{\Delta P_c}{\Delta P_v}. \quad (4.16)$$

Значения  $\alpha$  приводятся в каталоге, а коэффициент  $K$  рассчитывают по формуле

$$K = \sqrt{\frac{\alpha + 1}{1 - e^{-t_p/T}} - \alpha}. \quad (4.17)$$

Следует заметить, что выражения (4.15), (4.16) и (4.17) приведены для аппроксимации нагрузочных диаграмм прямоугольниками. В ряде случаев подобную операцию целесообразно проводить, аппроксимируя диаграммы ломаными прямыми, образуя треугольники и трапеции. Эквивалентные значения токов при этом будут следующими:

для участка, аппроксимируемого треугольником,

$$I_{\text{экв}} = \sqrt{\frac{I^2}{3}}; \quad (4.18)$$

для трапециевидального участка

$$I_{\text{экв}} = \sqrt{\frac{(I_1^2 + I_1 I_2 + I_2^2)}{3}}; \quad (4.19)$$

где  $I_1$  и  $I_2$  — соответственно максимальное и минимальное значения тока.

В тех случаях, когда частота колебания нагрузки большая и аппроксимация диаграммы затруднительна, для обработки нагрузочных диаграмм используют дис-

кретные методы обработки. Математическое ожидание (среднее значение нагрузки)

$$I_{\text{ср}} = \frac{\sum_{i=1}^n I_i}{n}, \quad (4.20)$$

где  $I_i$  — значение тока на  $i$ -м участке;  $n$  число участков, на которых делают замеры.

Для получения достоверных результатов с точностью до 5 % принимают  $n=100$ . Продолжительность нагрузочной диаграммы при этом должна быть не менее

$$t = 100t_{\text{в}},$$

где  $t_{\text{в}}$  — время выборки.

Среднеквадратичное отклонение тока вычисляют по формуле

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum (I_i - I_{\text{ср}})^2}{n-1}}. \quad (4.21)$$

Эквивалентное значение тока

$$I_{\text{экв}} = \sqrt{I_{\text{ср}}^2 + \sigma^2}. \quad (4.22)$$

Зная эквивалентное значение нагрузки, выбирают мощность привода аналогично предыдущим вариантам. Следует заметить, что необходимо не только определять число выборок, но и продолжительность работы на фиксируемом участке. Обычно принимают, что длина диаграммы в месте выборки должна быть не менее половины выброса нагрузки, то есть  $t_{\text{в}} \geq 0,5t$  выброса. Таким образом, окончательно мощность двигателя определяют после обработки нагрузочных диаграмм, полученных в процессе испытаний привода.

#### 4.5. Оценка приводного двигателя на устойчивость в работе

Этот этап включает в себя проверку электродвигателя по условиям пуска, перегрузочной способности и допустимому числу включений в час для повторно-кратковременного режима работы. Исходными материалами здесь служат механическая, технологическая и инерционная характеристики. Проверка по условиям пуска включает в себя следующие расчеты: проверку

по возможности разгона системы, по допустимому времени разгона, по допустимому числу включений в час для двигателей, работающих в повторно-кратковременном режиме.

Для проверки по условиям разгона пользуются следующим выражением:

$$\mu_{\text{п}} \geq \frac{a\mu_{\text{т}}}{K_U^2} \quad (4.23)$$

Здесь  $\mu_{\text{п}}$  — кратность пускового момента двигателя;  $a$  — коэффициент, необходимый для разгона инерционных масс, обычно  $a=1,2 \dots 1,3$ ;  $\mu_{\text{т}}$  — кратность момента трогания рабочей машины,

$\mu_{\text{т}} = \frac{M_{\text{т}}}{M_{\text{п}}}$ ;  $M_{\text{т}}$  — момент трогания рабочей машины;  $M_{\text{п}}$  — номинальный момент двигателя;  $K_U$  — коэффициент, учитывающий снижение напряжения на зажимах двигателя при пуске:

$$K_U = (1 - \Delta U), \quad (4.24)$$

где  $\Delta U$  — потеря напряжения при пуске двигателя.

Проверка по допустимому времени разгона заключается в сравнении фактического и допустимого по условиям нагрева времени:

$$t_{\text{разг}} \leq t_{\text{доп}} \quad (4.25)$$

Таблица 4.1. Допустимое время разгона электродвигателей

Тип электродвигателя	Время разгона электродвигателя (с), при температуре окружающей среды, °С	
	до 40	не свыше 30
1. Электродвигатели серии АО2: а) для 5...9 габаритов защищенного исполнения и 1...5 габаритов закрытого обдуваемого исполнения	10,5	12,0
б) для 6...9 габаритов закрытого обдуваемого исполнения	12,5	15,0
2. Электродвигатели сельскохозяйственного назначения АО2...сх, АОП2...сх (модификация единой серии АО2); а) для 3...5 габаритов	12,0	13,5
б) для 6...9 габаритов	15,0	16,5
3. Электродвигатели сельскохозяйственного назначения ДА...С (модификация серии Д)	11,0	13,0

При проектировании время разгона системы определяют аналитически или графоаналитически, а допустимое время разгона принимают по таблице 4.1.

Допустимое число включений в час определяют по формуле

$$Z = 2250 \cdot \frac{(1-\varepsilon)(1+\alpha)}{K_i^2 t_{\text{раз}}}, \quad (4.26)$$

где  $\varepsilon$  — относительная продолжительность включения;  $\alpha$  — коэффициент потерь;  $K_i$  — кратность пускового тока двигателя (из каталога);  $t_{\text{раз}}$  — время разгона привода.

Проверка правильности выбора привода заключается в соблюдении неравенства  $Z_{\text{доп}} \geq Z_{\text{факт}}$ .

Если фактическая частота включений двигателя превышает допустимую, то необходимо увеличить мощность двигателя на ступень или предусмотреть средства облегчения пуска.

Проверка по перегрузочной способности необходима для определения возможности двигателя преодолевать максимальные пики нагрузки (определяются из нагрузочной диаграммы). Выполняют ее по формуле

$$\mu_k K_U^2 \geq \mu_{\text{max}}, \quad (4.27)$$

где  $\mu_{\text{max}}$  и  $\mu_k$  — соответственно отношение максимального момента двигателя и момента сопротивления к номинальному моменту электродвигателя.

Если неравенство (4.27) не выдержано, то необходимо или завышать мощность двигателя, или решать вопрос о снижении максимальных пиков нагрузки. Последнее может быть достигнуто за счет формирования более равномерного потока продуктов на входе машины, то есть за счет выравнивания графика нагрузки, или за счет применения так называемого маховикового привода, позволяющего увеличить запас кинетической энергии системы, который уменьшит нагрузки на двигатель при преодолении пиков.

Этап оценки приводного двигателя на устойчивость в работе предусматривает выбор средств облегчения пуска. Эту работу проводят, если на предыдущем этапе проектирования не выполнено одно из условий проверки по пуску. При этом в первую очередь проверяют возможность использования двигателя с повышенным моментом. Далее можно рассматривать варианты, позволяющие снизить тепловую нагрузку на двигатель: переключение обмоток статора двигателя со звезды на

треугольник, применение центробежных или электромагнитных пусковых муфт, применение двигателя с фазным ротором.

Способ с переключением со звезды на треугольник может быть рекомендован только в тех случаях, когда момент трогания рабочей машины не превышает 30 % номинального момента двигателя.

Для сравнения средств облегчения пуска пользуются относительными приведенными затратами по ним. За базовый вариант принят прямой пуск двигателя.

Способ пуска	Относительные приведенные затраты
Прямой . . . . .	1
С двигателем АОП . . . . .	1,05...1,1
Со звезды на треугольник . . . . .	1,2...1,4
С муфтой:	
центробежной . . . . .	1,05...1,1
электромагнитной . . . . .	1,05...1,15
С двигателем с фазным ротором . . . . .	1,5...1,8

#### 4.6. Выбор степени защиты двигателя, конструктивного исполнения. Порядок сметно-финансового расчета

Асинхронные двигатели серии 4А по степени защиты персонала от прикосновения к токоведущим частям, попадания твердых предметов под оболочку двигателя и защиты от проникновения влаги изготавливают в трех исполнениях: защищенные IP23, закрытые и обдуваемые IP44 и IP54.

Первая цифра означает степень защиты от прикосновения к токоведущим частям и проникновения твердых предметов: 2 — соответствует защите от попадания твердых тел диаметром до 12,5 мм; 4 — то же, диаметром более 1 мм; 5 — исключает попадание любых предметов, в том числе и пыли. Вторая цифра соответствует степени защиты двигателя от проникновения влаги под его кожух: 3 — защита от дождя, падающего под углом более 60° к вертикали; 4 — защита от брызг любого направления, в том числе и от дезинфицирующих растворов.

В зависимости от района применения двигателя выпускаются следующих исполнений: для умеренного климата — У, тропического — Т, холодного — влагоморозостойкие ВМС. Условия размещения обозначают следующие

щим образом: 1 — на открытом воздухе; 2 — в помещении, в котором отсутствует прямое воздействие атмосферных осадков (палатка, навес); 3 — закрытые, но неотапливаемые помещения; 4 — помещения с искусственным климатом; 5 — помещения с повышенной влажностью. По условиям производства возможны сочетания ряда неблагоприятных факторов, которые учитываются при специальном исполнении двигателей (двигатель сельскохозяйственного назначения — СХ, химического исполнения — Х и т. д.).

Для сухих, влажных и сырых помещений (котельные, инкубаторы, гаражи, склады, цехи по переработке продукции животноводства, овощей и фруктов) рекомендуются электродвигатели исполнения IP44Y3. Для особо сырых (доильные залы, насосные и моечные отделения, парники и теплицы, хранилища) рекомендуются двигатели исполнения IP44Y2, для особо сырых с химически активной средой (животноводческие и птицеводческие помещения, склады минеральных удобрений) — IP44СХУ1, для пыльных помещений (комбикормовые цехи, пункты послеуборочной обработки зерна) — IP54СХУ3, закрытые от проникновения пыли.

В зависимости от конструкции машины возможны различные способы монтажа двигателя. Согласно ГОСТ 19523—81 и ГОСТ 2479—79, различают 24 исполнения двигателя по способу монтажа. При этом варьируются два основных фактора: тип крепления двигателя (на лапах, фланце, лапах и фланце) и расположение свободного конца вала (влево, вправо, вверх, вниз).

К сети двигатель может быть подключен кабелем при помощи гибкого рукава или трубной проводки, что определяет конструкцию вводных устройств.

К конструктивным параметрам привода относится и материал, из которого выполнен корпус двигателя (алюминиевый или чугунный).

Аппаратуру защиты и управления, а также щиты и пульты управления приводом выбирают с учетом технико-экономических предпосылок.

В сметно-финансовом расчете и при определении энергетических показателей привода учитывают установленную мощность (паспортную), коэффициенты полезного действия  $\eta$  и мощности  $\cos\varphi$ , коэффициент загрузки

ки  $K_3$ , удельные затраты мощности и энергии на производственные процессы  $p$  и  $a$ .

Коэффициент загрузки должен находиться в пределах  $0,7 \leq K_3 \leq 1$ .

Удельные мощность и энергоёмкость процессов определяются:

$$p = \frac{P_n}{Q},$$

$$a = \frac{A}{Q},$$

где  $P_n$  — номинальная мощность двигателя, кВт;  $A$  — потребление электроэнергии за цикл работы, кВт·ч;  $Q$  — объем продукции, т.

#### **4.7. Краткая характеристика некоторых двигателей, применяемых в сельском хозяйстве**

Двигатели серии А2 и АО2 мощностью от 0,6 до 100 кВт выпускаются 18 типоразмеров, девяти габаритов (каждый габарит включает два типоразмера). Частота вращения двигателей: 600, 750, 1000, 1500 и 3000 об/мин. Пусковой момент двигателей находится в пределах от 1 до 1,9 номинального, критический — от 1,7 до 2,5; кратность пускового тока от 6,0 до 7,5 номинального. Двигатели выпускаются в обычном, влагостойком, химическом и сельскохозяйственном исполнении.

Кроме того, выпускаются двигатели с повышенным моментом, скольжением, а также многоскоростные (двух-, трех- и четырехскоростные).

Единая серия 4А имеет лучшие энергетические показатели и выпускается мощностью от 0,06 до 400 кВт с частотой вращения от 300 до 3000 об/мин.

Кратность пусковых моментов — 1...2,0, критических — 1,9...2,5 при кратности пусковых токов от 2,5 до 7,5.

Двигатели серии Д предназначены для приводов сельскохозяйственного, бытового и общего применения. Эти двигатели выпускаются мощностью от 0,2 до 4 кВт. Они обладают кратностью пускового момента от 1,1 до 2,2, максимального от 1,8 до 2,5, кратностью пускового тока от 3,5 до 6,5.

#### 5.1. Причины выхода электродвигателей из строя и диагностика предаварийных состояний

Экономическая эффективность применения электрических двигателей определяется не только их стоимостью, но и затратами при их эксплуатации. Надежность как свойство электрических двигателей выполнять определенные функции в определенных условиях эксплуатации закладывается при проектировании, обеспечивается при изготовлении и реализуется в эксплуатации. Ошибки, допущенные при проектировании электродвигателя, вызывают в процессе его работы конструкционные отказы. Нарушение технологии изготовления двигателя или ее несовершенство приводят к производственным отказам. Эксплуатация электродвигателей в условиях, на которые они не рассчитаны, нарушение правил эксплуатации также обуславливают их отказы. Отказы электродвигателей, не связанные с их естественным износом, приводят к преждевременному выходу из строя электрических машин (рис. 5.1).

Для сельскохозяйственных электроустановок характерны три группы отказов двигателей:

- 1) термическое разрушение изоляции;
- 2) гидрохимическое ослабление и разрушение изоляции;
- 3) механические повреждения электродвигателя.

Из-за повреждения изоляции происходит 90...95% отказов двигателей, из-за механических повреждений — 5...10%. Повреждением изоляции, вызывающим отказ двигателя, является утрата ею диэлектрических свойств и, как следствие, пробой.

Отказы электродвигателей вследствие повреждения изоляции вызываются вибрацией и коммутационными перенапряжениями в обмотке. Вибрация способствует нарушению изоляционных покрытий, развитию в них трещин, образованию сквозных дефектов. Коммутацион-

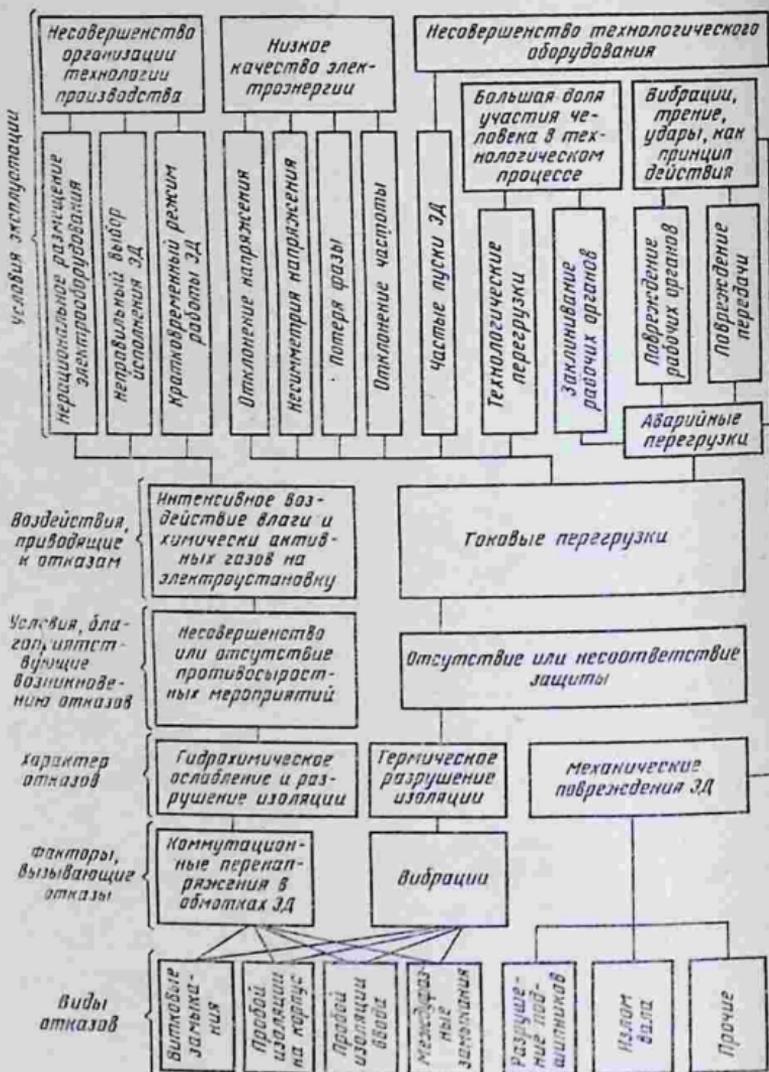


Рис. 5.1. Схема возникновения отказов электродвигателей в сельскохозяйственном производстве.

ные перенапряжения в обмотках, в 5...7 раз превышающие номинальное напряжение сети, «выявляют» слабые места в изоляции, прожигают каналы пробоя (треки), что приводит к отказу изоляционных конструкций и выходу электродвигателя из строя.

Во время аварийных перегрузок интенсивный нагрев токами короткого замыкания вызывает кардинальное изменение механизма старения изоляции, что, в свою очередь, обуславливает быстрое ее разрушение, обугливание и утрату электрической прочности даже для номинального напряжения.

В зависимости от места возникновения отказы изоляционных конструкций делят на следующие виды:

- 1) пробой изоляции ввода;
- 2) межвитковые замыкания в обмотке;
- 3) пробой изоляции обмотки на корпус;
- 4) пробой междуфазной изоляции обмотки.

Случайный характер нагрузки, обилие вредных факторов при эксплуатации электродвигателей, с одной стороны, и отсутствие надлежащей защиты от их воздействия, с другой, — основные причины преждевременного выхода из строя электродвигателей в сельскохозяйственном производстве.

Наступлению эксплуатационных и износных отказов двигателей, за исключением тех, что вызваны аварийными перегрузками, предшествует изменение физических свойств изоляционных конструкций. Характер и степень этого изменения определяют техническое состояние электрической машины.

Контроль состояния изоляции осуществляют двумя основными методами: 1) кондуктометрическим, 2) емкостным. Соответственно методам существуют приборы контроля: 1) мегомметры, тераомметры, мосты и т. п.; 2) измерители геометрической емкости обмоток на частотах 2 и 50 Гц, измерители тангенса угла потерь изоляции, измерители приращения емкости и состояния изоляции обмоток (прибор ПКВ-7).

Межвитковые замыкания в обмотках не могут быть обнаружены ни первым, ни вторым методами, поэтому для их диагностики есть специальные приборы, например ЕЛ-1. Комплексную оценку состояния изоляции обмоток дают некоторые новые методы диагностики, в частности волновой. Этот метод позволяет оценить волновые характеристики обмотки (декремент затухания), существенно зависящие от ее состояния (обрыв, межвитковые замыкания), и состояния изоляции (трещиноватость, увлажненность, качество пропитки обмотки изоляционными лаками и др.).

## 5.2. Выбор защиты от перегрева изоляции обмоток

**Общие положения.** Одно из главных условий долговечной работы электрических машин — выбор аппаратуры управления электродвигателями и их защиты в соответствии с правилами устройства электроустановок (ПУЭ). Рост уровня автоматизации сельскохозяйственного производства предъявляет к качеству защиты повышенные требования. Под качеством защиты понимается следующее:

точность и стабильность параметров защиты во времени, при действии температуры, влажности, механических факторов;

возможность регулирования параметров защиты и защитных характеристик, необходимого для обеспечения подстройки защиты в процессе эксплуатации, и упрощения ее калибровки при изготовлении;

наибольшая универсальность защиты, то есть сочетание максимальной токовой защиты с защитой от обрыва фаз, пробоя изоляции и др.;

надежность и долговечность.

Функции защиты выполняют различного рода расцепители, которые при возникновении ненормальных режимов работы отключают защищаемую цепь. Электрические двигатели прежде всего необходимо защищать от перегрева обмоток сверх допустимых пределов и резкого снижения сопротивления изоляции.

Тепловой режим двигателя определяется мощностью потерь и интенсивностью теплоотдачи в окружающую среду. Большинство ненормальных режимов работы, приводящих к выходу электродвигателей из строя, связаны с токовыми перегрузками, поскольку потери в обмотках пропорциональны квадрату протекающего по ним тока. Токовые перегрузки возникают как реакция электродвигателя на внешние возмущающие воздействия либо со стороны нагрузки (технологические и аварийные перегрузки, частые пуски), либо со стороны питающей сети (отклонения от нормы напряжения и частоты, несимметрия фазных напряжений, потери фазы). Результатом такой реакции является перегрев обмотки и ее изоляции.

Устройства защиты электродвигателей от перегрева могут реагировать как непосредственно на внешнее возмущение (предохранительные муфты, реле частоты и

напряжения, асимметрии), так и на реакцию двигателя на это возмущение (устройства контроля тока, скольжения) и на результат этого возмущения — нагрев обмотки (температурные реле прямого и косвенного действия). Кроме того, существуют защитные устройства, реагирующие на возмущение с учетом реакции двигателя (фазочувствительные реле) и на динамику изменения тока в обмотках с учетом их нагрева (температурно-токовые реле).

Надежность работы защиты обеспечивается выбором уставки и защитной характеристики. Защитной характеристикой называется зависимость между кратностью перегрузки и интервалом времени от момента возникновения перегрузки до ее отключения. Защитные характеристики могут быть трех видов:

- 1) обратно зависящая, то есть чем больше перегрузка, тем меньше время срабатывания;
- 2) мгновенного действия;
- 3) с выдержкой времени, не зависящей от значения перегрузки.

Защитной характеристикой первого вида обладают устройства, физически моделирующие тепловое состояние двигателя (тепловые реле с биметаллическими расцепителями, плавкие предохранители), а также аналоговые реле, моделирующие тепловое состояние двигателя процессами заряда — разряда в резистивно-емкостных цепях. Защитные устройства, реагирующие непосредственно на внешние возмущения режимов работы и питания двигателей, обладают характеристиками второго и третьего вида. Выдержка времени при срабатывании бывает необходима для предупреждения ложных срабатываний при кратковременных неопасных возмущениях. Механические средства защиты — предохранительные муфты срабатывают мгновенно, без выдержки времени. Защитную характеристику третьего вида имеют электромагнитные реле максимального тока с различными устройствами замедления.

**Механические средства защиты.** Для ограничения момента нагрузки на валу электродвигателя служат предохранительные муфты. Действие предохранительной муфты состоит в механическом разъединении ведущего и ведомого валов при возникновении на ведомом валу момента сопротивления, превышающего порог срабатывания муфты. Предохранительные муфты могут

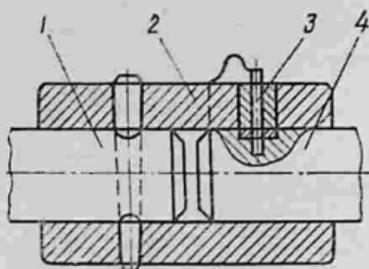


Рис. 5.2. Втулочная предохранительная муфта со срезным штифтом:

1 — ведомый вал; 2 — втулка; 3 — срезной штифт; 4 — ведущий вал.

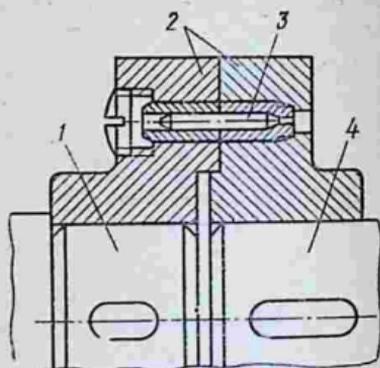


Рис. 5.3. Дисковая предохранительная муфта со срезным штифтом:

1 — ведомый вал; 2 — полумуфта; 3 — срезной штифт; 4 — ведущий вал.

быть однократного и многократного действия. К первым относят муфты с разрушающимися элементами. Включение привода вновь возможно лишь после замены разрушенного элемента (штифта, шпонки). Такие муфты применимы в тех случаях, когда аварийные ситуации в передачах маловероятны. Простейшие муфты однократного действия — это втулочные или дисковые со срезными штифтами (рис. 5.2 и 5.3).

В передачах, испытывающих переменные нагрузки, применяют предохранительные муфты многократного действия: при критической нагрузке они должны выключить передачу, а при снижении момента сопротивления они должны автоматически включаться. Таким требованиям отвечают кулачковые (ГОСТ 15620—77), шариковые (ГОСТ 15621—77) и фрикционные (ГОСТ 15622—77) муфты.

Основная характеристика муфты — предельный передаваемый крутящий момент, при котором происходит ее отключение. Для обеспечения долговечности электродвигателя необходимо, чтобы предельный крутящий момент муфты не превосходил максимального момента двигателя.

При проектировании механизмов с предохранительными муфтами многократного действия следует учитывать, что диапазон их номинальных вращающих моментов лежит в пределах от 16 до 400 Нм. Допу-

скаемая частота вращения зависит от конструкции. Наибольшая она у фрикционных муфт (400... 2500 об/мин). Для шариковых муфт этот диапазон составляет 315...1000 об/мин, причем большие значения частот вращения относятся к муфтам с меньшим номинальным вращающим моментом.

Плавкие предохранители по быстрдействию делят на инерционные, применяемые для защиты электрических двигателей, и быстродействующие — для защиты полупроводниковых элементов. Для получения большой выдержки времени при перегрузках в качестве материала для плавких элементов применяют цинк и свинец. Медь и серебро дают меньшую выдержку времени. Для снижения тока плавления вставок из меди и серебра применяют наплавки из олова (металлургический эффект).

Для защиты электроустановок напряжением до 380 В от перегрузок и токов короткого замыкания наиболее широко применяются выпускаемые промышленностью предохранители серии ПН2 (ТУ 16-522-113—75). Плавкий элемент изготовлен из медной ленты с оловянистыми напайками. В качестве наполнителя применен кварцевый песок. Максимальный ток неплавления и минимальный ток плавления соответственно равны 1,3 и 1,6 номинального тока плавкой вставки. Предельная отключающая способность токов короткого замыкания 25...100 кА.

Плавкие предохранители серии ППЗ1 выполнены в габаритах, рекомендованных Международной электротехнической комиссией (МЭК), и разработаны с целью полной замены предохранителей серии ПН2. Плавкая вставка и все токоведущие части предохранителей этой серии изготовлены из алюминия. Metallургический эффект обеспечен закреплением на плавкой вставке полос цинка. Предохранители серии ППЗ1 сочетают в себе инерционность срабатывания при токах перегрузки и быстродействие при токах короткого замыкания. Характеристики предохранителей серии ПН2 приведены в таблице 5.1.

Номинальный ток плавкой вставки предохранителя для защиты электродвигателей выбирают, исходя из следующего условия:

$$I_{\text{нл. вст}} \geq \frac{I_{\text{пуск}}}{\alpha},$$

где  $I_{\text{пл.вст}}$  — номинальный ток плавкой вставки, А;  $I_{\text{пуск}}$  — пусковой ток электродвигателя, А;  $\alpha$  — коэффициент, зависящий от условий работы электродвигателя; для двигателей с легким режимом пуска  $\alpha=2,5$ , с тяжелым режимом пуска  $\alpha=1,6 \dots 2$ .

Таблица 5.1

Тип (габарит) предохранителя	Номинальный ток, А	
	предохранителя	плавкой вставки
ПН2-100	100	30; 40; 50; 60; 80; 100
ПН2-250	250	80; 100; 120; 150; 200; 250
ПН2-400	400	200; 250; 300; 350; 400
ПН2-600	600	300; 400; 500; 600

Для двигателей с фазным ротором номинальный ток плавкой вставки находят из условия

$$I_{\text{пл.вст}} \geq (1 \dots 1,25) I_{\text{н.дв}},$$

где  $I_{\text{н.дв}}$  — номинальный ток электродвигателя.

Плавкую вставку для защиты группы электродвигателей с короткозамкнутым ротором выбирают из условия

$$I_{\text{пл.вст}} \geq 0,4 [\Sigma I_{\text{н.дв}} + (I'_{\text{пуск}} - I'_{\text{н.дв}})], \quad (5.1)$$

где  $\Sigma I_{\text{н.дв}}$  — сумма номинальных токов одновременно работающих двигателей;  $I'_{\text{пуск}} - I'_{\text{н.дв}}$  — разность между пусковым и номинальным токами для двигателя, у которого они наибольшие.

**Автоматические выключатели.** Автоматическим выключателем (автоматом) называется аппарат, предназначенный для нечастых замыканий и размыканий электрической цепи, длительного прохождения по нему электрического тока и для автоматического размыкания цепей при появлении в них различных ненормальных режимов. Защитные функции в автоматах выполняют механизм свободного расцепления и различного рода расцепители (электромагнитные или термобиметаллические). В отличие от плавких предохранителей автоматы при срабатывании не создают неполнофазных режимов, дают возможность быстрого повторного включения после срабатывания, а также совмещают в себе функции рубильника, предохранителя и теплового реле.

Автоматы к электродвигателям выбирают по номинальному току теплового расцепителя  $I_{\text{н.тепл}}$ , который должен быть равным номинальному току электродви-

гателя  $I_{н.дв}$  или несколько превышать его ( $I_{н.тепл} \geq \geq I_{н.дв}$ ) с учетом того, что тепловые расцепители имеют регулируемую уставку тока.

Температуру окружающей среды при выборе тока уставки теплового расцепителя учитывают в соответствии с выражением

$$I_{уст.тепл} = \beta I_{н.дв} ,$$

где  $\beta = 1 + 0,006(40 - T_{окр})$ ;  $T_{окр}$  — температура окружающей среды.

Ток уставки электромагнитных расцепителей для защиты электродвигателей с короткозамкнутым ротором принимают равным (7...10)  $I_{н.дв}$ . Электромагнитный расцепитель для защиты электродвигателя с фазным ротором выбирают из условия

$$I_{уст.эм} = (2,5 \dots 3) I_{н.дв} .$$

Ток уставки электромагнитного расцепителя для защиты группы электродвигателей выбирают следующим образом:

$$I_{уст.эм} \geq (1,5 \dots 1,8) [\Sigma I_{н.дв} + (I'_{пуск} - I'_{н.дв})] . \quad (5.2)$$

Наибольшее распространение в сельскохозяйственном производстве получили автоматы АП50, выпускавшиеся промышленностью в больших количествах. Автоматы могут быть двух- и трехполюсного исполнения с тепловым, электромагнитным или комбинированным расцепителем и без расцепителей (неавтоматический выключатель). В автоматах АП50 применяются расцепители на номинальные токи 1,6; 2,5; 4; 6,4; 10; 16; 25; 40; 50 А. Ток уставки регулируется в пределах от 63 до 100 % номинального тока расцепителя. Уставка на ток мгновенного срабатывания фазных электромагнитных расцепителей равна трем с половиной-, семи-, одиннадцати- и четырнадцатикратному их номинальному току. Недостатки этого типа автомата: пониженная коммутационная способность (у автоматов с тепловым расцепителем она не превышает 1 кА) и сравнительно низкая температура (около 100 °С) срабатывания термометаллического элемента, что обуславливает большую зависимость уставки от окружающей температуры. Кроме того, конструкция корпуса аппарата не способствует его компоновке в распределительных устройствах. Поэтому в настоящее время промышленность освоила выпуск автоматов единой серии АЕ. В частности, автоматические выключатели серии АЕ1000, АЕ2000, АЕ3000

и др. предназначены для защиты электрических цепей от ненормальных режимов работы и нечастых (до 30 в час) оперативных коммутаций. Автоматы этих серий имеют исполнения: одно-, двух-, трех- и четырехполюсное с электромагнитным и комбинированным расцепителем. Автоматы выпускаются на номинальные токи от 25 до 630 А. В этих трех основных типоразмерах могут быть установлены расцепители с номинальными токами соответственно: 0,6; 0,8; 1,0; 1,25; 1,6; 2,0; 2,5; 3,2; 4,0; 5,0; 6,0; 8,0; 10,0; 12,5; 16,0; 20,0; 25,0 А в первом — однополюсном, от 16 до 160 А во втором и от 50 до 630 А в третьем. Ток отсечки электромагнитного расцепителя имеет кратность 3...5 для всех типоразмеров и дополнительно  $12 I_n$  для типоразмера с  $I_n=63$  А. Ток отсечки комбинированного расцепителя для всех типоразмеров имеет кратности  $5 I_n$  и  $12 I_n$ , где  $I_n$  — номинальный ток автомата. Ток несрабатывания теплового расцепителя во всех автоматах этой серии регулируется в пределах от 0,9 до 1,15  $I_n$ . Максимальная коммутационная способность составляет 10...200 кА.

Помимо перечисленных, в практике сельской электрификации находят применение автоматы типа АК50 и АК63 со шкалой номинальных токов расцепителей от 0,6 до 50 А и от 0,6 до 63 А соответственно. Автоматам АК63 присуща более высокая отключающая способность благодаря применению контактов с двойным разрывом и деионных решеток.

Автоматические выключатели АВМ выпускаются четырех величин: на номинальные токи 400 А (АВМ4), 1000 (АВМ10), 1500 (АВМ15) и 2000 А (АВМ20).

**Тепловые реле.** Тепловым реле называется электрический аппарат, представляющий собой термобиметаллический расцепитель косвенного нагрева, применяемый совместно с магнитным пускателем для защиты электрических цепей от токовых перегрузок недопустимой продолжительности; от токов короткого замыкания тепловые реле не защищают.

Наиболее широкое применение нашли реле типа ТРН (к магнитным пускателям ПМЕ, ПАЕ и др.) Номинальные токи реле лежат в диапазоне от 0,32 до 40 А. Реле выпускаются четырех типоразмеров: ТРН-10 А ( $I_n=0,32; 0,4$  А), ТРН-10 (0,5; 0,63; 0,8; 1,0; 1,25; 1,6; 2,0; 2,5; 3,2; 4,5; 8; 10 А), ТРН-25 (5; 6,3; 8; 10; 12,5; 16; 20; 25 А), ТРН-40 (12,5; 16; 20; 32; 40 А).

Ток уставки реле регулируется в пределах от 0,75 до 1,3 номинального тока нагревательного элемента. В реле ТРН применяются сменные нагревательные элементы.

Регулятор тока уставки реле ТРН имеет 5 делений вправо и влево от нулевой отметки. Каждое деление соответствует примерно 5 % номинального тока нагревательного элемента. Для выбора уставки определяют поправку (в делениях шкалы):

$$N_1 = \frac{I_{эд} - I_{н.э}}{c I_{н.э}},$$

где  $I_{эд}$  — ток двигателя, А;  $I_{н.э}$  — номинальный ток нагревательного элемента, А;  $c$  — коэффициент деления шкалы; для открытых пускателей  $c=0,05$  и для защищенных  $c=0,055$ .

В тех случаях, когда электродвигатель и его магнитный пускатель работают при разных температурах окружающей среды, температурная компенсация, действующая в реле ТРН, становится неэффективной, поскольку реле не учитывает той температуры, при которой работает двигатель. В этом случае поправку на температуру находят из выражения

$$N_2 = \frac{40^\circ - t_{окр}}{10},$$

где  $t_{окр}$  — температура окружающей среды, °С.

Число делений шкалы может быть получено как со знаком плюс, так и со знаком минус. Общую поправку в делениях шкалы определяют, суммируя поправки  $N_1$  и  $N_2$ .

Реле ТРН выпускаются только в двухполюсном исполнении с ручным возвратом после срабатывания.

В отличие от реле ТРН реле ТРП однополюсные, не имеют температурной компенсации. Температурная коррекция тока уставки осуществляется по аналогии с тепловыми расцепителями автоматов. Диапазон сменных нагревательных элементов включает номинальные токи от 1,0 до 600 А.

Однополюсные тепловые реле ТРТ с несменяемыми нагревательными элементами рассчитаны на номинальные токи от 1,75 до 550 А. Для работы в силовых цепях реле включаются через трансформаторы тока. Ток уставки регулируется так же, как в реле ТРН.

Реле серии РТЛ трехполюсные, предназначены для магнитных пускателей серии ПМЛ (заменяющие пускатели ПАЕ и ПМЕ), имеют величины по току: 1—10 А, 2—25 А, 3—40 А, 4—63 А, 5—80 А, 6—125 А, 7—200 А.

Наиболее современные электротепловые токовые малогабаритные трехполюсные реле РТТС (РТТС-1, РТТС-2, РТТС-3) предназначены для защиты электродвигателей с номинальными токами до 160 А. Для защиты электродвигателей с номинальными токами от 160 до 630 А применяется реле РТТС-1 с номинальным током нагревательного элемента  $I_{н.э.} = 4$  А и с трансформаторами тока в каждой фазе. Возврат реле ручной. Тепловые элементы реле несменные, ток уставки регулируется от 0,85 до 1,15 номинального тока нагревателя. Особенностью конструкции является ее защищенность от повреждения грызунами и биовредителями. Номинальные токи реле РТТС приведены в таблице 5.2.

Таблица 5.2

Тип/размер	Номинальный ток, А	
	реле	теплового элемента
РТТС-1	10	0,20; 0,25; 0,32; 0,40; 0,50; 0,63; 0,80; 1,00; 1,25; 1,6; 2,0; 2,5; 3,2; 4,0; 5,0; 6,3; 8,0; 10,0
РТТС-2	63	12,5; 16; 20; 25; 32; 40; 50; 63; 80
РТТС-3	160	100; 125; 160
РТТС-1 с трансформаторами тока		160; 200; 250; 320; 400; 500; 630

На станциях управления электроприводами широко применяются также однополюсные реле типа ТРА и ТРВ с несменяемыми нагревательными элементами.

Существенный недостаток тепловых реле — это разброс защитных характеристик. Поэтому в целях надежного и своевременного срабатывания при перегрузках тепловые реле необходимо настраивать на специальных стендах [22]. При этом исключаются ошибки, возможные из-за нормированного разброса номинальных токов нагревательных элементов и физических свойств биметаллических пластин. Однако в области 10...20 %

перегрузок защитная характеристика тепловых реле такова, что реле в этой зоне может сработать, а может и не сработать. Этот принципиальный недостаток тепловых реле не устраняется даже при точной настройке.

**Температурная защита.** В тех случаях, когда тепловая защита оказывается ненадежной, в частности, если ток, потребляемый электродвигателем из сети, не превышает номинальный, но обмотка перегревается из-за недостаточной теплоотдачи, целесообразно применять защитные устройства, реагирующие на температуру обмотки, — температурную защиту.

Принципиально устройства температурной защиты могут быть прямого либо косвенного действия. Температурная защита прямого действия использует в качестве датчика температуры активное сопротивление самой обмотки двигателя. Температурная защита косвенного действия осуществляется при помощи выпускаемых серийно устройств УВТЗ. В качестве датчиков температуры в устройстве применяются терморезисторы с положительным температурным коэффициентом сопротивления — позисторы. Их встраивают в лобовые части обмоток электродвигателей и подключают к внешнему устройству, состоящему из транзисторного усилителя сигнала и электромагнитного реле, контакты которого находятся в цепи катушки магнитного пускателя. Недостаток этого типа защиты — ее высокая стоимость и динамическая погрешность, которая объясняется инерционностью процесса нагрева датчиков до температуры обмотки. Наиболее совершенные конструкции этого типа защиты имеют динамическую погрешность, не превышающую нескольких секунд. Однако полностью устранить эту погрешность в таких устройствах нельзя.

**Защита от работы на двух фазах.** Правила устройства электроустановок допускают применение специальной защиты от работы на двух фазах (от потери фазы) лишь в порядке исключения для двигателей, защищенных только плавкими предохранителями, то есть не оборудованными тепловой защитой.

Применяя правильно настроенные автоматы и тепловые реле в магнитных пускателях, а также проверяя периодически их контактные системы, можно уменьшить вероятность появления неполнофазных режимов

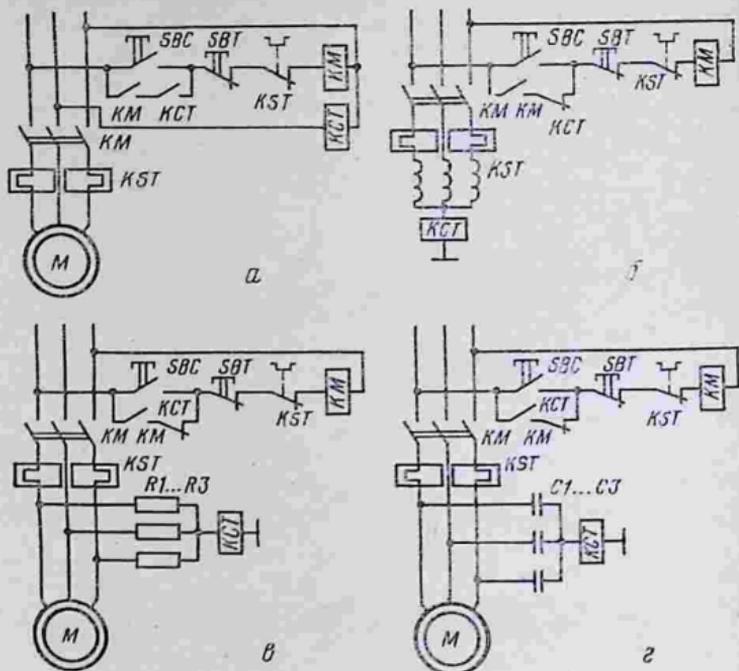


Рис. 5.4. Принципиальные электрические схемы блоков управления асинхронными двигателями с устройствами защиты от работы в несимметричных и неполнофазных режимах питания:

*а* — устройство защиты с реле КСТ, рассчитанным на линейное напряжение сети; *б* — устройство защиты с реле, реагирующим на напряжение смещения нейтрали электродвигателя; *в* — устройство защиты с резистивным асимметром; *г* — устройство защиты с емкостным асимметром.

работы электродвигателей и обеспечить их надежную защиту.

Для повышения надежности защиты от потери фазы наиболее ответственных приводов, особенно если двигатель не оснащен хорошо отлаженной тепловой защитой, применяют различные схемы дополнительных устройств (рис. 5.4). Здесь функции защиты от потери фазы выполняют контактор магнитного пускателя и дополнительное реле КСТ (рис. 5.4, *а*). При исчезновении напряжения в любой из фаз сети теряет питание либо катушка реле, либо катушка контактора, питание которой осуществляется через замыкающие контакты реле КСТ.

На рисунке 5.4, б, в, г приведены схемы защит-асимметров, реагирующих на несимметрию подведенных напряжений. Асимметры измеряют напряжение, возникающее при несимметричном питании на нулевой точке соединенных в звезду обмоток электродвигателя, резисторов или конденсаторов. Такие устройства способны защищать не только от потери фазы, но и от работы при глубокой несимметрии напряжения в сети. Напряжение срабатывания реле выбирают в пределах от 12 до 48 В.

Схема рисунка 5.4, б наиболее проста и обладает тем преимуществом, что способна реагировать не только на несимметрию питания, но и на обрыв фазного провода внутри самого двигателя. Однако нулевая точка обмотки двигателя не всегда доступна. Кроме того, эта схема требует прокладки дополнительного провода от электродвигателя к блоку управления. От этих недостатков свободны асимметры с искусственной нулевой точкой (рис. 5.4, в, г). Они могут быть размещены непосредственно в блоках управления электроприводами.

Следует учитывать, что схемы со звездой резисторов, так же как и схемы с дополнительным реле (рис. 5.4, а), неэкономичны. В процессе своего «дежурства» они бесполезно рассеивают в виде теплоты десятки киловатт-часов электроэнергии в год. Значительно экономичнее емкостные асимметры (рис. 5.4, г). Для круглосуточного дежурства таких устройств требуется около 2 кВт·ч в год.

Эффективность последней схемы защиты можно существенно повысить, если конденсаторы использовать не только как элемент асимметра, но и для повышения коэффициента мощности асинхронного двигателя, защищаемого этим устройством. В этом случае емкость конденсаторов  $C1$ ,  $C2$ ,  $C3$  выбирают в зависимости от номинальной мощности и синхронной частоты вращения электродвигателя.

Выбранные таким образом конденсаторы в неполнофазном режиме выполняют роль фазосдвигающих элементов. С их помощью асинхронные двигатели мощностью до 5 кВт при синхронной частоте вращения выше 1000 об/мин и до 10 кВт при 1000 об/мин и менее переходят в однофазный режим. В том случае, когда нагрузка электродвигателя не превышает 70 % номи-

нальной, конденсаторы обеспечивают его нормальную работу до окончания технологического процесса. Это дает возможность предотвратить потери продукции, особенно в молочном скотоводстве (вакуумные насосы, молочные холодильники), обусловленные внезапным отключением электродвигателя при возникновении неполнофазного режима или режима глубокой несимметрии напряжения питания. При повышении нагрузки сверх 70...75 % напряжение на нулевой точке звезды конденсаторов возрастает настолько, что вызывает срабатывание реле защиты и отключение двигателя. Включить вновь двигатель можно, лишь ликвидировав неполнофазный режим.

В схемах всех асимметров нормально замкнутые контакты реле защиты в момент пуска должны шунтироваться пусковой кнопкой во избежание ложных срабатываний защиты из-за неодновременности касания контактов магнитного пускателя в разных фазах.

Кроме приведенных на рисунке 5.4 схем для защиты электродвигателей от неполнофазных режимов, применяются промышленные реле ЕЛ-8, ЕЛ-10 и др.

**Стенд для настройки тепловой защиты.** Система обслуживания электроустановок в сельскохозяйственном производстве должна включать мероприятия для настройки и контроля защитных характеристик тепловой защиты, для калибровки нагревательных элементов и плавких вставок предохранителей.

Для осуществления этих мероприятий целесообразно иметь заводской стенд или изготовить его на месте.

### **5.3. Предупреждение увлажнения и химического разрушения изоляции обмоток электродвигателей**

Защитные свойства изоляционных материалов не остаются постоянными в течение срока службы. Под действием температуры, влаги и химически активных газов происходят как обратимые, так и необратимые изменения их физико-химических свойств.

Надежной работе электродвигателей в условиях сельского хозяйства способствуют следующие условия:

1) выбор места размещения электрооборудования с наименьшим наличием вредных факторов (влаги, газов, пыли, прямой солнечной радиации);

2) выбор климатического исполнения электрооборудования, соответствующего условиям эксплуатации;

3) рационализация рабочих режимов электрооборудования, увеличение интенсивности его использования путем сокращения нерабочих пауз;

4) повышение влагохимостойкости изоляции электродвигателей;

5) изолирование обмотки от контакта с окружающей атмосферой при относительно свободном доступе наружного воздуха внутрь машины — компаундирование и капсулирование обмотки влагохимостойкими материалами;

6) снижение содержания влаги в поступающем внутрь машины атмосферном воздухе — применение влагопоглощающих самовосстанавливающихся фильтров;

7) периодическая сушка, а также подогрев изоляции обмоток во время нерабочих пауз;

8) изолирование внутренней полости электрических машин от внешней среды — применение герметичных конструкций с компенсаторами расширения внутреннего воздуха, а также диэлектрикозаполненных конструкций электродвигателей.

Температура и влажность окружающей среды — основные климатические факторы, от которых зависит степень реализации конструкционной надежности электродвигателей. Поскольку процесс увлажнения изоляционных материалов носит диффузионный характер, высокая влажность воздуха тем опаснее для изоляции, чем выше температура. Химически активные газы становятся наиболее вредными для изоляции при высокой влажности, так как в этом случае оборудование подвергается действию растворов этих газов, то есть кислот и щелочей.

Температурно-влажностный режим эксплуатации электрооборудования зависит как от климатического района страны, так и от категории места размещения. Для обеспечения единства требований к промышленной продукции в нашей стране действует ГОСТ 15160—69 «Машины, приборы и другие технические изделия. Исполнения для различных климатических районов. Категории, условия эксплуатации, хранения и транспортирования в части воздействия климатических факторов внешней среды». В этом стандарте отражена

градация климатических районов Земли, принятая как в СССР, так и за рубежом. В зависимости от категории места размещения электрооборудования оно имеет следующие обозначения.

Климатическое исполнение изделий

Обозначение

Изделия, предназначенные для эксплуатации на суше, реках и озерах:

для макроклиматического района с умеренным климатом, где средняя из ежегодных абсолютных максимумов температура воздуха равна 40 °С или ниже, а средняя из ежегодных абсолютных минимумов температура воздуха равна —45 °С или выше

У

для макроклиматического района с холодным климатом, то есть в районах, где средняя из ежегодных абсолютных минимумов температура воздуха ниже —45 °С

ХЛ

для макроклиматических районов с умеренным и холодным климатом

УХЛ

для макроклиматического района с влажным тропическим климатом, где сочетание температуры, равной или выше 20 °С, и относительной влажности, равной или выше 80 %, наблюдается примерно 12 ч в сутки или более за непрерывный период от 2 до 12 месяцев в году

ТВ

для макроклиматического района с сухим тропическим климатом, где средняя из ежегодных абсолютных максимумов температура воздуха выше 40 °С, кроме районов, отнесенных к макроклиматическому району с влажным тропическим климатом

ТС

для макроклиматических районов как с сухим, так и с влажным тропическим климатом (тропическое исполнение)

Т

для всех макроклиматических районов на суше, кроме макроклиматического района с очень холодным климатом (Антарктида) — общеклиматическое исполнение

О

Изделия, предназначенные для эксплуатации в макроклиматических районах с морским климатом:

для макроклиматического района с умеренно холодным морским климатом, к которому относятся моря, океаны и прибрежная территория в пределах непосредственного воздействия морской воды, расположенные севернее 30° северной широты или южнее 30° южной широты

М

для макроклиматического района с тропическим морским климатом, к которому относятся моря, океаны и прибрежная территория в пределах непосредственного воздействия морской воды, расположенные между 30° северной широты и 30° южной широты

ТМ

для макроклиматических районов как с умеренно-холодным, так и с тропическим морским климатом, в том числе для судов неограниченного района плавания . . . . . **ОМ**  
 Изделия, предназначенные для эксплуатации во всех макроклиматических районах на суше и на море, кроме макроклиматического района с очень холодным климатом (всеклиматическое исполнение) . . . . . **В**

В соответствии с этим стандартом условия эксплуатации, на которые рассчитано изделие, задаются в обозначении изделия указанием макроклиматического района и категории места размещения.

У крупнейшие категории мест размещения . . . . . Обозначение изделий

- |  |   |
|--|---|
| Для эксплуатации на открытом воздухе (воздействие совокупности климатических факторов, характерных для данного макроклиматического района) . . . . .   | 1 |
| Для эксплуатации под навесом или в помещениях (объемах), где колебания температуры и влажности воздуха несущественно отличаются от колебаний на открытом воздухе и имеется сравнительно свободный доступ наружного воздуха (отсутствие прямого воздействия солнечной радиации и атмосферных осадков)   | 2 |
| Для эксплуатации в закрытых помещениях с естественной вентиляцией без искусственно регулируемых климатических условий, где колебания температуры и влажности воздуха и воздействие песка и пыли существенно меньше, чем на открытом воздухе (отсутствие воздействия атмосферных осадков, прямого солнечного излучения, существенное уменьшение ветра, существенное уменьшение или отсутствие воздействия рассеянного солнечного излучения и конденсации влаги) | 3 |
| Для эксплуатации в помещениях (объемах) с искусственно регулируемыми климатическими условиями (отсутствие воздействия прямого солнечного излучения, атмосферных осадков, ветра, песка и пыли наружного воздуха, отсутствие или существенное уменьшение воздействия рассеянного солнечного излучения и конденсации влаги)   | 4 |
| Для эксплуатации в помещениях (объемах) с повышенной влажностью, в которых возможны длительное пребывание воды и частая конденсация влаги на стенах и потолке . . . . .  | 5 |

Например, электродвигатель 4А112М4, предназначенный для эксплуатации в макроклиматическом районе с умеренным климатом на открытом воздухе, будет иметь обозначение 4А112М4У1. Если изделие предназначается к использованию в нескольких климатиче-

ских районах и категориях мест размещения, то его исполнение должно быть рассчитано на наиболее жесткие условия. Эти условия отражаются в обозначении изделия. Так, тот же электродвигатель, предназначенный для категорий 2, 3, 4 исполнения УХЛ (категория 2 — самая жесткая для данного изделия), обозначают 4А112М4УХЛ2; такой же двигатель, предназначенный для работы дополнительно в условиях категории 5, обозначается 4А112М4УХЛ2,5; в условиях категории 4 исполнения О — 4А112М4УХЛ2О4. В двух последних случаях категория 2 самая жесткая для данного изделия по нижнему значению температуры, категория 5 или условия О4 — по влажности воздуха. Для уточнения условий эксплуатации в пределах данной укрупненной категории можно применять дополнительные категории. Дополнительные категории обозначают также цифрами и отделяют от обозначения укрупненной категории точкой. Например, изделиям, предназначенным для эксплуатации в нерегулярно отапливаемых помещениях (объемах), присваивается категория 3.1.

Увлажнение изоляции электродвигателей происходит под действием паров воды, содержащейся в атмосферном воздухе. Атмосферная влага диффузионно либо с током воздуха в процессе охлаждения двигателя последовательно проходит и увлажняет изоляцию ввода, выводных проводов и самой обмотки. Поместив на пути этого потока гигроскопическое вещество, можно поглотить часть влаги и защитить тем самым обмотку от глубокого увлажнения. Роль такого влагопоглотителя способна выполнять хлопчатобумажная изоляция ввода. Однако сильно увлажненная хлопчатобумажная изоляция сама может стать причиной замыканий внутри коробки выводов, особенно в присутствии агрессивных газов, а работа контактов в таких условиях приводит к их быстрому электрохимическому разрушению.

Этого недостатка лишена двухслойная изоляция ввода: на место соединения выводных проводов с питающим кабелем накладывается влагостойкая полимерная изоляция, а поверх нее наматывается хлопчатобумажная лента. Объем последней должен быть таким, чтобы изолированные скрутки полностью занимали весь внутренний объем коробки выводов. Клеммную

колодку предварительно удаляют. Такая конструкция, сохраняя высокие электроизоляционные свойства, защищает обмотку электродвигателя при кратковременных повышениях влажности окружающего воздуха в период производственных пауз. Во время работы двигателя его нагрев способствует осушению хлопчатобумажной изоляции и восстановлению ее влагозащитных свойств.

На животноводческих фермах машины работают во влажной и агрессивной среде. Здесь усиливают диэлектрические свойства изоляции обмотки капсулированием, то есть созданием литой изоляции, получаемой заменой пропиточных лаков компаундами — герметиками. В качестве таких компаундов могут быть использованы либо терморезистивные материалы на основе эпоксидных смол (разработка НИПТИМЭСХ НЗ РСФСР), либо эластомеры (разработка ЧИМЭСХ). Обмотка, помещенная в герметическую капсулу из компаунда, обладает весьма высокими электроизоляционными свойствами и сохраняет их даже в присутствии химически активных газов в концентрациях, в 10...20 раз превышающих нормы содержания вредных примесей в производственных помещениях ферм.

Для создания терморезистивной эпоксидной капсулы применяется низковязкая эпоксидная смола типа ЭД-20 (ГОСТ 10587—76) или смола ЭИС-1 (ТУ 38-1091—76), отвердитель типа ММФ. Для повышения теплопроводности и снижения температурного коэффициента расширения компаунда в него вводят наполнитель из кварцевого песка типа ПК-3 (ГОСТ 9077—59). Отвердитель ММФ получают смешиванием отвердителя МФД (ТУ 14-12—75) с пластификатором типа МГФ-9 (ТУ 6-01-450—76) в соотношении по массе 5:8.

Недостаток электродвигателей с эпоксидной капсулой заключается в том, что они утрачивают ремонтнопригодность в случае выхода из строя обмотки вследствие токовой перегрузки. От этого недостатка в значительной мере свободен метод капсулирования эластомерами. Для капсулирования в этом случае используют эластомерные компаунды типа КЛСЕ, «Виксинт» или аналогичные. Толщина покрытия обмотки эластомерным компаундом должна быть не менее 3 мм. После отверждения компаунда образуется эластичный материал — вулканизат. Наплывы и подтеки вулканизата

срезают ножом, дефекты капсулы устраняют при помощи того же компаунда, после ремонта получают монолитную капсулу.

Обмотки электродвигателей общепромышленного назначения, не снабженные устройствами подогрева в нерабочие периоды и некапсулированные, при категории места размещения 1, 2 и 5 (см. с. 97), а в некоторых климатических районах и при категории 3 требуют периодической сушки в осенне-зимний период. Сушку можно проводить как непосредственно на местах их постоянной работы, так и в электроцехах хозяйств с применением стенов для настройки защиты.

Разрушение изоляции электроустановок, происходящее под действием атмосферных факторов, может привести к появлению на нетоковедущих частях напряжения, опасного для людей и животных. Для отключения электроустановки от сети при появлении на ее корпусе опасного потенциала, а также при непосредственном однополюсном прикосновении к токоведущим частям людей и животных применяется автоматическое защитное отключение. Устройства защитного отключения (УЗО) применяются в дополнение к заземлению или занулению или вместо них, если они не могут быть выполнены в соответствии с требованиями правил. В зависимости от входной величины УЗО подразделяются на устройства, реагирующие:

- 1) на напряжение в корпусе относительно земли;
- 2) на ток замыкания на землю;
- 3) на напряжение фазы относительно земли;
- 4) на напряжение нулевой последовательности;
- 5) на ток нулевой последовательности.

В соответствии с конкретной целью УЗО делят на контролирующие напряжение на нетоковедущих частях электроустановок и на контролирующие качество изоляции токоведущих частей относительно земли. В последнем случае прикосновение человека или животного к токопроводам создает дополнительный ток утечки через тело, поэтому воспринимается защитой как ухудшение изоляции.

УЗО характеризуются временем срабатывания и чувствительностью. Время срабатывания (быстродействие) УЗО лежит в пределах от 20 до 200 мс. Чувствительность УЗО может быть низкой с током срабатывания 300...1000 мА, средней — 30...300 мА и высо-

кой — 5...30 мА. В конкретных условиях при выборе тока уставки УЗО необходимо соблюдать условие: ток уставки должен равняться максимально допустимому току утечки защищаемой электроустановки или быть меньше его, но не меньше естественного тока утечки этой установки при полностью исправной изоляции.

В качестве УЗО применяют различные схемы асимметров (рис. 5.4, б, в, г), а также схемы с трансформаторами токов нулевой последовательности (ТНП). Сердечник трансформатора ТНП охватывает жилы трех фаз питающего кабеля (жилы кабеля служат первичной обмоткой трансформатора). Напряжение на вторичной обмотке появляется в том случае, когда сумма фазных токов установки не равна нулю, что при симметричной нагрузке возможно при ухудшении изоляции либо при замыкании фазы на корпус.

УЗО, выпускаемые промышленностью, имеют как схемы асимметров (реле РА-74/2), так и схемы с трансформаторами ТНП (реле РУД, С-901, ЗОУП-25), они могут изготавливаться как на базе магнитных пускателей (ЗОУП-25), так и на базе автоматических выключателей серии АЕ-2000. Принцип действия УЗО позволяет использовать их в качестве защиты от несимметричных режимов питания и потери фазы, однако эти устройства не исключают ложных срабатываний при несимметричной нагрузке фаз однофазными потребителями. Для достижения наибольшего эффекта защиты УЗО следует устанавливать в начале питающих линий.

Следует отметить, что работа защит, использующих трансформаторы ТНП, не зависит от схемы соединения сети и может применяться для низкого и высокого напряжения.

Температурно-влажностный режим среды, окружающей электроустановку, расположенную как открыто, так и внутри помещений, существенно зависит от характера климата данной местности и изменений климатических условий в течение года, которые определяются по средним многолетним данным метеостанций. Особое внимание при планировании противосыровой профилактики следует уделять переходным сезонам года. В эти периоды в течение суток возможны многократные колебания температуры воздуха относительно точки росы, в том числе переходы через 0 °С. Как по-

казывает практика, именно в эти периоды достигает минимума сопротивление изоляции электродвигателей, установленных во всех категориях размещения.

#### **5.4. О выборе мощности электродвигателей. Компенсация реактивной мощности в сельских электроустановках**

В условиях промышленной технологии конструктивно простые и надежные асинхронные двигатели не должны служить причиной простоев или снижения производительности технологического оборудования. Защитное отключение двигателя в этих условиях должно рассматриваться как мера чрезвычайная, осуществляемая лишь в аварийных ситуациях, когда рабочая машина, приводимая двигателем, не может выполнять свои функции. Отклонение же параметров качества напряжения не должно ограничивать технические возможности исправного механизма и долговечность его привода.

В условиях неопределенности нагрузки при пониженном качестве питающего напряжения для наиболее ответственного оборудования, перерыв в работе которого приносит значительный материальный ущерб, с целью повышения надежности электрического привода применим метод деноминации режима, то есть выбор пониженного коэффициента нагрузки для установленного ранее в машине электродвигателя или замена последнего двигателем большей мощности. Электрические машины повышенной мощности целесообразно применять там, где понижение коэффициента нагрузки двигателя невозможно по техническим либо технологическим причинам.

Основной фактор, определяющий срок службы электродвигателя, — долговечность его изоляции, зависящая от рабочего нагрева обмоток. В свою очередь, нагрев обмоток пропорционален квадрату тока нагрузки и существенно зависит от качества подведенной электроэнергии и коэффициента нагрузки. В промышленности — основном потребителе электрических машин среднестатистический коэффициент нагрузки составляет 0,6...0,7, поэтому отклонения качества напряжения в пределах норм, установленных стандартом (ГОСТ 13109—67), не вызывают снижения долговечности дви-

гателей. При разработке сельскохозяйственной модификации электродвигателей было учтено, что они могут работать при напряжении, составляющем 80...90 % номинального. Однако сохранять номинальную нагрузку при напряжении, равном 80 % номинального, они способны лишь в течение 6 мин. Для длительной их работы необходимо понижать нагрузку на 5...15 %.

Установка двигателя завышенной мощности дает приводу преимущества, которые не обеспечиваются ни одной из существующих модификаций асинхронных машин. Такой привод обладает повышенными относительно паспортных номиналов кратностями пускового и максимального моментов. При отклонениях качества напряжения от нормы резерв мощности реализуется автоматически, отпадает необходимость в регулировании нагрузки на валу. Двигатели большей мощности, обладая большей массой, имеют меньшую восприимчивость к вибрациям рабочих машин. При нагрузках 0,6...0,7 паспортного номинала коэффициент полезного действия асинхронных машин единых серий достигает наибольшего значения. Но двигатели завышенной мощности обладают существенными недостатками: в них повышен расход металла на единицу установленной мощности оборудования, и у них пониженный коэффициент мощности, что обуславливает ухудшение режима и экономичности работы питающей сети.

Избыток массы металла при завышении мощности на одну ступень составляет 30...35 %, но в то же время благодаря повышению долговечности двигателя за срок его службы экономится минимум целый двигатель. Кроме того, дополнительные затраты металла при завышении номинальной мощности окупаются той продукцией, которая была бы потеряна или недополучена при аварийном выходе из строя двигателя меньшей мощности либо при отключении его защитой.

Пониженный коэффициент мощности, свойственный недогруженным асинхронным двигателям, в условиях интенсивного развития сельскохозяйственного производства значительно усложняет регулирование напряжения в сельских сетях, обуславливает дополнительные потери энергии в них. В промышленности для повышения суммарного коэффициента мощности предприятия применяются установки для централизованной и групповой компенсации реактивных нагрузок.

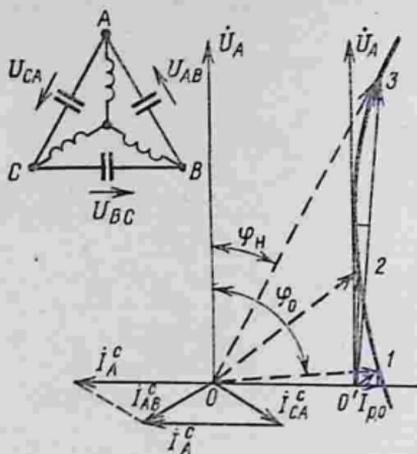


Рис. 5.5. Схема включения конденсаторов и фрагменты векторной диаграммы емкостных токов и круговой диаграммы асинхронного двигателя:

сплошная линия — с компенсацией; пунктирная линия — без компенсации:  $i_{CA}^c$ ,  $i_{AB}^c$ .

$i_A^c$  — линейные и фазные токи компенсирующего устройства;  $i_{p.0}$  — реактивная составляющая тока холостого хода;  $0-3$  и  $0'-3$  — номинальный ток;  $0-2$  и  $0'-2$  — ток двигателя при нагрузке 40%;  $0-1$  и  $0'-1$  — ток холостого хода.

Асинхронные двигатели диапазона малых (до 10 кВт) и особенно микромашины (до 1 кВт) наиболее чувствительны к нарушениям режимов питания и перегрузкам, а их номинальный коэффициент мощности не превышает 0,8...0,85. Поэтому максимальная загрузка этих двигателей, резко сокращая срок их службы, не повышает существенно экономичности их работы.

Полный ток двигателя  $I$  тем больше отличается от активного  $I_a$ , чем больше реактивная составляющая  $I_p$ : ( $I = \sqrt{I_a^2 + I_p^2}$ ). Основную (65...76%), не зависящую от нагрузки часть реактивного тока составляет ток намагничивания. Мощность и ток намагничивания зависят только от габарита и полюсности двигателя, поэтому скомпенсировать их можно нерегулируемой индивидуальной батареей конденсаторов (ИБК), подключаемой непосредственно к зажимам асинхронного двигателя (рис. 5.5). Обмотки двигателя в этом случае выполняют роль разрядных сопротивлений. Отпадает необходимость в установке сложной регулирующей аппаратуры и коммутационных устройств для поддержания в сети заданного коэффициента мощности.

При подключении ИБК к обмоткам двигателей происходит нейтрализация реактивного тока в сети за счет обмена реактивной мощностью между конденсаторами и магнитной системой двигателя. В том случае, когда емкость нерегулируемой ИБК выбрана, чтобы скомпен-

сировать ток намагничивания, максимальный коэффициент мощности системы асинхронный двигатель — индивидуальная батарея конденсаторов (АД—ИБК) близок к единице.

При централизованной и групповой компенсации реактивной мощности при помощи конденсаторных батарей добиться столь глубокой компенсации не удается из-за снижения статической устойчивости линий электропередач. Это объясняется отрицательным регулирующим эффектом конденсаторных батарей централизованной (групповой) установки: при понижении напряжения в сети их реактивный ток уменьшается, снижается эффективность его воздействия на потерю напряжения в сети, в связи с чем потеря еще больше возрастает, а напряжение у потребителей еще больше падает. Система АД—ИБК изменяет характер реактивности и знак регулирующего эффекта в функции подведенного напряжения: при понижении напряжения в сети ниже номинального преобладает емкостный ток батарей конденсаторов, препятствующий дальнейшему понижению напряжения, и наоборот, при повышении напряжения сверх номинального доминирует индуктивный ток двигателя, увеличивающий потерю напряжения в сети. В результате реакция системы АД—ИБК всегда направлена встречно возмущению — отклонению напряжения в сети. Поэтому эта система как узел нагрузки электрической сети статически устойчива и обладает стабилизирующим напряжением действием:

$$\Delta U = r_c I \cos \varphi + x_c (I \sin \varphi - I_A^c), \quad (5.3)$$

$$\text{при } U = U_n \quad I_A^c \approx I \sin \varphi;$$

$$\text{при } U > U_n \quad I_A^c < I \sin \varphi;$$

$$\text{при } U < U_n \quad I_A^c > I \sin \varphi,$$

где  $\Delta U$  — потеря напряжения в сети, В;  $U$  и  $U_n$  — фактическое и номинальное напряжение сети, В;  $r_c$  и  $x_c$  — активное и индуктивное сопротивление сети, Ом;  $I$  и  $\varphi$  — ток АД (А) и его фаза;  $I_A^c$  — ток фазы ИБК, А.

В момент коммутации двигателя (включения или отключения от сети) в его обмотках возникают волновые процессы, вызывающие резкие всплески напряжения на зажимах — коммутационные перенапряжения. Значение (кратность) коммутационных перенапряже-

ний зависит от соотношения индуктивности и емкости обмоток электрических машин. В низковольтных асинхронных двигателях индуктивность обмоток значительно превышает их эквивалентную емкость, в связи с чем фактические перенапряжения в них достигают 6...10-кратного значения относительно номинального напряжения сети, что опасно для изоляции АД.

После подключения к асинхронному двигателю индивидуальной батареи конденсаторов эквивалентное емкостное сопротивление системы АД—ИБК становится соизмеримо с индуктивным и кратность коммутационных перенапряжений понижается. Наиболее эффективно происходит подавление коммутационных перенапряжений при согласованном включении обмоток двигателя и фаз ИБК: если обмотки двигателя соединены в звезду, то и фазы ИБК должны быть также соединены в звезду, а нулевые точки звезды обмотки и батареи соединены между собой. При соединении обмоток в треугольник батарею также включают в треугольник.

### **5.5. Эффективность индивидуальной компенсации при несимметрии напряжения и неполнофазных режимах. Выбор емкости конденсаторов**

Работая в сети с несимметричным напряжением, асинхронные двигатели понижают степень сетевой несимметрии. Это объясняется тем, что вращающийся магнитный поток наводит в симметричной обмотке статора двигателя симметричную систему ЭДС. Фаза обмотки, в которой наводимая ЭДС больше подведенного напряжения сети, переходит в генераторный режим. В результате несимметрия фазных напряжений на зажимах двигателя понижается. Симметрирующее действие асинхронных двигателей тем сильнее, чем больше отношение полных сопротивлений прямой и обратной последовательности. Это действие усиливается при подключении к двигателю батареи конденсаторов, поскольку генерирующая фаза обмотки обтекается емкостным током.

Несимметрия напряжения оценивается отношением напряжений обратной и прямой последовательности и выражается либо в долях единицы, либо в процентах. Изменение степени несимметрии в сети при включении

асинхронного двигателя с индивидуальной компенсацией выражается формулой

$$\frac{\alpha_k}{\alpha} = \frac{1 + S_d \cos \varphi / S_{k.c}}{1 + S_d i_n / S_{k.c}}, \quad (5.4)$$

где  $\alpha$  — несимметрия до включения;  $\alpha_k$  — то же, после включения в сеть АД с ИБК;  $S_d = \frac{P_n}{\eta_n \cos \varphi_n}$  — полная мощность, потребляемая АД, кВт·А;  $\cos \varphi_n$  — номинальный коэффициент мощности АД;

$S_{k.c} = \frac{U_n^2}{z_0^2}$  — условная мощность короткого замыкания сети в ме-

сте подключения АД, кВт·А;  $i_n$  — кратность пускового тока АД;  $\eta_n$  — коэффициент полезного действия АД;  $P_n$  — номинальная мощность АД, кВт;  $U_n$  — номинальное линейное напряжение сети, В;  $z_0$  — сопротивление сети от места включения АД до источника несимметричного питания, Ом.

Приведенное выражение показывает, что степень улучшения симметрии напряжения в фазах сети зависит от соотношения мощностей сети и двигателя, а также от коэффициента мощности асинхронной машины. Наиболее интенсивное симметрирующее действие оказывают снабженные индивидуальной компенсацией мощные тихоходные асинхронные двигатели. Симметрирующее действие системы АД—ИБК усиливается при неполной нагрузке двигателя, когда естественный коэффициент мощности понижен.

В неполнофазном режиме питания подключенная к асинхронному двигателю конденсаторная батарея вызывает перераспределение тока между фазами обмотки, поскольку потерявшая питание фаза обтекается током под действием наводимой в ней ЭДС. В результате понижается коэффициент несимметрии напряжений на зажимах двигателя, снижается тепловая нагрузка обмотки, повышается нагрузочная способность двигателя, причем тем больше, чем больше относительный ток холостого хода ( $i_0$ ):

$$\beta_k = \sqrt{\beta^2 + i_0^2}.$$

Здесь  $\beta$  и  $\beta_k$  — коэффициенты нагрузки двигателя, соответствующие одному и тому же значению коэффициента несимметрии до и после подключения батареи конденсаторов.

Сокращение тепловыделения в обмотке после подключения конденсаторов в неполнофазном режиме составляет:

$$\Delta = \frac{2}{3} (\bar{i}_0 \bar{i}),$$

где  $\bar{i}$  — ток в обмотках двигателя в неполнофазном режиме без батареи конденсаторов,  $\bar{i} = \sqrt{3} \frac{\bar{i}_1 \bar{i}_n}{\bar{i}_1 + \bar{i}_n}$ ;  $i_1$  — относительное значение тока при той же нагрузке в полнофазном режиме;  $\bar{i}_n$  — относительное значение пускового тока двигателя.

При вычислении относительного значения токов вектор соответствующего тока делят на модуль тока номинального.

Наибольший эффект улучшения условий работы в неполнофазном режиме достигается при подключении конденсаторов к маломощным и тихоходным машинам, обладающим высокими кратностями токов холостого хода — тока намагничивания.

Значение коэффициента мощности системы АД—ИБК в полнофазном режиме можно определить по формуле

$$\cos \varphi_{\text{н}} = \frac{1}{\sqrt{1 + \left( \operatorname{tg} \varphi - \frac{C}{KI \cos \varphi} \right)^2}}, \quad (5.5)$$

где  $I$  и  $\varphi$  — ток (А) и фаза тока АД без компенсации;  $C$  — емкость фазы батареи конденсаторов, мкФ;  $K$  — коэффициент пропорциональности; при соединении ИБК треугольником  $K=4,8$  мкФ/А, при соединении ИБК звездой (напряжение в сети 220/380 В)  $K=14,4$  мкФ/А.

Емкости фаз индивидуальных конденсаторных батарей, соединенных треугольником, рассчитывают по выражениям, приведенным в таблице 5.3.

Таблица 5.3

Синхронная частота вращения, об/мин	Емкость фазы ИБК (мкФ) для АД мощностью	
	менее 10 кВт	10 кВт и более
3000	$C = 1,3(1 + 2P_{\text{н}}^*)$	$C = 10 + 2P_{\text{н}}$
1500	$C = 3(1 + P_{\text{н}})$	$C = 10 + 2P_{\text{н}}$
1000	$C = 3,7(1 + P_{\text{н}})$	$C = 10 + 2P_{\text{н}}$
750	$C = 3,5(3 + P_{\text{н}})$	$C = 30 + 2P_{\text{н}}$

\*  $P_{\text{н}}$  — номинальная мощность двигателя, кВт.

При соединении батарей конденсаторов в звезду емкость, рассчитанную по выражениям таблицы 5.3, нужно увеличить в три раза. Для асинхронных двигателей различных модификаций единых серий емкости фаз определяют умножением на следующие коэффициенты:

- 1,3 — для двигателей с повышенным скольжением;
- 1,35 — для двигателей сельскохозяйственного назначения;
- 1,6 — для двигателей с повышенным пусковым моментом.

Емкость фаз конденсаторных батарей и коэффициент мощности двигателей, снабженных этими батареями, можно контролировать при помощи токоизмерительных клещей, например Ц-91. Они позволяют измерять ток в проводах без разрыва цепей и имеют встроенный вольтметр, что дает возможность одним прибором получать все необходимые для контроля данные.

Емкость фаз батарей конденсаторов определяют методом амперметра — вольтметра по измеренным току фазы батареи и напряжению, приложенному к этой фазе:

$$C = \frac{I_{св}}{2\pi f U}, \quad (5.6)$$

где  $I_{св}$  — ток фазы батареи конденсаторов, А;  $f$  — частота питающей сети, Гц;  $U$  — напряжение фазы, В.

Для облегчения расчетов целесообразно пользоваться номограммами (рис. 5.6 и 5.7).

Изменение коэффициента мощности при подключении к двигателю батарей конденсаторов определяет эффективность индивидуальной компенсации. Чтобы определить коэффициент мощности системы АД — ИБК, используя те же клещи, измеряют токи двигателя  $I_m$ , батареи конденсаторов  $I_{св}$  и ток в сети в соответствии со схемой (рис. 5.8), а затем определяют коэффициент мощности двигателя без компенсации (естественный коэффициент мощности двигателя):

$$\sin \varphi_m = \frac{I_{св}^2 + I_m^2 - I_1^2}{2I_{св} I_m}; \quad \cos \varphi_m = \sqrt{1 - \sin^2 \varphi_m}$$

и коэффициент мощности системы АД — ИБК:

$$\cos \varphi_k = \frac{I_m}{I_1} \cos \varphi_m.$$

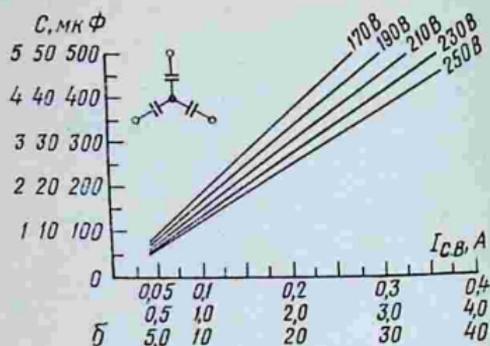
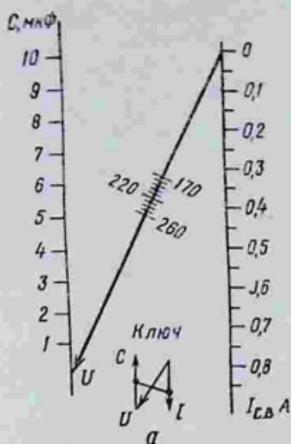


Рис. 5.6. И-образная (а) и лучевая (б) номограммы для определения емкости фаз индивидуальной батареи конденсаторов по измеренному напряжению и току батареи.

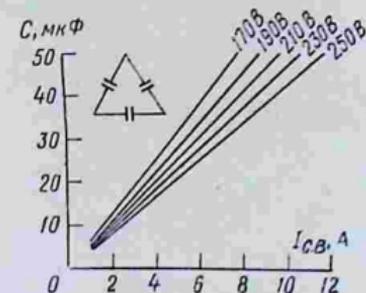


Рис. 5.7. Лучевая номограмма для определения емкости фаз индивидуальной батареи конденсаторов при соединении батарей в треугольник.

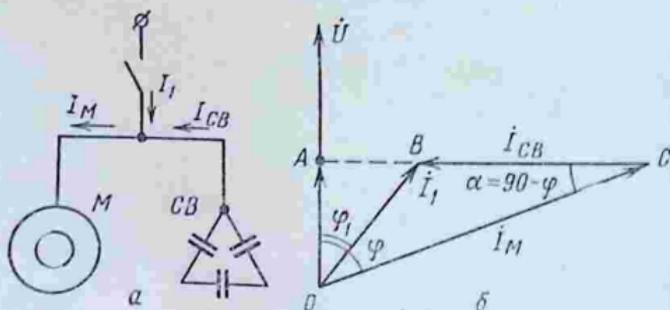


Рис. 5.8. Схема измерения токов (а) и векторная диаграмма (б) для определения эффективности индивидуальной компенсации.

Таким образом, отношение коэффициентов мощности до и после подключения батареи конденсаторов к асинхронному двигателю равно отношению токов двигателя и сети.

Для изготовления индивидуальных конденсаторных батарей малой мощности специальные конденсаторы промышленностью не выпускаются. Однако для комплектования ИБК пригодны металобумажные конденсаторы типа МБГЧ, МБГО, К42-19 и др. (табл. 5.4). Достоинство металобумажных конденсаторов заключается в их способности к самовосстановлению после кратковременного импульсного пробоя диэлектрика: вокруг места пробоя выгорает часть обкладки, и контакт прерывается. Поэтому в отличие от бумажных конденсато-

Таблица 5.4

Тип конденсатора	Рабочее напряжение, В	Номинальные		Масса, кг
		емкость, мкФ	мощность, квар	
<b>Металобумажные</b>				
К75-10	250	10	0,15	0,39
К42-19	250	10	0,15	0,16
	250	16	0,24	0,23
К42-19	250	20	0,30	0,30
	500	3,9	0,18	0,20
	500	10	0,46	0,44
	500	12	0,54	0,50
МБГЧ	500	16	0,73	0,65
	250	10	0,15	0,27
МБГО*	400	10	0,15	0,14
	400	20	0,30	0,25
	500	10	0,15	0,18
	600	10	0,45	0,23
<b>Для люминесцентных светильников</b>				
ЛСМ	250	9	0,14	0,56
	400	30	1,36	1,60
<b>Силовые (косинусные)**</b>				
КС-0,22-6	220	395	6	28
КС-0,22-8	220	526	8	28
КС-0,38-18	380	397	18	28
КС-0,38-25	380	551	25	28

\* Предназначены для работы в цепях постоянного и пульсирующего тока.

\*\* Изготавливаются как в однофазном, так и в трехфазном исполнении.

ров, выходящих из строя из-за коротких замыканий, металлобумажные конденсаторы выходят из строя из-за обрыва (выгорания) электродов. Это обстоятельство позволяет комплектовать индивидуальные конденсаторные батареи без предохранителей от коротких замыканий.

В целом подключение индивидуальной батареи конденсаторов к асинхронному двигателю образует электрическую систему, обладающую следующими основными свойствами.

1. Коэффициент мощности системы близок к единице в широком диапазоне нагрузок.

2. Подключение батареи конденсаторов понижает кратность холостого хода асинхронных двигателей до  $0,2 \dots 0,1$ , что создает благоприятные условия для надежной защиты двигателей малой мощности простыми и дешевыми тепловыми реле.

3. ИБК служат эффективным средством подавления коммутационных перенапряжений в обмотках двигателей.

4. Система АД — ИБК не снижает устойчивости работы сети при глубокой компенсации реактивной мощности двигателя, она обладает симметрирующим и стабилизирующим напряжением сети действием.

5. В неполнофазных режимах питания конденсаторы батареи выполняют роль фазосдвигающих элементов, поэтому трехфазный асинхронный двигатель при потере фазы работает как однофазный конденсаторный.

6. Высокий коэффициент мощности потребляемого системой АД — ИБК из сети тока облегчает условия гашения дуги в пусковых аппаратах, уменьшает износ их контактов, увеличивая надежность и срок службы привода в целом.

7. Применение асинхронных двигателей повышенной мощности совместно с индивидуальной компенсацией их реактивной мощности повышает надежность привода благодаря снижению тепловых и механических нагрузок как в полнофазных, так и в неполнофазных режимах питания, понижению вероятности выхода двигателя из строя из-за витковых замыканий, вызванных коммутационными перенапряжениями.

8. В период производственных пауз конденсаторы могут быть использованы в качестве токоограничиваю-

щих сопротивлений для подогрева обмоток против их отсыревания.

Перечисленные свойства установок индивидуальной компенсации представляют собой те преимущества, которых практически полностью лишены установки централизованной и групповой компенсации, что необходимо учитывать при технико-экономических расчетах. При индивидуальной компенсации технически и экономически целесообразна максимально глубокая компенсация, когда в наибольшей степени реализуются защитные функции конденсаторных батарей, а от реактивной мощности разгружаются все участки сети от потребителя до источника питания. При централизованном и групповом методах степень компенсации реактивной мощности определяется, во-первых, минимумом потерь энергии в сети, во-вторых, качеством регулирования напряжения и устойчивостью работы сети, в-третьих, затратами на достижение первых двух целей. Поэтому при групповом и централизованном способах в каждом конкретном случае целесообразна вполне определенная степень компенсации, устанавливаемая в соответствии с указаниями по компенсации реактивной мощности в распределительных сетях. В качестве единого критерия глубины компенсации этим документом установлен коэффициент реактивной мощности  $\text{tg}\varphi$  взамен применявшегося ранее коэффициента активной мощности  $\cos\varphi$ . Коэффициент реактивной мощности — более тонкий критерий глубины компенсации, чем прежний, особенно при значениях  $\cos\varphi$ , близких к единице. Коэффициенты активной и реактивной мощности можно сопоставить следующим образом:

$\cos\varphi$	1,0	0,99	0,98	0,95	0,92	0,90	0,85	0,80	0,70
$\text{tg}\varphi$	0	0,14	0,20	0,33	0,43	0,48	0,62	0,75	1,02

Применение нового критерия облегчает расчеты мощности компенсирующих устройств, поскольку реактивная мощность (квар)

$$Q_{\text{кв}} = P(\text{tg}\varphi - \text{tg}\varphi_0), \quad (5.7)$$

где  $P$  — активная нагрузка потребителей, кВт;  $\text{tg}\varphi$  и  $\text{tg}\varphi_0$  — естественный и оптимальный коэффициенты реактивной мощности в час пик энергосистемы.

В установках централизованной и групповой компенсации применяются синхронные компенсаторы, перевозбужденные синхронные двигатели, конденсаторные

батарей и тиристорные компенсаторы. Режим работы всех перечисленных устройств для поддержания заданного коэффициента мощности обеспечивается ручным или автоматическим регулированием.

### **5.6. Предупреждение увлажнения изоляции двигателей подогревом обмоток\***

К числу эффективных профилактических мероприятий, предотвращающих возможное увлажнение изоляции, относится токовый подогрев обмоток электродвигателя в период его нерабочего состояния. Ток нагрева в обмотках в этом случае устанавливают такой, чтобы температура электродвигателя превышала окружающую на  $3 \dots 10^\circ$ . Нормативно такие мероприятия предусмотрены правилами Регистра СССР при эксплуатации электродвигателей на морских судах.

Электродвигатели в сельскохозяйственном производстве эксплуатируются в различных условиях микроклимата окружающей среды. Особенно неблагоприятным следует считать холодное время года. В животноводстве электродвигатели в этот период работают в условиях химически агрессивной среды, при резкой смене температуры. Поэтому наиболее интенсивный выход их из строя наблюдается в бортовых транспортных средствах, в вытяжных вентиляционных установках, транспортных средствах раздаточных станциях, в другом технологическом оборудовании, в котором они постоянно работают и периодически повторно запускаются. Для таких электродвигателей рекомендуется применять подогрев в нерабочий период времени с целью предотвращения пропускания тока по обмоткам.

В настоящее время известно несколько методов токового подогрева и сушки неработавших электродвигателей:

обмотку ЭД подключают ко вторичной обмотке понижающего трансформатора, например сварочного;

обмотки включают по схеме на ток прямой последовательности через конденсаторы (рис. 5.9, а);

обмотки включают по схеме на ток обратно-прямой последовательности, при этом импульсный ток по обмот-

---

\* Параграф 5.6 написан при участии инженера В. Н. Кириченко.

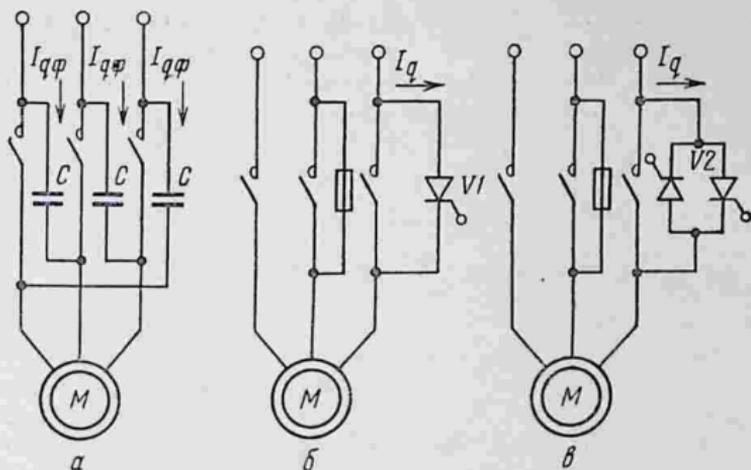


Рис. 5.9. Принципиальные схемы подогрева обмоток электродвигателя при помощи конденсаторов  $C$  (а), однотиристорного  $V1$  (б) и двухтиристорного  $V2$  (в) устройств.

кам пропускают либо однополярный (рис. 5.9, б), либо двухполярный (рис. 5.9, в).

При применении тиристорных устройств ток  $I_q$  нагрева, проходящий по двум фазным проводам электрической сети, нелинейный. Его мгновенное значение  $i_q$  можно записать следующим выражением:

$$i_q = I_0 + \sum_{h=1}^n I_{Th} \sin(k\omega t + \psi_k), \quad (5.8)$$

где  $k$  — номер гармоники;  $I_{Th}$  — амплитуда тока  $k$ -й гармоники;  $\omega$  — круговая частота первой гармоники, рад/с;  $\psi_k$  — начальная фаза  $k$ -й гармоники тока.

Поэтому в спектре тока нагрева содержатся постоянная составляющая  $I_0$ , нечетные и четные гармоники.

Исследованиями ЦНИПТИМЭЖ установлено, что при токе нагрева  $I_q$  от однополярного устройства, составляющем около 0,1 % номинального тока  $I_{н.т}$  питающего трансформатора, в смежных электроприемниках начинают наблюдаться жесткие вибрации, дребезжание магнитных систем контакторов и пускателей. В зависимости от схемы включения обмотки таких устройств сгорают. При  $I_q$ , составляющем 20 %  $I_{н.т}$ , в сети происходит размыкание магнитопроводов пускателей, контакторов и реле. Вибрации становятся настолько сильными,

что ослабляется крепление и нарушается центровка электродвигателей.

Таким образом, использование однотиристорных устройств для профилактического нагрева можно рекомендовать к применению для электродвигателей сравнительно небольшой мощности. При этом допустимый ток нагрева не должен превышать 0,1 % номинального тока трансформатора, от которого питается электрическая сеть производственного объекта.

В последние годы для профилактического нагрева и сушки электродвигателей без демонтажа применяют разработанное ЦНИПТИМЭЖ двухтиристорное устройство. В нем два силовых тиристора включены встречно-параллельно, и последовательно им к двум фазам электрической сети присоединены обмотки электродвигателя (рис. 5.9, в). Импульсы тока от этого устройства двухполярные, и в выражении (5.8) будут отсутствовать четные гармоники и постоянная составляющая. Вследствие этого даже при токе нагрева, соизмеримом с номинальным током питающего трансформатора, в режимах работы смежных электроприемников не наблюдаются заметных отклонений. Однако ГОСТ 13109—67 на нормирование качества электрической энергии у ее приемников ограничивает коэффициент несинусоидальности  $K_{нс}$  в электрической сети с таким расчетом, чтобы он не превышал 5 %. Его значение определяют по формуле

$$K_{нс} = \frac{\sqrt{\sum_{k=2}^n U_k^2}}{U_n} \cdot 100, \quad (5.9)$$

где  $U_k$  — напряжение  $k$ -й гармоники;  $U_n$  — номинальное напряжение сети;  $n$  — номер последней из учитываемых гармоник.

Установлено, что  $K_{нс} \leq 5$  %, если ток нагрева от двухтиристорного устройства не превышает 25 % номинального тока трансформатора, а полное сопротивление электрической цепи (воздушной линии) не превышает трехкратного значения сопротивления трансформатора.

Таким образом, двухтиристорное устройство профилактического подогрева и сушки электродвигателей, представляющее собой тиристорный преобразователь двухполярных импульсов, можно рекомендовать к широкому применению.

#### 6.1. Характеристика сооружений защищенного грунта — вегетационных сооружений

У овощеводов, работающих на защищенном грунте, две задачи: 1) выращивать свежие овощи во внесезонный период года; 2) выращивать рассаду для открытого грунта с целью получения более ранней овощной продукции.

Овощи — важнейший продукт питания, источник витаминов и минеральных веществ в легкоусвояемой форме. Чтобы обеспечить население научно обоснованным количеством овощей, необходимо на каждого жителя получать в год из сооружений защищенного грунта до 16 кг томатов, до 6 кг огурцов, до 2,5 кг салата, до 2 кг лука на перо и до 1,3 кг другой зелени. Поэтому в нашей стране постоянно расширяются площади, занятые сооружениями защищенного грунта.

При производстве многих овощей применяется рассадный метод выращивания. Его применяют не только в районах с коротким летом, в средней полосе, но и на юге. Всходы, например, капусты до 10-дневного возраста нуждаются в площади, равной 1 см<sup>2</sup> на одно растение. 30...35-дневное растение требует 25 см<sup>2</sup>. Для выращивания же взрослого растения нужно от 2000 (ранние сорта) до 5000 см<sup>2</sup> (поздняя капуста) площади. Таким образом, посадочная площадь изменяется за время вегетации капустного растения в 2000...5000 раз.

Два первых месяца вегетации капуста занимает не более 30 % площади и ее выращивают в рассаднике. Тем временем открытый грунт пока используется для получения другой продукции. После сбора ее на освободившуюся площадь высаживают рассаду капусты. Благодаря рассадному методу на юге становится возможным на одной и той же площади получать два урожая.

Рассадным методом пользуются и при выращивании овощей в теплицах. Согласно Общесоюзным нормам

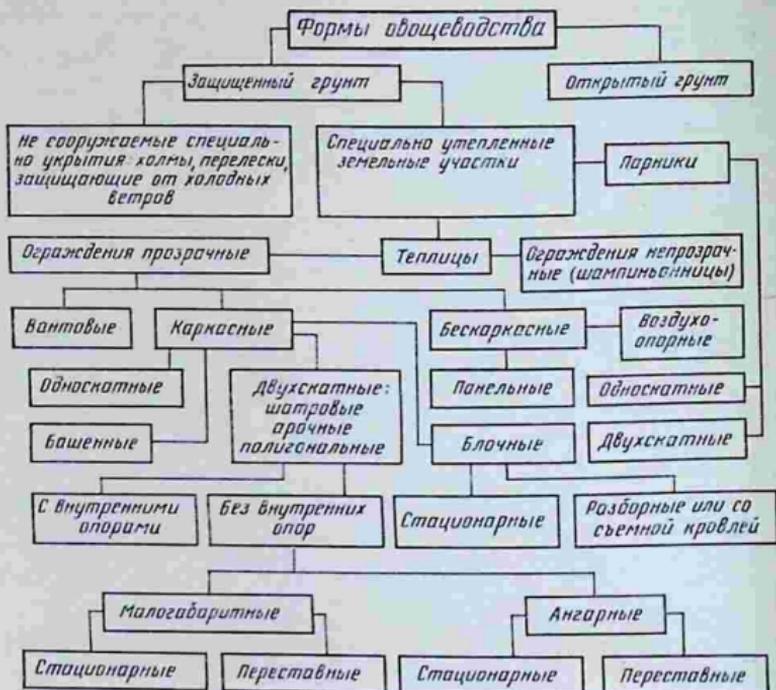


Рис. 6.1. Формы овощеводства и типы сооружений.

[16], в зимних теплицах для выращивания рассады выделяется 8...10% площади, которая в основном и обогревается. На рисунке 6.1 приведены существующие формы традиционного овощеводства и классификация типов сооружений для овощеводства в защищенном грунте.

Простейшей формой защищенного грунта можно считать участки местности, где растения защищаются от холодных ветров лесными массивами, возвышенностями и различными специально несооружаемыми ограждениями. Здесь интенсивность роста зависит не столько от освещения, сколько от температуры окружающего воздуха. Так, для широты г. Ленинграда (60° с. ш.) в нашей стране освещения вполне достаточно для культивирования растений в течение 9...10 месяцев в году, тогда как обеспеченность теплом позволяет выращивать в таком грунте теплолюбивые растения в течение 3...3,5 месяца, а холодостойкие — 5...6 месяцев.

Разрыв между обеспеченностью растений светом и теплом наблюдается и в южных районах нашей страны. Например, на широте г. Ташкента ( $38^{\circ}$  с. ш.), исходя из световых условий, можно культивировать растения в естественном защищенном грунте в течение всего года, однако тепловой фактор ограничивает это возделывание для теплолюбивых растений 7...8 месяцами, для холодостойких 9...10 месяцами.

Специально утепленные земельные участки путем сооружения укрытий над овощными плантациями позволили раздвинуть сроки выращивания овощей, в особенности при оборудовании их источниками искусственного обогрева.

При выборе строительного-планировочных решений для сооружений защищенного грунта, как правило, учитывают зависимость поступления солнечной радиации от геометрических форм и ориентации теплиц или парников, а также способы уменьшения затенения естественного света, методы повышения теплоудерживающей способности сооружений, средства для сброса талой и снеговой воды.

Большое значение имеет ориентация теплиц по сторонам света и складкам местности. Угол наклона поверхности остеклений к горизонту определяет количество прямой солнечной радиации, проникающей в сооружение в различные периоды года. При угле наклона  $30^{\circ}$  летом поступает солнечной радиации на 10 % больше, чем зимой. При угле наклона  $60^{\circ}$  наибольшее пропускающие радиации зимой.

При определении конструктивных параметров сооружений защищенного грунта следует руководствоваться сборником норм и правил СНиП-11-100—76 «Теплицы и парники», где даны также расчеты по отдельным элементам теплиц. Проектирование теплично-овощных комбинатов ведут, как правило, по шестигектарному модулю, то есть площади комбинатов выбирают кратными 6: 6, 12, 18, 24 га и т. д. А рассадно-овощные комплексы проектируют площадью 1, 3, 6, 12, 18, 24, 30, 36 га.

В последние годы все большее распространение получают и мелкие, малогабаритные сооружения защищенного грунта, особенно в приусадебных и подсобных хозяйствах промышленных предприятий.

Малогабаритные пленочные устройства просты и дешевы. Например, в основу типового проекта № 810-2

утепленного грунта с пленочным покрытием положена конструкция разборно-переставного укрытия УРП-20.

Еще проще по конструкции пленочные тоннели. Их составляют из металлических дужек высотой 30...45 см с расстоянием между их концами 70...90 см. В настоящее время они наиболее распространены.

### **6.7. Общие требования к электрификации и автоматизации защищенного грунта**

При проектировании комплексной электрификации теплиц и тепличных комбинатов в целях сокращения трудовых затрат необходимо предусматривать на базе электрической энергии не только комплексную механизацию и электрификацию, но и автоматизацию производственных процессов.

В остекленных теплицах круглогодичного использования с площадью более 3 га должно быть предусмотрено следующее:

а) автоматическое поддержание на заданном уровне, контроль и регистрация температуры воздуха днем и ночью с учетом освещенности;

б) автоматическое регулирование температуры теплоносителя при обогреве почвы, температуры поливной воды, относительной влажности воздуха;

в) автоматический контроль температуры теплоносителя, поливных механизмов увлажнения, обогащения теплиц углекислым газом и подкормки растворами минеральных удобрений, а также метеорологических факторов внешней среды (температуры наружного воздуха, скорости и направления ветра, интенсивности солнечной радиации, осадков);

г) программное и дистанционное управление системами полива, системами подкормки растений раствором минеральных удобрений, устройством обогащения воздуха теплицы  $\text{CO}_2$ , установками освещения растений, скоростью технологических переходов день — ночь и ночь — день;

д) автоматическое закрывание вентиляционных фрагмуг при скорости ветра, превышающей заданное значение, зависящее от конструкции сооружения;

е) автоматическая сигнализация предельных отклонений температуры воздуха, работы электромагнитных

вентилей системы полива и увлажнения и работы циркуляционных насосов системы отопления и полива;

ж) точность регулирования температуры воздуха  $\pm 1^\circ$  (регулировка) и  $\pm 0,5^\circ$  (контроль), температуры теплоносителя  $0 \pm 2^\circ$ , температуры поливной воды  $\pm 2^\circ$  и относительной влажности воздуха  $\pm 5\%$ .

При проектировании систем автоматизации технологических процессов и в теплицах следует руководствоваться нормативами и инструктивными материалами института «Проектмонтажавтоматика» и указаниями по проектированию автоматизации технологических процессов.

При проектировании комплексной электрификации тепличных комбинатов необходимо одновременно с автоматизацией на базе электроэнергии предусматривать также радиофикацию, пожарную сигнализацию. На теплично-овощных комбинатах, кроме того, при площади теплиц 6...12 га необходимо предусмотреть директорскую связь, при 18 га и более — диспетчерскую.

По надежности теплоснабжения теплицы относятся к потребителям II категории в связи с большой теплоаккумулирующей способностью грунта. При проектировании теплоснабжения при помощи электрообогрева защищенного грунта следует руководствоваться рекомендациями по применению электротепловых установок в сельском хозяйстве. При этом необходимо учесть, что разрешение на установку всех видов электронагревательных устройств для производственных процессов и производственно-технологических нужд сельского хозяйства выдают организации Министерства энергетики и электрификации СССР. Получение такого разрешения облегчается при применении аккумуляторов тепла и специальных автоматических устройств, не допускающих включения в сеть электронагревателей в часы максимумов нагрузок энергосистемы.

Признано, что электрообогрев рассадных сооружений экономически более целесообразен в сезонных культивационных сооружениях (пленочных теплицах, парниках и т. д.) при расчетной температуре наружного воздуха от минус  $15^\circ\text{C}$  и выше. Если в парнике установленная мощность электронагревателей достигает  $200 \text{ Вт/м}^2$ , а в пленочной теплице —  $300 \text{ Вт/м}^2$ , то эти нагреватели необходимо включать ступенями 25, 50 и 100%. Для этого может быть применено переключение с напряжения

380 на 220 В, а также двухпозиционное автоматическое регулирование.

Электрический обогрев наряду с искусственным освещением растений составляет основную статью расходов в защищенном грунте.

### **6.3. Выбор метода обогрева сооружений защищенного грунта**

Дополнительно к солнечному может быть осуществлен обогрев за счет биотоплива, электрической энергии или теплоносителей. При проектировании систем обогрева защищенного грунта следует как можно более полно использовать солнечный обогрев.

Биологический обогрев осуществляется за счет жизнедеятельности различных микроорганизмов и анаэробного процесса разложения ими органических веществ. Хорошее биотопливо, содержащее достаточное количество азотистых веществ, рыхлое и умеренно влажное (65...70%), разогревается до 45...70°C и затем медленно остывает. Лучшим биотопливом является конский навоз: через 7...10 дней после набивки им, например, парника температура навоза может достигнуть 70°C, но через 18...20 дней падает до 30°C, а затем постепенно снижается. Коровий и свиной навоз более плотный и разогревается медленнее. Температура не превышает 40°C. К нему требуется добавлять опилки, листья, торф и пр. Ценным биотопливом является домовый органический мусор. Он может дать температуру 65°C и длительно ее поддерживать. Могут использоваться органические отходы промышленности и сельскохозяйственного производства.

Обогрев паром низкого и высокого давления, паровоздушной смесью, горячей водой от котелен, нагретым воздухом, а также инфракрасными лучами (при помощи специальных керамических нагревателей) обычно называют техническим обогревом. Паром низкого давления (10...20 кПа) обогрев осуществляется от асбестоцементных или гончарных дренажных труб, проложенных в 2 ряда на глубине 35...45 см. В трубах создают встречное движение пара с целью равномерного прогрева почвы. Вода, образующаяся при конденсации пара, вытекает из труб в почву через открытые концы. При использовании пара высокого давления (290...

390 кПа) с температурой до 135°C в парниках на глубине до 50 см закладывают асбоцементные трубы диаметром 10 см на расстоянии 70 см одна от другой. В их нижней части делают отверстия диаметром 6...8 мм в два ряда, через 8 см одно от другого. Трубы укладывают в слой песка толщиной 15...20 см, поверх которого насыпают слой питательной почвы. Пар проникает в песок и равномерно его прогревает. Обычно подача такого пара в трубы осуществляется два-три раза в сутки по 10...12 мин.

При водяном обогреве почвы и воздуха в парниках на глубине 60...65 см на песчаной подушке укладывают два ряда асбоцементных труб диаметром 5...10 см, а для нагрева воздуха вдоль парубней под рамами прокладывают металлические трубы диаметром 50 мм. Все трубы укладывают под уклоном 0,003, чтобы избежать воздушных пробок. Если используется центральный водяной обогрев, большое значение имеет температура используемой воды. Так, при температуре воды 90...100°C требуется в 3...5 раз меньше труб и радиаторов, чем при температуре 40°C, и в 2 раза меньше, чем при температуре 60°C.

В хозяйственных условиях испытан обогрев парников и теплиц инфракрасными лучами, которые образуются в специальных горелках при сжигании газообразного топлива.

Электрический обогрев защищенного грунта — один из дорогостоящих видов использования электрической энергии, и применять его следует лишь на основании тщательных технико-экономических расчетов. Электрический обогрев целесообразен в качестве дополнительного к солнечному, а также как аккумуляционный обогрев с использованием почной электроэнергии в сочетании с применением биотоплива, как предохранительный обогрев от заморозков и т. д.

Установлено, что чем большую площадь нужно обогревать, тем менее экономичным становится электрообогрев по сравнению с обогревом от котельных. Расчеты показывают, что электрический обогрев, например, для зимних теплиц выгодно применять при площади их не более 1 га. Широкое применение электрического обогрева нашло место в мелких культивационных сооружениях. Здесь он уступает лишь обогреву при исполь-

зовании тепловых отходов промышленного производства.

В таблице 6.1 показано сравнение эксплуатационных расходов (%) при выращивании рассады и овощей в парниках с различными видами обогрева.

Таблица 6.1

Способ обогрева	Расходы (%) на					Итого прямых расходов, %
	заработную плату	электроэнергию, топливо	материалы, транспорт и т. д.	амортизацию	текущий ремонт	
Биотопливом	54,5	—	30,4	6,6	8,5	100
От котельной	31,0	1,63	5,3	15,2	16,4	84,2
Отбросным теплом	27,6	0,9	5,3	10,4	12,3	56,2
Электроэнергией при цене за 1 кВт·ч:						
2,0 к.	26	35,2	5,2	14,7	10,0	91,1
1,00 к.	26	19	5,2	14,7	10,0	73,9
0,63 к.	26	11,3	5,2	14,7	10,0	67,2

Во всех случаях проектирования систем обогрева следует стремиться максимально использовать тепловые отходы предприятий, в первую очередь ТЭС и ГРЭС.

Повышение экономической эффективности парников зависит и от дальнейшего совершенствования их нагревательных систем и конструктивных элементов.

#### 6.4. Выбор систем электрического обогрева

Электрообогрев можно осуществлять специальным нагревательным кабелем и нагревательным проводом типа ПОСХВ и ПОСХП. Последний представляет собой стальной оцинкованный провод диаметром 1,1 мм с изоляцией из полихлорвинила (ПОСХВ) или полиэтилена (ПОСХП). Внешний диаметр этих проводов составляет соответственно 2,9 и 2,3 мм. При их использовании следует помнить, что оптимальная температура нагрева оболочки провода ПОСХВ составляет 60 °С, а провода ПОСХП — 80 °С. Нельзя допускать, чтобы провод нагревался выше этих значений. Более термостоек провод типа ПОСХВТ.

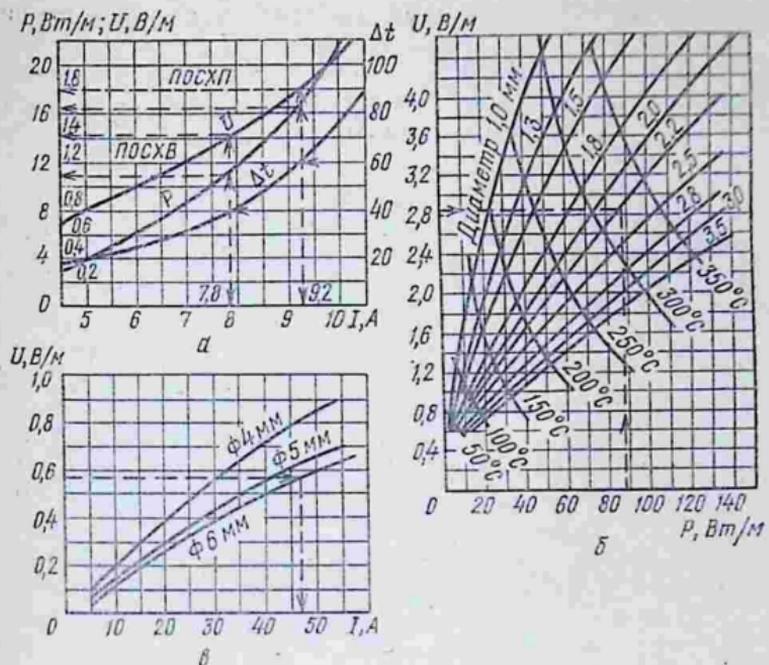


Рис. 6.2. Графики для выбора электронагревательных элементов: а — из проводов ПОСХВ и ПОСХП; б — из стального провода, закладываемого в изоляционные трубы; в — зависимость удельного напряжения на стальных проводах ПСО при разном токе.

Исходя из нормируемых техническими условиями температур поверхности нагревательного провода определено, что оптимальный ток нагрузки например, для провода типа ПОСХВ составляет 7,8 А (при этом на каждый метр провода приходится напряжение 1,42 В и мощность 11 Вт), а для провода типа ПОСХП соответственно 9,2 А при напряжении 1,8 В/м и мощности 16,6 Вт/м. Оптимальная длина отрезка провода при напряжении в сети 220 В для провода типа ПОСХВ составит 155 м, для провода типа ПОСХП — 122 м. Для выбора системы электрообогрева при помощи нагревателей типа ПОСХВ и ПОСХП можно пользоваться графиками, разработанными ЦНИПТИМЭЖ (рис. 6.2, а). Для этого по данной мощности нагревателя и напряжению определяют силу тока, который будет протекать по проводу. По этим значениям на графике находят значе-

ние удельного напряжения на метр длины провода. По-делив напряжение питания на удельное напряжение, получают длину провода.

Среди других систем электрообогрева наиболее распространены стальной провод в изоляционных трубах и стальной провод в сплошном слое изоляционного материала. Диаметр провода для трубчатых нагревателей можно выбрать по графику (рис. 6.2, б). Например, требуется подобрать диаметр стального оцинкованного провода для парников с одним подпочвенным электрообогревом. Мощность нагревателей должна быть 6,0 кВт на один стандартный парник (стандартным принят однокатный парник площадью на 20 застекленных рам). Последовательно должны быть соединены два парника (общая мощность 12 кВт при напряжении 380 В). Определяем мощность, которая приходится на 1 м провода при трех рядах труб в парнике. Она составляет 89 Вт. Затем определяем напряжение, приходящееся на 1 м провода. Удельное напряжение равно 2,82 В. Проведя на рисунке 6.2, б горизонтальную линию от значения 2,82 В и вертикальную от значения 89 Вт, в точке пересечения их находим необходимый диаметр провода. Он будет равняться 2,2 мм.

На рисунке 6.2, в приведена зависимость удельного напряжения от тока нагрузки. При переключении на 220 В удельное напряжение на 1 м будет составлять 1,63 В, а удельная мощность — 42 Вт. Полная мощность на два парника будет равна 5,66 кВт или уменьшится в 2,1 раза, что обеспечит универсальность использования парников.

По срокам эксплуатации парники делятся на 3 группы: ранние, средние и поздние. Для ранних необходима наибольшая мощность системы обогрева, их включают на 380 В, для средних и поздних систему обогрева переключают на 220 В, что обеспечивает меньшую мощность и соответственно меньший расход электроэнергии.

Стальной провод может быть заложен не только в изоляционных трубах, но и в сплошном изоляционном материале — асфальтобетонной массе (битум БН-5 12 % по массе, песок 88 %). Для получения электронагревательной системы с хорошими электроизоляционными свойствами масса в процессе изготовления должна иметь температуру 140...150 °С, а уложенная масса уплотнена до 2,15 г/см<sup>3</sup>. По разработкам НИПТИМЭСХ

Нечерноземной зоны провод в асфальтобетонную массу закладывают змейкой (350 м при диаметре 3 мм на 220 В) или продольными нитками через 7...10 см. В таких системах электрообогрева сопротивление изоляции для трубчатых электронагревательных систем должно быть не ниже 50 кОм, для асфальтобетонных нагревателей — на менее 100 кОм.

Наиболее безопасен при обслуживании электронагреватель из стальной неизолированной проволоки, работающий на пониженном напряжении. При этой системе обогрева в почве или одновременно в почве и воздухе прокладывают несколько параллельно соединенных стальных проводов диаметром 4...8 мм, присоединяемых на напряжение 24...50 В (например, через трансформатор ОСУ-80-0,5 со вторичным напряжением 49 В). В таких системах в качестве нагревательного элемента может служить и стальная полоса. Провод или полосу перед укладкой в почву покрывают термостойким лаком (или краской) для предохранения от коррозии. Если напряжение не превышает 30 В, система электрообогрева может считаться достаточно безопасной.

Расчет нагревательного элемента ведут следующим образом. Пусть необходимо подобрать число параллельных проводов диаметром 6 мм на четыре электропарника, где мощность нагревательных элементов должна равняться 280 Вт на раму. Тогда общая мощность для четырех парников по 20 рам составит 22,4 кВт, а общий ток — 456 А, если применить напряжение 49 В. Согласно графику, приведенному на рисунке 6.2, в, находим, что при удельном напряжении 0,575 В по проводу диаметром 6 мм будет протекать ток 47 А. Тогда число параллельных проводов определится при делении общего тока на 47. Получаем, что общее число проводов должно быть 10. Это полностью отвечает требованиям получения высокой равномерности температуры в почве по ширине парника.

Основной недостаток такой системы электрообогрева — необходимость в специальных понижающих трансформаторах, что ограничивает ее практическое применение. По тем или иным причинам редко применяются электродные, индукционные и другие системы электрообогрева. Все более широкое распространение получает электрокалориферный обогрев, особенно в теплицах.

Теплицы делятся на зимние и весенние (укрытые пленкой). Для обогрева воздуха в теплицах используют электрокалориферы, а почву обогревают различными способами аналогично описанным для парников.

### 6.5. Определение затрат на дополнительный обогрев солнечных парников и укрытий

Общий коэффициент теплопередачи парников приближенно рассчитывают по следующей формуле:

$$K_{об} = cK_0 + K_r, \quad (6.1)$$

где  $c$  — коэффициент, учитывающий потери на инфильтрацию;  $K_0$  — коэффициент теплопередачи через ограждения в атмосферу;  $K_r$  — коэффициент теплопередачи от внутренних частей парника к внешнему грунту.

Коэффициент  $c$  при аккуратном выполнении конструкции равен 1,05...1,2, а  $K_r = 1...2$  Вт/(м<sup>2</sup>·°С).

Разность расходов электроэнергии на обогрев парников и утепленного грунта определяют по формуле

$$\Delta W = (K_{y,r} - K_n)(t_n - t_n)T, \quad (6.2)$$

где  $\Delta W$  — разность в расходах электроэнергии, Вт·ч/м<sup>2</sup>;  $K_{y,r}$ ,  $K_n$  — соответственно коэффициенты теплопотерь утепленного грунта и парников, Вт/(м<sup>2</sup>·°С);  $t_n - t_n$  — разность температур воздуха внутри и снаружи, °С;  $T$  — продолжительность эксплуатации, ч.

Разность удельных расходов [р/(м<sup>2</sup>·ч)] на эксплуатацию парников и утепленного грунта с пленочными укрытиями, а также расходов на электроэнергию составляет

$$\Delta A' = (A_n - A_{y,r}) \frac{1}{T}; \quad \Delta A'T = \Delta A, \quad (6.3)$$

где  $A_n$  — удельные эксплуатационные расходы на эксплуатацию парников в сезон, р/м<sup>2</sup>;  $A_{y,r}$  — удельные эксплуатационные расходы на утепленный грунт в сезон, р/м<sup>2</sup>;  $T$  — продолжительность эксплуатации в сезон, ч.

Экономия равна:

$$\Delta \mathcal{E} = \Delta A'T - \frac{\Delta W q}{10^5} = \Delta A'T - \frac{(K_{y,r} - K_n)(t_n - t_n)T q}{10^5}, \quad (6.4)$$

где  $q$  — стоимость электроэнергии, к/(кВт·ч).

Экономия зависит от разности коэффициентов теплопотерь, разности температур внутри парника и снаружи, стоимости электроэнергии, разности удельных расходов на эксплуатацию. Критическая разность температур

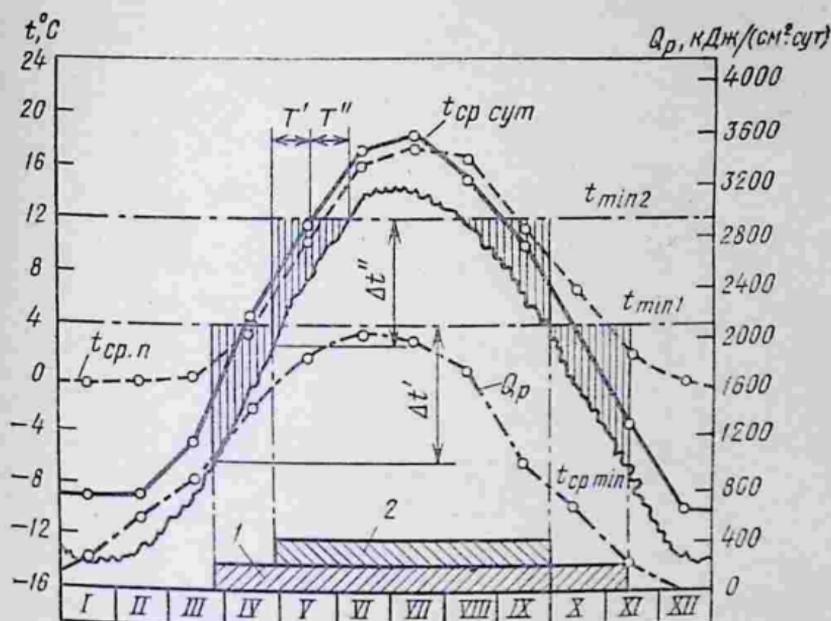


Рис. 6.3. Годовые изменения естественных температур воздуха и почвы в условиях Подмосковья и сроки выращивания овощей в парниках под пленкой:

$t_{cp,сум}$  и  $t_{cp,min}$  — среднесуточная температура воздуха (за 50 лет) и минимальная (за 5 лет);  $t_{cp,п}$  — среднесуточная температура почвы; 1 — холодостойкие культуры (салат, редис); 2 — теплолюбивые культуры (огурцы, помидоры);  $t_{min1}$  и  $t_{min2}$  — потребные минимальные температуры для выращивания соответственно холодостойких и теплолюбивых культур;  $Q_p$  — суммарная солнечная радиация.

внутри и снаружи парников, когда экономия будет равна нулю, то есть разность температур, начиная от которой становится целесообразным применение парников, а до которой целесообразен утепленный грунт с пленочным укрытием, может быть определена по формуле

$$t_{в} - t_{п} = \frac{\Delta A \cdot 10^5}{(K_{y,r} - K_n) T q} \quad (6.5)$$

По графику на рисунке 6.3 можно определить рационально экономические сроки выращивания растений холодостойких культур (с середины марта до ноября) и теплолюбивых растений (с конца апреля до сентября в условиях Подмосковья). Иными словами, в течение указанного срока выращивать овощи в утепленном грунте

дешевле, чем в парниках. Утепленный грунт необходимо обеспечить регулируемым подогревом для предотвращения гибели растений при заморозках.

Как показано на рисунке 6.3, в течение периода  $T''$  средняя температура наружного воздуха выше, чем минимальная температура, которую необходимо обеспечить для выращивания культуры, а в течение  $T'$  средняя температура ниже необходимой минимальной. При солнечной погоде температура будет более высокой. Как было отмечено, под пленочным укрытием температура всегда выше, чем снаружи.

В условиях Подмосковья с конца марта за счет естественного тепла под пленкой можно обеспечить среднюю температуру воздуха  $+4^{\circ}\text{C}$ , то есть минимально допустимую для холодостойких растений. Кривая  $t_{\text{ср.сут}}$  показывает изменение средней температуры воздуха по месяцам года за 50 лет, а кривая  $t_{\text{ср.мин}}$  — среднюю минимальную температуру за 5 лет. Эти температуры должны приниматься в расчет при выборе мощности системы обогрева. Здесь же показано помесечное изменение суммарной солнечной радиации  $Q_r$ . Наиболее крутой подъем этой кривой приходится на март — апрель. Однако основная доля теплоты, необходимой холодостойким культурам (салат, редис и др.), которые требуют для своего развития температуру не ниже  $4^{\circ}\text{C}$ , будет обеспечена за счет солнечной радиации с третьей декады марта. Здесь заштрихованным треугольником показана площадь, которой будет пропорциональна дополнительная теплота от системы электрообогрева, автоматически поддерживающей минимально необходимую температуру  $4^{\circ}\text{C}$  при заморозках.

Срок выращивания холодостойких культур 30...40 дней. Затем условия погоды позволяют с использованием той же мощности и примерно с тем же расходом электроэнергии, что и при выращивании холодостойких культур, выращивать теплолюбивые овощи (томаты, огурцы).

Холодостойкие культуры в этот период можно выращивать под пленкой только на естественном обогреве. Таким образом, можно раздвинуть сроки использования пленочных укрытий.

## 6.6. Определение мощности на обогрев капитальных сооружений защищенного грунта

Безотносительный к способу электрообогрева расчет мощности на нагрев, а также расходуемой электрической энергии выполняют обычно по выражениям (6.6 и 6.7):

$$P = KF_o(t_{в} - t_{нар}), \quad (6.6)$$

где  $P$  — мощность, необходимая для обогрева защищенного грунта, Вт;  $K$  — коэффициент теплопередачи остекления, Вт/(м<sup>2</sup>·С);  $F_o$  — полная поверхность остекления, м<sup>2</sup>;  $t_{в}$  — температура внутритеплицы или парника, °С;  $t_{нар}$  — расчетная наружная температура, °С.

Коэффициенты теплопередачи для различных укрытий показаны на рисунке 6.4. Если принять теплопередачу равной  $K$  [Вт/(м<sup>2</sup>·°С)], то расход энергии за сутки:

$$W_{сут} = KF_o(t_{в} - t_{нар}) \cdot 24. \quad (6.7)$$

Значение наружной температуры  $t_{нар}$  принимают в зависимости от района строительства данного культурно-вационного сооружения. Климатические характеристики районов приведены в СНиП-11-А. 6—72 «Климатология и геофизика».

Расчетные внутренние температуры воздуха в теплицах для выращивания овощей и тепличной рассады при проектировании отопления защищенного грунта принимаются, согласно нормам ОНТП-СХ10—81, равными 15°С (ночью), а в теплицах для выращивания рассады в открытый грунт — 8°С.

Согласно тем же нормам, температура грунта в корнеобитаемом слое составляет 18...25°С. Максимальная температура внутреннего воздуха в теплицах для выращивания овощей должна быть не более 30°С, рассады для теплиц — не более 26°С, рассады в открытый грунт — до 20°С. Причем

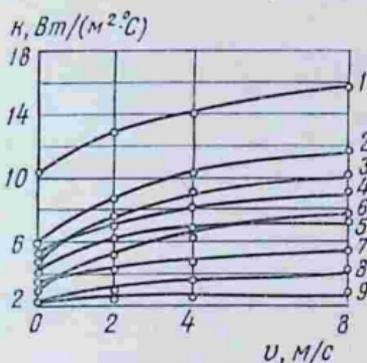


Рис. 6.4. Коэффициент теплопередачи для различных укрытий:

1 — пленка; 2 — стекло; 3 — пленка и соломенный мат; 4 — пленка и бумага; 5 — стекло и пленка; 6 — стекло и соломенный мат; 7 — стекло и бумага; 8 — стекло и два соломенных мата; 9 — стекло и поролон.

Таблица 6.2

Культура	Температура, °С					
	от посева до появ- ления всходов	в течение 4...7 дней после всходов		в последующее время		
		днем	ночью	в сол- нечный день	в пас- мурный день	ночью
Капуста	18...20	8...10	6...10	14...18	12...16	6...10
Томаты	23...25	13...15	8...10	21...23	16...18	8...12
Огурцы	25	15...17	12...14	19...20	17...19	12...24
Лук на перо, сельдерей	20	13...16	8...10	18...20	16...18	8...10

Примечание. Закалка рассады при температуре не ниже: днем 8...12 °С, ночью 5...6 °С.

продолжительность максимальной температуры воздуха должна быть не более 10 ч подряд.

В таблице 6.2 приведены оптимальные температуры при выращивании рассады для открытого грунта (по нормам ОНТП-СХ10—82).

Учитывая, что потребная для рассады температура меняется днем и ночью, мощность электронагревателей ( $Вт/м^2$ ) может быть вычислена по уточненной формуле

$$P = \frac{K_n [t_{в,н} - (t_n - 3)] + K_d [t_{в,д} - (t_n + 3)]}{2}, \quad (6.8)$$

где  $K_n$  и  $K_d$  — коэффициенты теплопередачи защитных приспособлений при укрытии рам соломенными матами (в один слой) и совсем без укрытия (обычно днем),  $Вт/(м^2 \cdot °С)$ ;  $t_{в,н}$  и  $t_{в,д}$  — расчетные температуры воздуха в парнике для ночного и дневного периода суток (дифференцируются для дневного периода при пасмурной погоде; рассада капусты — в среднем 13 °С, томата — 18 °С; соответственно ночью 7 и 12 °С);  $t_n$  — средняя в течение наиболее холодной декады внешняя температура в период эксплуатации парников, °С.

Используя данные таблицы 6.3, можно дифференцировать также расход электрической энергии, который с учетом разных стадий выращивания может быть определен по формуле

$$W_0 = n W_n + n_c (W_c - W_p), \quad (6.9)$$

где  $W_0$  — расход электрической энергии по парникам в целом, кВт·ч;  $n$  — число рам, которые заняты данной культурой;  $W_n$  — расход электроэнергии на раму при выращивании пикированных растений, кВт·ч;  $n_c$  — число рам, которые используются для выращивания семян;  $W_c$  — расход электрической энергии при выращи-

вании семян, кВт·ч;  $W_p$  — расход электроэнергии на разогрев одной рамы парников, запланированных для выращивания пикированных растений (табл. 6.3), кВт·ч.

Т а б л и ц а 6.3

Культура	Расход электроэнергии (кВт ч на раму парников) при выращивании			
	сеянцев		пикированных растений	
	для разогрева	общий	для разогрева	общий
Капуста ранняя	25...30	75...90	20...25	125...150
Томаты ранние	30...35	85...95	20...25	80...95
Томаты средние	15...20	45...60	10...15	40...50
Баклажаны, перец	35...40	135..150	—	—

В последние годы для выращивания рассады широко используют пленочные теплицы и укрытия (до и после рассады их используют для выращивания овощей). При этом можно руководствоваться методическими рекомендациями по расчету и эффективному применению электрической энергии в тепловых процессах рассадных пленочных теплиц и типовыми проектами рассадных теплиц на электрообогреве № 810-91 и № 810-94 Гипронисельпрома. Для теплиц, предназначенных для выращивания овощей, научно-исследовательский институт овощного хозяйства (НИИОХ) предложил более точный расчет потребной мощности систем обогрева. Для правильного расчета этой мощности предлагается корректировать типовые проекты в соответствии с конкретными условиями района строительства. В типовых проектах тепловые потери определяются с учетом средней температуры наиболее холодных суток. По используемой в настоящее время методике расчета не совсем полно учитывается ветер: определяются только конвективные тепловые потери от внешней поверхности ограждений. Но и эти потери значительно меньше тепловых на инфильтрацию, закономерности изменения которой от скорости ветра до сих пор не выявлены. Поэтому НИИОХ предлагает метод теплового расчета, базирующийся на использовании тепловых характеристик теплиц конкретной конструкции (которые определены опытным путем и с учетом потерь инфильтрацией).

Так, в результате обработки многолетних опытных данных получена эмпирическая формула для подсчета удельных тепловых потерь блочных зимних теплиц с остекленной кровлей:

$$q = (4,2 + 0,4v), \quad (6.10)$$

где  $q$  — удельные тепловые потери теплицы, отнесенные к  $1 \text{ м}^2$  площади при разности температур внутреннего и наружного воздуха  $1^\circ$ , ккал/( $\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot ^\circ\text{C}$ );  $v$  — скорость ветра, м/с.

Общие тепловые потери теплицы

$$Q_T = (4,2 + 0,4v) \Delta t F, \quad (6.11)$$

где  $\Delta t = t_n - t_{\text{н}}$  — перепад температур воздуха внутри теплицы и снаружи ее;  $F$  — площадь теплицы,  $\text{м}^2$ .

Последнее уравнение используется для расчета установленной тепловой мощности системы обогрева теплиц в зависимости от района строительства данного тепличного комбината.

### 6.7. Перспективные безоконные культивационные сооружения

Основные затраты энергии при выращивании овощей в теплицах приходятся на обогрев культивационных помещений. На обогрев зимних теплиц за сезон расходуется почти в 10 раз больше топлива, чем требуется на обогрев такой же площади капитальных зданий.

В безоконных культивационных сооружениях при использовании электрических ламп одновременно облучаются растения и обогревается помещение. В средней зоне СССР искусственное облучение растений лампами мощностью  $600 \dots 700 \text{ Вт/м}^2$  делает излишним обогрев воздуха и почвы. В районах Крайнего Севера облучение и обогрев безоконных теплиц лампами с установленной мощностью  $1000 \text{ Вт/м}^2$  позволяют получать огурцы и томаты при затратах, примерно равных средней реализационной цене, как и при выращивании их в остекленных теплицах. Однако при этом получается большой выигрыш в сроках поступления свежих овощей.

Эффективность светонепроницаемых безоконных теплиц достигается в основном уменьшением тепловых потерь в  $10 \dots 12$  раз по сравнению с обычными теплицами, отсутствием затрат на обогревательные устройства, большей возможностью для автоматизации. Практичес-

ки исключаются потери электроэнергии в светильниках, так как все тепло от них идет в помещение.

Наиболее выгодно использовать безоконные культивационные сооружения для выращивания выгоночных овощей, когда не требуется освещения, как при выгонке зелени салатного цикория (витлуфа). Выгонку зелени этого овоща из корнеплодов можно осуществлять и непосредственно в хранилище в контейнерах-ящиках с нагревательным элементом для подогрева почвенной смеси. Температура воздуха в хранилище должна быть от 0 до 5 °С. На 1 кг зелени при этом расходуется до 2...3 кВт·ч электроэнергии.

Следует отметить, что для выгонки кочанов нужно использовать только темные помещения, так как под действием света кочаны приобретают привкус горечи.

Выгоночные контейнеры целесообразно иметь размером 2×1 м, сборной конструкции, с хорошей теплоизоляцией, например из пропитанных досок. В днище монтируют нагревательный элемент, который представляет собой провод, имеющий выход на монолитно закрепленные снаружи днища контакты. При помощи этих контактов через штепсельный разъем нагревательный элемент подключается к сети. Мощность элемента должна составлять 100...200 Вт. Масса такого контейнера в процессе выгонки 400...500 кг.

В растительные оборудуют также отделение для обработки контейнеров. Здесь устанавливают набор механизмов, позволяющих быстро разгрузить контейнеры с выращенным витлуфом и вновь зарядить их корнями.

Электропитание к хранилищу-растительные подается от собственной подстанции.

Коэффициент теплопередачи ограждающих конструкций этого помещения равен 1,16 Вт/(м<sup>2</sup>·°С), а для остекленных теплиц он равен 6...10 Вт/(м<sup>2</sup>·°С). Капитальные затраты на строительство такого сооружения в пересчете на 1 м<sup>2</sup> площади пола больше, чем на 1 м<sup>2</sup> теплиц, но на единицу выдаваемой продукции меньше в 2...2,5 раза (хранилище-растительные площадью 1000 м<sup>2</sup> может дать за сезон столько продукции выгоночного салатного цикория, сколько даст теплица огурцов и томатов с 10 000 м<sup>2</sup>).

Исходя из общего запаса корнеплодов, полученных в открытом грунте  $G$  в тоннах, учитывая средний вес одного корнеплода  $g$  в граммах и принимая продол-

жительность одного цикла выгонки равной 25 дням, площадь помещения для выгонки кочанов салатного цикория при числе циклов выгонки за сезон  $n$  и густоте посадки корнеплодов 350 шт/м<sup>2</sup> можно определить по формуле

$$F_{\text{в}} = \frac{mG \cdot 10^6}{gn \cdot 350} = \frac{G \cdot 10^5}{50gn}, \quad (6.12)$$

где  $m$  — коэффициент, учитывающий число корней, пригодных для выгонки, которые составляют примерно 70 % от общего урожая.

При четырехъярусном расположении электрообогреваемых контейнеров площадь культивационного помещения для выгонки салатного цикория:

$$F = \frac{F_{\text{в}}}{4K'} + F_{\text{пр}} = \frac{F_{\text{в}}}{3,6} + F_{\text{пр}}, \quad (6.13)$$

где  $F_{\text{пр}}$  — площадь, используемая для проезда транспортных средств и для прохода при обслуживании установки;  $K'$  — коэффициент заполнения площади помещения электрообогреваемыми контейнерами, равный 0,9.

Общая технологическая схема промышленной выгонки салатного цикория показана на рисунке 6.5, а средства механизации этой технологии — на рисунке 6.6.

Новые типы безоконных культивационных сооружений, куда не проникает луч солнца и где растения выращиваются полностью при искусственном освещении, получили наименование темниц. Наряду с традиционными системами освещения растений в них стали применять и плоские световоды.

Гипронисельпром разработал для районов Крайнего Севера экспериментальный проект темницы со световодом: по бокам помещения на высоте 2...2,5 м выполнены щели, в которые помещаются источники света, а над потолком подвешивается металлизированная (зеркальная) пленка, отражающая падающий на нее из щелей свет. В помещении таким образом обеспечивается объемное освещение пространства.

Вынос ламп в одно место позволил сэкономить на 5...10% капитальные затраты, сократить протяженность электропроводок на 5...7%.

Плоские световоды для культивационных помещений выпускаются в виде полотнищ размером 6×3 и 9×3 м. Из них можно собирать светящиеся «потолки» над растениями различных размеров. К ним поставляются комплекты светильников с лампами типа ДНаТ-400.

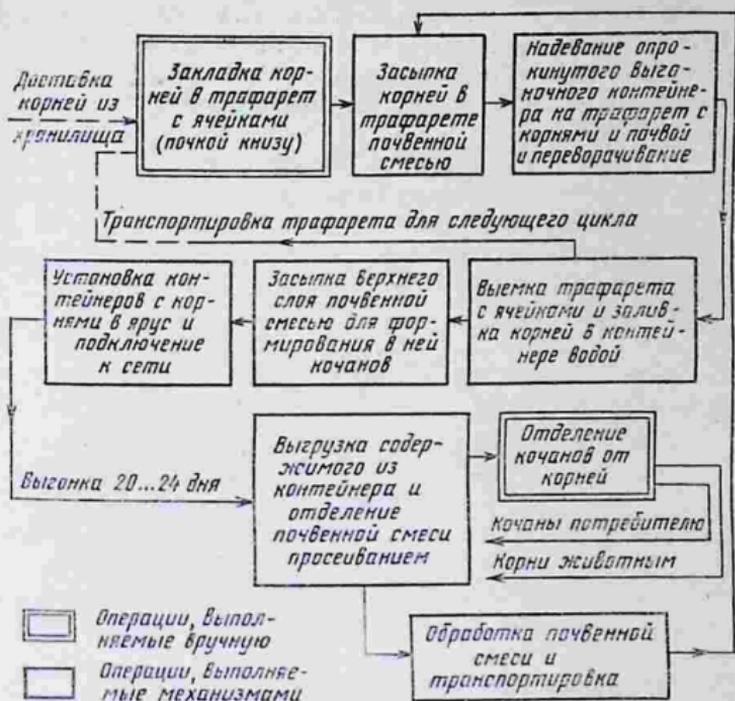


Рис. 6.5. Общая технологическая схема промышленной выгонки кочанов салатного цикория.

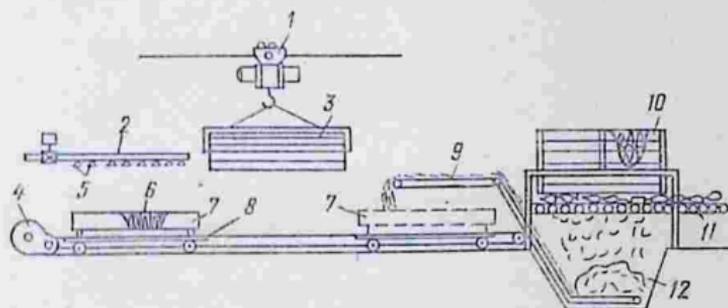


Рис. 6.6. Схема взаимодействия технических средств в растительные корнеплодов:

1 — тельфер; 2 — водопроводная труба; 3 — контейнер; 4 — приводная станция; 5 — распылительные форсунки; 6 — трафарет с корнями, засыпанными почвенной смесью; 7 — трафарет с ячейками для корней; 8 — тележка; 9 — транспортер почвенной смеси; 10 — контейнер, разгружаемый для отделения растений от почвы; 11 — транспортер для отделения почвенной смеси от корней с кочанами; 12 — бункер для почвенной смеси.

Такой осветительный комплект типа СКОУ при мощности от 4,4 кВт до 9,6 кВт обеспечивает освещенность на расстоянии 2 м от стены со щелью на почве от 4 до 10 клк. Герметизированные от помещения щели со светильниками интенсивно вентилируются, а теплота используется для обогрева помещения темницы и подсобных помещений: облучаемой площади в 100 м<sup>2</sup> и подсобной площади в 50 м<sup>2</sup>.

Плоские световоды могут применяться и в обычных подвалах, шахтах и т. д.

### **6.8. Выбор системы дополнительного облучения (освещения) растений**

Для обеспечения нормального развития овощных культур необходимо обеспечить их освещенность не менее 7...8 тыс. лк, то есть 0,18...0,21 Дж/(см<sup>2</sup>·мин) физиологически активной радиации (ФАР). При ФАР менее 0,055 Дж/(см<sup>2</sup>·мин) огурцы не растут: все, что поступает растению от фотосинтеза, расходуется на дыхание.

В современных сооружениях защищенного грунта освещенность в пасмурные дни составляет 40...50% наружной. Укрытие поглощает от 10 до 50% лучей, в зависимости от степени загрязнения стекла или пленки. Кроме того, значительная часть лучей рассеивается каркасными конструкциями. Коэффициент проницаемости для парников в среднем составляет 0,33, а теплиц — 0,4...0,7.

Общесоюзными нормами ОНТП-СХ10—81 предусматривается, что в районах европейской части СССР севернее 45° с. ш. и азиатской севернее 50° с. ш. (0...VI световые зоны) в зимних теплицах должно быть искусственное облучение рассады, а в обоснованных случаях — светокультура овощей (томатов, огурцов). При этом с целью унификации проектных решений при использовании серийных облучателей типа ОТ-400 рекомендуется предусматривать удельные мощности установок по облучению рассады согласно данным таблицы 6.4.

Не меньшее значение имеет и продолжительность облучения растений. Так, рекомендуемое число часов облучения для огурцов 12...14, томатов 14...16. Сред-

Таблица 6.4

Световая зона	Физиологически активная реакция, МДж/(м <sup>2</sup> ·мес)		Установленная мощность дополни- тельного освеще- ния, Вт/м <sup>2</sup>
	в декабре	в январе	
0	0	0...2,1	400...450
I	1,3...3,3	3,3...7,1	250...300
II	6,7...8,8	10,1...13,8	200...250
III	10,5...15,1	17,6...25,6	120...200
IV	16,3...23,9	25,6...33,9	100...150
V	25,1...28,9	35,6...40,9	80...120
VI	33,9...37,7	40,2...42,3	До 80
VII	47,2...61,6	56,6...80,4	—

Примечание. Удельная мощность облучателя типа ОТ-400 принята без учета потерь в пускорегулирующей аппаратуре (ПРА).

Таблица 6.5

Месяц года	Средняя продолжительность дня (ч) на широтах, град				
	30	40	50	60	70
I	10,5	9,5	8,5	6,5	0
II	11	10,5	10	9	7,5
III	12	12	12	11,5	11,5
IV	13	13	13,5	14,5	16
V	13,5	14,5	15,5	17	20,5
VI	14	15	16,5	19	24
VII	14	14,5	16	18	24
VIII	13	14	14,5	16	18
IX	12	12,5	12,5	13	13,5
X	11,5	11	11	10	9
XI	10,5	10	9	7,5	4
XII	10	9,5	8	6	0

няя же продолжительность дня в часах по широтам местности весьма различна (табл. 6.5).

Для рассады овощных культур рекомендованная продолжительность облучения для 0...III световых зон не менее 12...16 ч/сут, для IV...VI световых зон до 12 ч/сут. При этом она дифференцируется по дням (табл. 6.6).

Общая продолжительность облучения рассады огурцов составляет 30...40, а томатов — 45...50 дней.

Таблица 6.6

Этап выращивания	Продолжительность искусственного облучения рассады			
	огурцов		томатов	
	ч/сут	сут	ч/сут	сут
Всходы	24	2...3	24	2...3
Сеянцы	—	—	16	10...12
Рассада до расстановки	16	10...12	16	12...15
Рассада после расстановки	14	10...12	14	20...25

Таблица 6.7

Электрические лампы	A (Вт/лм), 10 <sup>-3</sup>	C, лм/Вт	КПД, %
Накаливания мощностью 300...500 Вт	5,91	14...19	8...11
Люминесцентные дневного света	4,03	40...50	16...20
Люминесцентные белого света	3,55	50...60	18...21
ДРЛ	4,00	50...55	20...22
Ксеноновые	5,65	22...30	12...17
ЛОР	7,00	20...30	14...21
Натриевые ДНаТ	3,5...4	125...130	44...52

Чтобы уменьшить установленную мощность, сократить число ламп, используют передвижные осветительные установки.

Для искусственного освещения растений в культивационных сооружениях наиболее часто применяют электрические источники света, приведенные в таблице 6.7.

Чтобы сравнить лампы, надо учесть не только потребляемую из сети электроэнергию, но и показатель их эффективности для светокультуры. Этот показатель можно представить как энергетический КПД:

$$\eta_0 = (A/B) \cdot 100 = AC100,$$

где  $A$  — удельная мощность физиологически активного излучения (полезная) источника, Вт/лм;  $B$  — удельная мощность источника, идущая на образование 1 лм в полном световом потоке;  $C = 1/B$  — световая отдача, лм/Вт.

Сравнение ламп по энергетическому КПД показывает, что у натриевых ламп он примерно в 5 раз выше,

чем у ламп накаливания, в 3 раза — чем у люминесцентных и в 2,5 раза — чем у ламп ДРЛ.

Один из путей улучшения светотехнических характеристик люминесцентных ламп, удешевления схемы в целом — применение повышенной частоты тока.

При выборе оптимальной частоты тока для осветительной установки необходимо иметь в виду следующие обстоятельства. С повышением частоты тока удешевляется балластное сопротивление (как дроссель, так и конденсатор), увеличивается светоотдача, уменьшается глубина пульсации светового потока. Однако чем выше частота, тем меньший по размерам конденсатор или дроссель должен быть принят к использованию в качестве балласта. А чем меньше размеры, тем хуже условия охлаждения, тем на более высокое напряжение нужно выбирать конденсатор или балласт следует составлять из нескольких конденсаторов. С повышением частоты труднее решаются вопросы передачи энергии из-за чрезмерного падения напряжения на индуктивном сопротивлении линии. Наиболее целесообразна частота 1000...2500 Гц.

Светильники с пускорегулирующей аппаратурой на повышенной частоте 1200...2500 Гц просты в устройстве, не имеют сложных схем включения и ряда других неудобств, присущих системе при 50 Гц. Благоприятнее режим горения ламп.

Напряжение, которое вызывает мгновенное зажигание ламп типа ЛБ-80 (с длиной трубки 1,5 м) и ДРЛ, включаемых последовательно с балластным сопротивлением, для холодной погоды равно 380...400 В, для температур около 20° — 320...340 В. При таком напряжении схема включения наиболее простая и дешевая: это парное включение ламп в общем светильнике, причем одна из ламп включается с дросселем, а другая — с конденсатором.

Вопрос об оптимальном напряжении должен быть решен с учетом условий безопасности в первую очередь, а также с учетом требований схемы.

## 6.9. Выращивание растений на питательных растворах

Выращивание растений на питательных растворах позволяет не только обеспечить рациональное питание, оптимальный режим поддержания условий окружающей

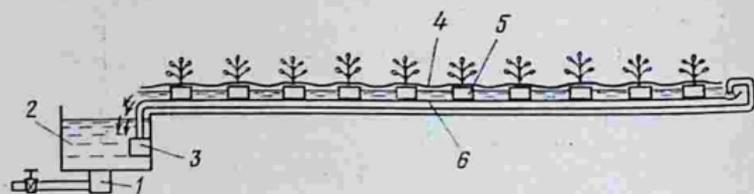


Рис. 6.7. Схема проточной культуры:

1 — сборник грязи; 2 — резервуар с питательным раствором; 3 — погружной насос, подающий питательный раствор в лоток с растениями; 4 — непрозрачная (черная) пленка, закрывающая раствор; 5 — растения в пористых пластмассовых кубиках; 6 — лоток из пластика, уклон 1 : 100.

среды с максимальной пользой применять теплоту, электрическую энергию, минимум воды, рабочей силы, но и получать продукцию заранее заданного высокого качества. При получении рассады корневая система хорошо развита и после пересадки в место постоянного произрастания растение быстрее приживается и дает более ранний урожай. Хозяйства освобождаются от забот по перевозке почвы и органических удобрений.

Один из перспективных способов выращивания на растворах представлен на рисунке 6.7. Раствор постоянно протекает под кубиками с растениями. В таких установках важно максимально использовать световой поток электрических источников облучения. Например, если растения расположить с двух сторон от осветительной рамки с люминесцентными лампами, как показано на рисунке 6.8, можно в 2 раза увеличить выход салата, лука, редиса и других низкорослых растений, а также рассады овощных культур.

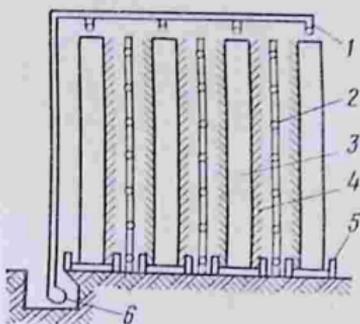


Рис. 6.8. Технологическая схема установки для выращивания на вертикальных двухсторонних панелях:

1 — оросительные трубки с отверстиями; 2 — лампы; 3 — панели; 4 — растения; 5 — катки; 6 — насос.

Вертикальное размещение стеллажей и облучательных рамок позволяет повысить вместимость помещения. Коэффициент заполнения культивационного помещения может быть определен по формуле

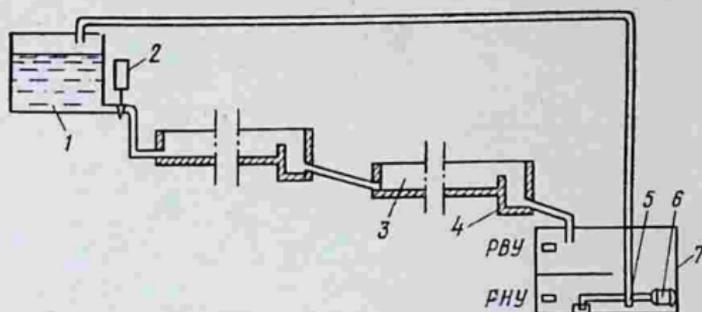


Рис. 6.9. Каскадное расположение стеллажей с субстратом:

1 — резервуар на верхнем уровне террас; 2 — электромагнитный клапан; 3 — стеллажи по террасам (каскады); 4 — сифон для переливания питательного раствора; 5 — насос; 6 — электродвигатель; 7 — нижний резервуар; РНУ и РВУ — реле нижнего и верхнего уровня.

$$K_{\text{зап}} = \frac{F_{\text{к}}}{F_{\text{п}}} = \frac{2h_{\text{к}}b_{\text{к}}}{b_{\text{н}}l_{\text{н}}} \left[ \frac{b_{\text{н}} - b_{\text{пр}}}{b_{\text{е}} + \frac{b_{\text{у}}}{2} + \frac{b_{\text{пр}}}{2}} \left( \frac{l_{\text{н}} - 2b_{\text{пр}}}{b_{\text{у}}} + 1 \right) \right], \quad (6.14)$$

где  $F_{\text{к}}$  — общая площадь культивационной поверхности вертикальных устройств,  $\text{м}^2$ ;  $F_{\text{п}}$ ,  $b_{\text{н}}$ ,  $l_{\text{н}}$  — площадь ( $\text{м}^2$ ), ширина и длина помещений,  $\text{м}$ ;  $h_{\text{к}}$ ,  $b_{\text{к}}$  — высота и ширина вертикальных культивационных устройств,  $\text{м}$ ;  $b_{\text{у}}$  — расстояние между двумя соседними устройствами,  $\text{м}$ ;  $b_{\text{пр}}$  — проход между рядами вертикальных устройств,  $\text{м}$ ;  $b_{\text{е}}$  — ширина культивационного устройства с учетом рамки из углового железа,  $\text{м}$ .

При выращивании на питательных растворах сравнительно высокорослых растений применяют простейшие электрифицированные системы горизонтального типа. На рисунке 6.9 показана каскадная система с принудительной подачей при помощи насоса 5 питательного раствора из резервуара 7 в стеллажи 3. Автоматизация полива путем включения и выключения двигателя 6 достигается при помощи нижнего РНУ и верхнего РВУ реле уровня. Полив включается автоматически при помощи электромагнитного клапана 2. Существуют и другие схемы подачи питательного раствора к стеллажам с растениями.

## 6.10. Способы предупреждения губительных последствий от заморозков

При выращивании растений на заменителях почвы для предупреждения губительных последствий от заморозков можно использовать предварительно подогретый

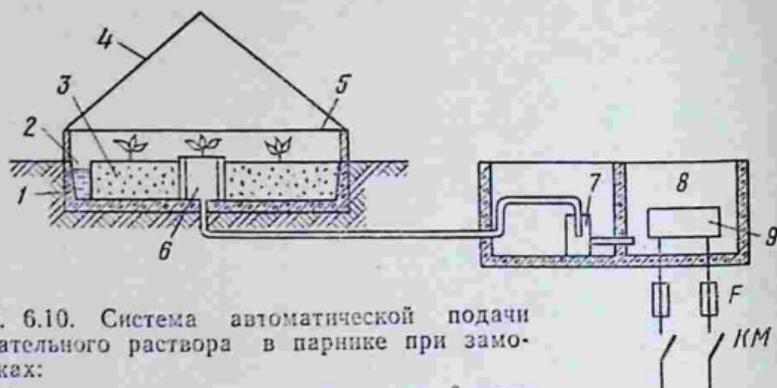


Рис. 6.10. Система автоматической подачи питательного раствора в парнике при заморозках:

1 и 2 — датчики нижнего и верхнего уровня; 3 — гравийный стеллаж; 4 — утепляющее покрывало; 5 — каркас; 6 — колодец; 7 — электронасос; 8 — резервуар с раствором; 9 — электронагреватель.

питательный раствор. Его можно подогреть не только паром низкого давления или горячей водой от котельных, но также и электричеством, особенно если использовать для этого провалы в ночные часы на графике электрических нагрузок. Пусть стеллаж (рис. 6.10) выполнен из железобетонного швеллера. Питательный раствор циркулирует по схеме: резервуар 8 — электронасос 7 — магистральный трубопровод — колодец 6 — гравийная засыпка. Как только раствор достигает заданного уровня в стеллаже (на 1...1,5 см ниже поверхности гравия), замкнутся пластины 2 электродного датчика верхнего уровня и реле уровня выключит двигатель насоса.

Питательный раствор подогревается в резервуаре 8 электрическим элементом 9 (для парника, закрытого полиэтиленовой пленкой с бумажным покрывалом, его мощность 1,5 кВт). При понижении температуры ниже нормы датчик температуры, установленный на стеллаже на высоте 10 см, даст команду на терморегулятор, который включит через магнитный пускатель двигатель насоса, подающего подогретый питательный раствор в стеллаж.

Температура гравия в зависимости от необходимой температуры воздуха под укрытием, вида укрытия, внешних метеорологических условий может быть определена по формуле

$$t_{гр} = \frac{1,33K_{y.n}(t_n - t_v)}{K_{гр}} + t_v, \quad (6.15)$$

где  $t_{гр}$  — необходимая температура гравия;  $K_{у.п}$  — коэффициент теплопередачи через укрытие;  $t_{в}$  — температура воздуха под укрытием;  $t_{н}$  — наружная температура;  $K_{гр}$  — коэффициент теплопередачи (теплопотери) гравийного слоя.

Например, для парников, исходя из агротребований, минимальная температура под пленкой в апреле должна быть  $4^{\circ}\text{C}$ , а в мае —  $12^{\circ}\text{C}$ . Поэтому минимальная необходимая температура гравия  $20 \dots 25^{\circ}\text{C}$ . Учитывая соотношение между массой гравия и количеством подаваемого в стеллаж раствора, температуру раствора следует поддерживать в пределах  $25 \dots 28^{\circ}\text{C}$ .

Представляет интерес также подогрев воздуха в обычных парниках и других культивационных сооружениях, где растения выращивают на почве. Например, электрообогрев воздуха в солнечных парниках для предупреждения вредных последствий заморозков позволит значительно раньше запускать их в эксплуатацию, получать более раннюю продукцию. В Подмоскowie в апреле — мае возможны заморозки до минус  $10 \dots 5^{\circ}\text{C}$ . В этом случае мощность нагревательной системы для укрытий из пленки без дополнительного утепления равна примерно  $150 \text{ Вт/м}^2$ . Минимальный расход энергии будет, конечно, при автоматическом поддержании температуры. Там, где нет возможности воспользоваться для борьбы с заморозками электроэнергией, следует применять баллонный газ. В качестве нагревателей могут быть использованы газовые горелки инфракрасного излучения. Общий расход газа на борьбу с заморозками может быть определен из количества теплоты (Дж) потребной для поддержания заданного перепада температур в теплице, которое находят по формуле

$$Q = KF(t_n - t_{н}) T 3,6 \cdot 10^{-3}, \quad (6.16)$$

где  $K$  — общий коэффициент теплопередачи для теплицы,  $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^{\circ}\text{C})$ ;  $F$  — поверхность остекления теплицы,  $\text{м}^2$ ;  $t_n - t_{н}$  — заданное превышение температуры на период заморозка,  $^{\circ}\text{C}$ ;  $T$  — продолжительность заморозка, ч.

Количество сжиженного газа может быть определено по формуле

$$G = \frac{Q}{\Theta \eta}, \quad (6.17)$$

где  $\Theta$  — теплосодержание 1 кг сжиженного газа,  $\text{Дж/кг}$ ;  $\eta$  — коэффициент использования газа, равный  $0,75 \dots 0,8$ .

Газобаллонная схема должна предусматривать автоматическое включение вентиляторов и наличие электро-

магнитного клапана подачи газа к нагревателю. В ряде случаев эта схема предупреждения пагубных последствий заморозков может оказаться самой надежной.

### **6.11. Обоснование структуры и обеспечения приборами системы управления климатом культивационных сооружений с применением микроЭВМ**

Наиболее распространенными сооружениями, где вегетация растений проходит в строго контролируемой среде, являются камеры искусственного климата, камерные, ангарные и блочные теплицы. Они, как правило, оснащены системами обогрева почвы (субстрата) и воздуха, полива почвы и внесения минеральных удобрений, увлажнения воздуха, испарительного охлаждения и подкормки растений углекислотой, их искусственного облучения, естественной или принудительной вентиляции, термозащитных экранов.

В настоящее время созданы системы аналоговой автоматики, используя которые можно успешно поддерживать заданные параметры микроклимата в культивационных сооружениях закрытого грунта, оснащенных вышеперечисленными технологическими системами.

Современная система автоматического управления состоит из следующих элементов: датчиков скорости и направления ветра, влажности и температуры воздуха, уровня солнечной радиации, наличия и количества осадков;

датчиков параметров внутренней, окружающей растении среды, включающих температуру и влажность почвы и воздуха, уровень проникающей в сооружение естественной радиации и искусственного облучения, датчиков концентрации углекислоты, концентрации минеральных удобрений в системе подкормки растений, поверхностной влажности и инфракрасного датчика температуры листовой поверхности растений, температуры поливной воды и теплоносителя;

собственно пульта управления с регуляторами и задатчиками;

исполнительных механизмов технологических систем (обогрев, полив, вентиляция и т. д.).

Работая на такой системе управления, оператор или технолог учитывает меняющиеся во времени требования

растений к условиям окружающей среды и погодные условия, постоянно корректирует уставки отдельных параметров в течение каждой фазы вегетационного процесса и времени суток. Это весьма трудоемкая задача, требующая повышенного внимания и высокой квалификации оператора, и все же здесь нет гарантии исключения субъективных ошибок.

Эти недостатки устраняются с широким применением высоконадежных недорогих серийных микро- и миниЭВМ в системах управления технологическими процессами в культивационных сооружениях закрытого грунта (АСУ ТП). Система с ЭВМ должна быть построена так, чтобы она заменяла аналоговую автоматику с минимумом дополнительных затрат. Это предъявляет определенные требования к ее комплексу технических средств.

С практической точки зрения между функциями, которые выполняют датчики (преобразователи) в аналоговых системах автоматики и в системах с ЭВМ, есть существенная разница.

В аналоговых системах регулирования датчики (положения трехходового вентиля, положения фрамуг и т. д.), измерительные преобразователи (температуры, освещенности, влажности и т. д.) являются неотъемлемой частью цепей регулирования, обычно одним из плеч измерительной мостовой схемы. При нарушении баланса мостовой схемы система будет выдавать команду на изменение положения исполнительного механизма до тех пор, пока не восстановится баланс. В этих системах для каждой цепи регулирования требуется индивидуальный датчик, что затрудняет связанное управление различными процессами. Последнее существенно, если климат в культивационном сооружении закрытого грунта необходимо поддерживать весьма точно. Кроме того, для обеспечения заданной точности измерения лимитируется расстояние между регуляторами и датчиком.

В системах с ЭВМ датчики и измерительные преобразователи не являются составной частью цепей регулирования, а служат для сбора данных. Каждый датчик положения и измерительный преобразователь выполняют десять измерений в минуту. Эти данные поступает в блок памяти машины. Каждую минуту вычислительная машина из десяти хранимых в памяти измерений рассчитывает средние величины, которые

используются для корректировки работы оборудования, обеспечивающей требуемые параметры микроклимата в культивационном сооружении.

Таким образом, учет взаимовлияния различных факторов на климат в культивационном сооружении (температуры, радиации, влажности) реализуется расчетом результирующего воздействия на исполнительный механизм.

Приборное обеспечение АСУ ТП с применением ЭВМ включает: собственно ЭВМ, устройство связи с объектом (УСО) и устройство ввода-вывода информации (телетайп и дисплей).

МикроЭВМ может быть использована для управления технологическими процессами, если соблюдены следующие требования:

- предусмотрена возможность наращивания оперативного запоминающего устройства (ОЗУ) и запоминающего устройства (ЗУ) на магнитном носителе;

- технолог-оператор не имеет возможности вносить изменения в программную область ЗУ;

- обеспечивается сохранение информации при потере питания;

- терминалом обеспечивается диалог «оператор-ЭВМ» на достаточно доступном уровне;

- программное обеспечение позволяет наращивать и изменять набор программ управляющего вычислительного комплекса (УВК);

- обеспечена возможность изменения структуры УВК и связи с другими элементами структуры управления.

В целом АСУ ТП строится по иерархическому принципу. Для комплекса культивационных сооружений закрытого грунта рационально построение двухуровневой АСУ ТП. Кроме того, вся АСУ ТП должна войти в структуру автоматизированной системы управления (АСУ). Таким образом, возможны три уровня управления комплексом (рис. 6.11). На каждом уровне управления должны решаться свои задачи.

Первый уровень — управление при помощи ЭВМ технологическим оборудованием с целью обеспечения заданных параметров выращивания растений с учетом внешних возмущений (погодных условий).

На данном уровне, как уже упоминалось ранее, в ЭВМ вводятся технологические условия. ЭВМ осуществляет сбор информации с датчиков и по заранее за-

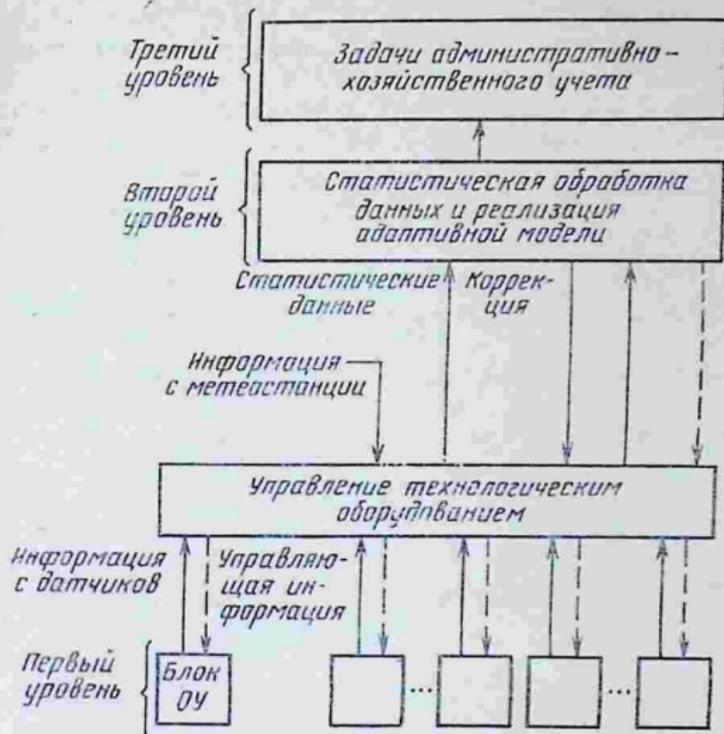


Рис. 6.11. Функциональная схема АСУ ТП комплекса культивационных сооружений закрытого грунта.

ложенным неизменным алгоритмам выдает управляющее воздействие на исполнительные механизмы.

Второй уровень — статистическая обработка информации, полученной с первого уровня, корректировка управляющих алгоритмов и передача скорректированных данных на первый уровень.

Третий уровень — диспетчеризация комплекса, учет продукции, расчет, выдача экономических показателей.

АСУ ТП в зависимости от объема задач управления должна быть разделена на функционально и конструктивно самостоятельные модули, то есть построена по блочно-модульному принципу. Необходимо обеспечить связь модулей с высшими уровнями структуры. Причем эта связь (электрическая и функционально-алгоритми-

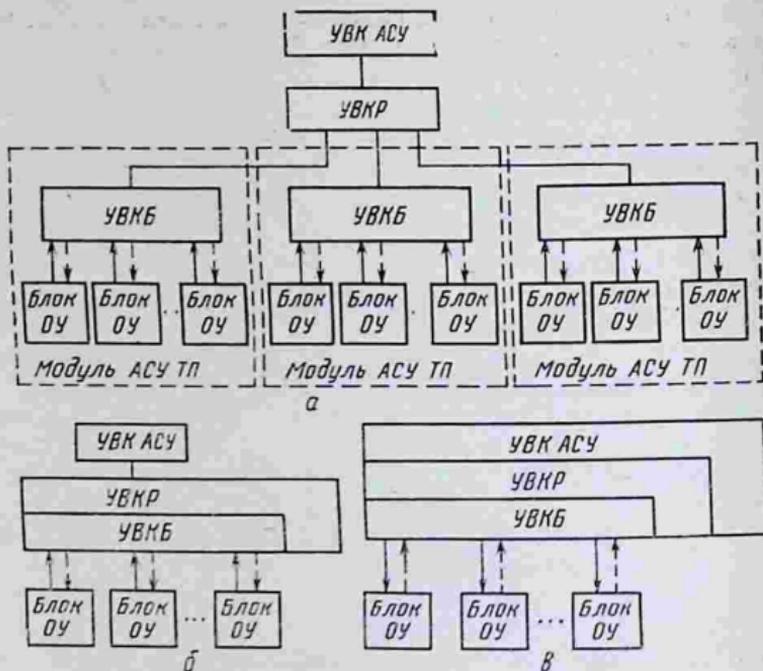


Рис. 6.12. Структурная схема АСУ ТП комплекса культивационных сооружений закрытого грунта:

а — система управления первого уровня из нескольких модулей АСУ ТП; б — УВК управляет всем комплексом культивационных сооружений; в — реализация на УВК трех уровней управления; ОУ — культивационное сооружение, принятое за модульный блок (например, теплица площадью 1 га); УВКБ — управляющий вычислительный комплекс базовый, выполняющий функцию первого уровня управления; УВКР — управляющий вычислительный комплекс расширенный, выполняющий функции второго уровня управления (представляет собой расширенный комплект УВКБ); УВКАСУ — управляющий вычислительный комплекс, выполняющий функции третьего уровня управления.

ческая) должна быть построена таким образом, чтобы независимо от функционального назначения принцип подключения внешних устройств к ЭВМ внутри модулей был бы одинаковым для них всех, а соединение модулей с высшими уровнями структуры было бы однотипным.

Под модулем АСУ ТП будем понимать функционально и конструктивно завершенную и самостоятельную совокупность  $N$  блоков ОУ и базовых управляющих вычислительных комплексов (УВКБ).

Если первый уровень управления состоит из нескольких модулей АСУ ТП, то может быть предложена структурная схема, как на рисунке 6.12, а, а в случае

когда одна УВК способна управлять всем комплексом культивационных сооружений закрытого грунта, то предлагается схема рисунка 6.12, б. Их отличие заключается в том, что на рисунке 6.12, а представлен многомашинный комплекс, а на рисунке 6.12, б — многопроцессорный. Более того, если тепличный комбинат велик и требования к объемам информации на третьем уровне управления (АСУ ТП) незначительны, то функции всех трех уровней управления могут быть реализованы с помощью УВК, полученного наращиванием УВКБ до УВК АСУ (рис. 6.12, в). Иногда такое наращивание может затрагивать лишь терминальные устройства, то есть изменение функции УВК реализуется за счет изменения конфигурации УВКБ.

Необходимо отметить, что функции второго уровня управления, а следовательно, и расширенного управляющего комплекса (УВКР) не всегда необходимы в структуре АСУ ТП, поэтому данный уровень управления может быть исключен, и тогда должна быть реализована связь УВКБ модулей АСУ ТП непосредственно с УВК АСУ. Возможность исключения второго уровня из структуры делает более гибким процесс поэтапной разработки и внедрения всей системы.

#### **6.12. Основные принципы управления технологическими процессами культивационного сооружения закрытого грунта с применением ЭВМ (на примере теплиц)**

Все рассуждения будем вести в основном относительно управления двигателями привода вентиляционных рам и затвора смесительного клапана.

Общая программа управления процессом показана на рисунке 6.13. Она состоит из семи отдельных подпрограмм, которые будут рассмотрены ниже.

**Блок 1.** Вводятся в память ЭВМ данные измерений. При помощи коммутатора опрашиваются последовательно все отделения теплиц и метеостанция (измерительные цепи). Дискретная информация непосредственно поступает в записывающее устройство (ЗУ) ЭВМ, а аналоговая вначале поступает на преобразователь «напряжение-код», где аналоговая величина (0...10 В) преобразуется в цифровой десятиразрядный код, который также вводится в ЗУ машины.

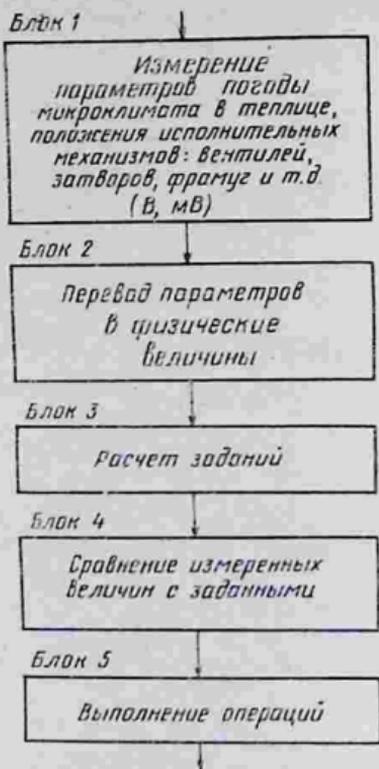


Рис. 6.13. Блок-схема построения программы управления технологическими процессами кульвационного сооружения закрытого грунта.

Во второй таблице кодов — номера каналов и теплиц, наименование измеряемой величины и диапазон измерения. В третьей таблице — физические величины. Здесь из первой таблицы измеренные значения пересчитываются в физические единицы: °С, м/с, лк и т. д. Все три таблицы связаны между собой.

Применение приема пересчета измеряемых величин в виде напряжения в их физические величины позволяет:

а) соединять малую ЭВМ управления климатом теплиц с большой ЭВМ, которая получает от миниЭВМ в любой промежуток времени массивы информации о состоянии климата, делать статистическую обработку

В памяти машины имеются две таблицы. В первой хранятся значения внешних измеренных величин: температуры воздуха, скорости, направления ветра и др. Во второй таблице хранятся номер отделения теплицы, название измеряемой величины, диапазон измерений, номер измерительного датчика. Эта таблица служит для выбора канала измерения.

Блок 2. Блок преобразует измеренные значения в виде напряжения в их физические величины (°С, м/с, % и др.). В этом блоке предусмотрена программа вычисления относительной влажности воздуха через показания «сухого» и «мокрого» термометров.

В этом блоке предусмотрено три таблицы. В первой хранятся измеренные величины (температура воздуха, скорость и направление ветра и т. п.), преобразованные в двоичную информацию.

полученного материала и давать оценку влияния на урожай различных климатических факторов, технологических приемов, удобрений и т. д.;

б) в любое время дня получить от ЭВМ данные о состоянии климата внутри теплиц и о погодных условиях;

в) упростить систему ввода информации в машину, то есть провода от измерительных элементов подводятся к опрашивающему устройству (коммутатору) без предварительных усилительных и преобразовательных блоков.

Использование физических величин более удобное для понимания оператором того, что происходит в данный момент времени в теплице.

Блок 3. В этом блоке в виде таблицы хранятся основные уставные точки регулирования (уставки), определяющие режимы и пределы регулирования. Ниже приводится примерный перечень основных уставок регулирования:

- 00 — температура обогрева почвы;
- 01 — температура обогрева в пасмурный день;
- 02 — температура обогрева в ясный день;
- 03 — температура вентилирования ночью;
- 04 — температура вентилирования в пасмурный день;
- 05 — температура вентилирования в ясный день;
- 06 — температура вентилирования ночью со стороны ветра;
- 07 — температура вентилирования в пасмурный день со стороны ветра;
- 08 — температура вентилирования в ясный день со стороны ветра;
- 09 — минимальная температура труб ночью;
- 10, 11 — минимальная температура труб соответственно в пасмурный и ясный день;
- 12 — максимальная температура труб ночью;
- 13 — максимальная температура труб днем;
- 14 — температурный толчок;
- 15 — минимальное положение рам;
- 16 — максимальное положение рам;
- 17 — максимальное положение рам во время дождя;
- 18 — минимальное положение рам со стороны ветра;
- 19 — максимальное положение рам со стороны ветра;
- 20 — разница максимальных температур;
- 21 — стартовая точка диапазона влажности;

- 22 — повышение влажности при минимальном положении рам;
- 23 — время температурного обогрева утром;
- 24 — время температурного обогрева вечером;
- 25 — время температурного вентилирования утром;
- 26 — время температурного вентилирования вечером;
- 27 — время начала температурного толчка;
- 28 — время конца температурного толчка;
- 29 — рассчитанная максимальная температура труб;
- 30 — рассчитанная минимальная температура труб;
- 31 — рассчитанная температура обогрева;
- 32 — рассчитанная температура вентилирования;
- 33 — рассчитанная температура вентилирования со стороны ветра;
- 34 — рассчитанное положение рам;
- 35 — рассчитанное положение рам со стороны ветра;
- 36 — рассчитанная температура труб;
- 37 — температура в теплице;
- 38 — температура внешней среды;
- 39 — положение рам с левой стороны;
- 40 — положение рам с правой стороны;
- 41 — температура почвы.

Значения уставок регулирования 00...41 меняются в зависимости от времени суток (ночь/день), сезонности, внешних климатических факторов, внутренних параметров микроклимата. Ниже приводится подробное описание функций, выполненных уставками, и влияние климатических факторов, определяющих их значение.

При помощи уставок 00...02 устанавливают температуру теплицы, которая поддерживается в течение суток отоплением. При помощи уставок 03...05 раскрывают рамы (фрамуги) на безветренной стороне теплицы для удаления из нее избытка тепла, то же самое и для 06...08, но только с ветреной стороны. Уставки 09...13 служат для поддержания в течение суток минимальной или максимальной температуры труб обогрева.

С целью учета влияния солнечной радиации назначение уставок по температуре обогрева и вентиляции весь диапазон освещенности (допустим, от  $2 \cdot 10^3$  до  $100 \cdot 10^3$  лк) можно разбить на 100 равных участков от 0 до 100%. Если днем относительная освещенность понижается от 0 до 25, 50, 75 и 100%, то соответственно изменяются и значения уставок по температуре от 10 до 20, 21, 22 и 23°C.

То же самое относится и к минимальной температуре труб, только в этом случае при увеличении освещенности температура труб понижается.

Уставки 15...19 устанавливают пределы раскрытия фрамуг. При этом по программе установки корректируются в зависимости от наружной температуры воздуха и скорости ветра. При низкой температуре наружного воздуха и значительной скорости ветра значения уставок понижаются, что приводит к меньшему открытию фрамуг. С повышением наружной температуры степень открытия фрамуг должна возрастать.

Уставка 20 служит для сигналов тревоги. Например, если температура обогрева задана  $T=18^{\circ}\text{C}$ , а разница между действительной и заданной температурами составляет  $3^{\circ}$ , то подается сигнал тревоги. То же самое и для вентиляции, если действительная температура вентиляции превышает на  $3^{\circ}$  заданную.

Уставки 21...22 служат для поддержания необходимой влажности воздуха внутри теплицы. С помощью установки 21 с учетом наружной температуры фрамуги постепенно устанавливаются в минимальное положение. Если погода ветреная, фрамуги открываются при более высокой наружной температуре. Уставка 22 учитывает степень открытия фрамуг в зависимости от диапазона влажности.

Уставки 23...26 учитывают время переключения температурного режима. При проведении в утренние часы температурного толчка (уставки 14, 27, 28) температура вентилирования устанавливается позднее, чем температура обогрева. Например, в 06 ч отопление переключается с  $18$  на  $20^{\circ}\text{C}$ , а вентиляция с  $19$  на  $21^{\circ}\text{C}$  переключается только в 07 ч.

Переключение с ночи на день является причиной толчкообразных изменений в процессе регулирования микроклимата. Поэтому необходимо в момент переключения обеспечить достижение желаемой температуры обогрева и вентиляции до наступления дня.

Если переключение произойдет слишком поздно, то температура теплицы будет ниже температуры обогрева и, таким образом, ниже вентиляционной температуры днем. В этом случае влага с растений начнет испаряться под действием солнечного света. Из-за этого может произойти временное понижение влажности воздуха:

фрамуги находятся в нижнем положении, так как в теплице слишком низкая температура воздуха.

Вечером за час до захода солнца желательно вначале переключить обогрев на ночной режим, а затем, когда теплица достаточно охладится, переключать вентиляцию.

Текущие уставки 29...33 для регулирования рассчитывают на основании естественной освещенности времени суток, скорости и направления ветра. Во избежание помех от переходных процессов при регулировании уставки по температуре (23...33) изменяют замедленно ( $0,2^\circ/\text{мин}$ ).

На расчет уставок 34 и 35 оказывают влияние следующие факторы: температура внутри и снаружи теплицы, скорость и направление ветра, минимальное и максимальное положение рам, максимальное положение рам в дождь, защита от бури и мороза.

На первом этапе в первую очередь необходимо поддерживать желаемую температуру в теплице. После этого можно обеспечить минимальное положение рам при плохих погодных условиях. Необходимый отвод влаги регулируется по дефициту влажности  $\Delta x$ .

При дожде рамы со стороны ветра должны быть полностью закрыты. Полное закрытие фрамуг должно осуществляться при буре и морозе.

В блоке 4 учитывают следующие факторы: минимальную температуру труб, температуру снаружи теплицы, скорость ветра, влажность, диапазон влажности.

— это текущие переменные, характерные для объекта регулирования в данный момент.

В блоке 5 сравниваются измеренные величины с заданными значениями из каждого отделения теплицы, с уставками (заданными), находящимися в блоке 3.

Выбор необходимой уставки зависит от времени суток (день, ночь, рассвет). При отклонении измеренных величин от заданных рассчитывают необходимую длительность управляющего импульса.

Блок 5. Все операции управления заложены в одном машинном слове. Например, если машинное слово состоит из 16 разрядов, то каждый разряд выполняет определенные функции управления:

- 1 — открыть затвор смесительного клапана системы нижнего обогрева;
- 2 — закрыть затвор смесительного клапана системы нижнего обогрева;
- 3 — открыть затвор смесительного клапана системы верхнего обогрева;
- 4 — закрыть затвор смесительного клапана системы верхнего обогрева;
- 5 — открыть вентиляционные рамы с левой стороны;
- 6 — закрыть вентиляционные рамы с левой стороны;
- 7 — открыть вентиляционные рамы с правой стороны;
- 8 — закрыть вентиляционные рамы с правой стороны;
- 9 — открыть затвор смесительного клапана системы обогрева почвы;
- 10 — закрыть затвор смесительного клапана системы обогрева почвы;
- 11 — открыть электромагнитный вентиль системы охлаждения растений (система разбрызгивания влаги);
- 12 — открыть электромагнитный вентиль системы увлажнения почвы;
- 13 — открыть электромагнитный вентиль системы охлаждения крыши;
- 14 — открыть электромагнитный вентиль системы снабжения  $\text{CO}_2$ ;
- 15 и 16 — резерв.

С 1-го по 10-й разряд операции регулирования выполняются по пропорциональному или пропорционально-интегральному закону регулирования. Степень изменения регулировочной величины определяется временем работы электропривода. Как только в разряде (соответствующем) появится 1, система начинает работать (например, перемещается затвор смесительного клапана).

С 11-го по 14-й разряд операции регулирования выполняются скачком (например, вода в систему полива подается или не подается). Следовательно, если в соответствующем разряде появляется 1, электромагнитный вентиль включается, 0 — отключается.

Для каждого параметра определено время регулирования, это время записано в специальной таблице в памяти машины отдельно для каждого отделения теплицы. Каждую секунду эта таблица опрашивается, и если время открытия или закрытия (допустим, затвора

смесительного клапана) истекло, подается команда на стирание соответствующего разряда управления.

Кроме программы управления технологическими процессами, система с ЭВМ может быть оснащена рядом сервисных программ, таких, как вывод на цифropечать раз в сутки или по требованию оператора информации о параметрах погодных условий и микроклимата внутри культивационного сооружения, диагностики работы технологического оборудования и т. д.

### **6.13. Использование электрического и магнитного полей для стимуляции энергии прорастания семян. Новый принцип управления подачей семян, их дозированием и сепарацией**

Условия защищенного грунта открывают широкие возможности применения биофизических воздействий на семена в комплексе с другими агромероприятиями. В таблицах\* 6.8 и 6.9 приводятся сведения о влиянии на урожайность культур различных методов обработки семян и поливной воды электрическим и магнитным полями. Из таблицы 6.8, в частности, следует, что примерно одинаковые повышения всхожести и прибавки урожая можно получить при обработке семян электрическим полем постоянного и переменного тока и коронного разряда. Также примерно одинаковые результаты получаются при обработке семян магнитным полем постоянного и переменного тока, импульсным концентрированным солнечным светом (ИКСС) и лазерным облучением.

Пока общий недостаток методов стимулирующей обработки семян заключается в невозможности инструментального измерения дозы облучения. Ее оптимум определяют по последствию — полученным результатам.

Полив растений так называемой активированной водой, обработанной магнитным полем, электрическим током, замораживанием и размораживанием, дезинтегрированием или другими способами, дает определенный эффект, сказывающийся в прибавке урожая. Это объясняется тем, что такие воздействия расшатывают

---

\* Таблицы составлены В. В. Пилюгиной.

Таблица 6.8

Вид (фактор) обработки	Параметры обработки		Испытуемая культура	Повышение всхожести, %	Прибавка урожая, %
	интенсивность	экспозиция, мин			
Электрическое поле: постоянного тока, В/м переменного тока, В/м коронного разряда, кВ/см	$(2,0 \dots 5,0) \cdot 10^3$	0,2 ... 0,5	Картофель	—	23 ... 73
	$1,5 \cdot 10^5$ $4 \cdot 10^5$	10 ... 30 3	Горох Силосные культуры	25 ... 30 5 ... 20	— —
	5 5	1,5 0,1	Хлопок Картофель	— —	29,8 ... 36,6 11,3 ... 28,1
Магнитное поле: постоянного тока, А/м переменного тока, А/м	$(1,0 \dots 1,4) \cdot 10^3$ $(9 \dots 22) \cdot 10^3$ $22,2 \cdot 10^3$	5 ... 15 10 сут 10 »	Пшеница Редис Огурцы	10 ... 11 11,1 ... 16,3 15,3 ... 17,2	66,7 11 ... 20 14 ... 18
	$8 \cdot 10^4$ $4,5 \cdot 10^5$	10 ... 60 3	Шелковица Рис	8 ... 29 —	— 10,5
	0,174 0,06	5 —	Хлопок Пшеница	5 ... 17 26	36,2 ... 51 10 ... 82
Лучистая энергия: ИКСС, кВт·ч/м <sup>2</sup> лазерного облучения, мВт·с/см <sup>2</sup>	0,3 0,02	3 До 15	Томаты Кукуруза	— —	11 ... 24,4 10,6 ... 16,5

Таблица 6.9

Вид обработки поливной воды	Параметры обработки		Испытуе- мая культура	Прибавка урожая, %	Сокращение срока веге- тации, дни
	интенсивность	скорость воды			
Электрический ток (постоянный)	0,1... 8,0 А	0,02... 0,1 л/с	Пшеница	13... 41	1... 2
Магнитное поле (постоянного то- ка)	2,3 · 10 <sup>4</sup> А/м	—	»	15,3	2... 3
	9,5 · 10 <sup>4</sup> А/м	—	Рис	12... 15	3
	(17,5... 19,5) · 10 <sup>4</sup> А/м	1... 2 м/с	Томаты	32	2... 3
		1... 2 м/с	Огурцы	17... 37	2... 3
		1... 2 м/с	Кукуруза	17	2... 3
	0,33 м/с	Зеленые черенки: сливы сморо- дины	11... 30	2... 3	
			15	3... 4	

в той или иной мере так называемые ассоциаты молекул (H<sub>2</sub>O). При этом вода становится менее вязкой, лучше подвержена ионизации, а следовательно, и усвоению растениями. Очевидно, такое расшатывание различных ассоциатов происходит и в семенах при электрофизических воздействиях на них.

В электрическом поле семена не только подвержены стимулирующему действию, но и получают определенную ориентацию. Например, находясь в поле коронного разряда, семена получают заряд за счет ионов, перемещающихся от коронирующего электрода к заземляющему, и под влиянием приобретенного заряда перемещаются в сторону осадительного электрода. Причем траектория перемещения зависит от веса семени и полученного заряда.

Этот принцип заложен в основу конструкций машин для разделения семян по форме и качеству под действием сил кулоновского притяжения и гравитации. Разработан целый ряд машин для разделения семян на фракции с одновременной их стимуляцией. Это машины камерного типа — коронно-статические барабанные се-

параторы, где разделение семян происходит в межэлектродном пространстве при их свободном падении.

Электрическое поле можно использовать также для совместной предпосевной обработки с одновременным управлением потоком сыпучего мелкого семенного материала.

В основе конструкции электрического побудителя движения лежит силовое взаимодействие между электрическим полем и частицами сыпучего материала. Это взаимодействие происходит независимо от свойств материала, формы частиц и характера изменения электрического поля во времени без промежуточных преобразований энергии, то есть потенциальная энергия электрического поля непосредственно превращается в кинетическую энергию управляемых частиц. Вследствие этого электрический побудитель движения обладает высоким коэффициентом полезного действия. Рабочим органом электрического побудителя движения является система неподвижных электродов. Все это обуславливает простоту конструкции электрических побудителей движения, малую энергоемкость и высокие эксплуатационные показатели. К числу последних можно отнести отсутствие травмирования семян.

На рисунке 6.14, а показан гравитационный питатель-стимулятор энергии прорастания семян, у которых удельное объемное сопротивление удовлетворяет условию  $\rho > 10^5 \text{ Ом} \cdot \text{м}$ . К этой группе материалов относятся зерно и продукты его переработки с влажностью менее 15...16 %. Питатель-стимулятор имеет наружный конический 1 и внутренний цилиндрический 2 электроды, соединенные с источником электрической энергии высокого напряжения. Для обеспечения условий безопасной работы наружный электрод заземляют. Сыпучий материал, подлежащий регулированию, подается сверху и совершает в межэлектродном пространстве гравитационное истечение через кольцеобразный зазор. По мере истечения под действием электрического поля частицы ориентируются, проявляя склонность к образованию цепочек, при этом трение между частицами материала увеличивается. По этой причине сыпучий материал становится менее текучим и расход уменьшается. При некотором значении приложенного напряжения цепочки становятся устойчивыми и гравитационное истечение сыпучего материала прекращается (режим

запирания потока). В рассматриваемом питателе движение сыпучего материала можно регулировать в пределах, соответствующих свободному истечению, вплоть до нулевого расхода.

На рисунке 6.14, б показана конструкция питателя, обеспечивающая истечение сыпучего материала из прямоугольной щели. Электродная система питателя состоит из двух наклонных плоских электродов 3 и 4, которые образуют прямоугольную щель. Конструктивные параметры электродной системы выбирают из условия обеспечения стабильного истечения и требуемого диапазона регулирования. Многочисленными экспериментальными исследованиями выявлены следующие рациональные соотношения конструктивных размеров.

Для коаксиальной системы электродов

$$\Phi_{\text{ц}} = (4 \dots 6)d; \quad \Phi_{\text{к}} = (10 \dots 12)d,$$

где  $d$  — наибольший размер частиц обрабатываемого материала;

$$\gamma = (1,05 \dots 1,1)\alpha,$$

где  $\alpha$  — угол естественного откоса сыпучего материала.

Для плоской системы электродов

$$\Delta = (3 \dots 4)d; \quad \gamma = (1,05 \dots 1,1)\alpha.$$

Для обеих электродных систем высота  $H$  может быть принята равной 30...40 мм.

Расходную характеристику питателя можно описать следующей формулой:

$$Q = \frac{Q_0}{U_3} A \frac{U_3 - U}{A + U^2 Q_0}, \quad (6.18)$$

где  $Q_0$  — расход сыпучего материала при отсутствии электрического поля ( $U=0$ );  $U_3$  — напряжение запирания потока ( $Q=0$ );  $A$  — некоторая постоянная, зависящая от физико-механических свойств материала.

Расход сыпучего материала при свободном истечении определяют по формуле

$$Q_0 = S v_0 \rho_n, \quad (6.19)$$

где  $S$  — площадь сечения проходного отверстия, см<sup>2</sup>;  $v_0$  — скорость падения частиц в области выпускного отверстия при отсутствии поля, см/с;  $\rho_n$  — насыпная плотность материала, г/см<sup>3</sup>.

Скорость  $v_0$  приближенно может быть представлена как  $v_0 = 150\rho_n$ .

Таким образом,

$$Q_0 = 150S\rho_{\text{н}}^2. \quad (6.20)$$

Напряжение запирающего потока определяется согласно выражению

$$U_3 = E_3\Delta, \quad (6.21)$$

где  $E_3$  — средняя напряженность запирающего поля, равная 7...8 кВ/см для переменного тока и 5...6 кВ/см для постоянного.

Для коаксиальной системы межэлектродный зазор:

$$\Delta = \frac{1}{2}(\Phi_{\text{н}} - \Phi_{\text{ц}}). \quad (6.22)$$

Для многих случаев  $A \gg U^2 Q_0$ . В упрощенных расчетах учет этого обстоятельства позволяет вместо формулы (6.18) использовать следующую формулу:

$$Q = Q_0 \left( 1 - \frac{U}{U_3} \right). \quad (6.23)$$

Мощность, затрачиваемая на регулирование расхода, определяется геометрическими размерами электродной системы и электрофизическими свойствами обрабатываемого материала. Ее значение при удельном сопротивлении  $\rho > 10^5$  Ом·м не превышает 10 Вт. Поэтому для электрифицированных питателей в качестве источника питания могут быть использованы высоковольтные анодные трансформаторы.

**Пример 6.1.** Определить основные конструктивные и режимные параметры электрифицированного питателя-стимулятора всхожести для рядового высева табачных семян в открытый грунт.

Норма высева табачных семян в открытом грунте составляет 0,1...0,15 кг/га, а расстояние между рядами — 0,4...0,5 м. Скорость движения посевного агрегата составляет 5...6 км/ч.

Исходя из этих значений, определяем расход табачных семян из одного питателя:  $Q = 0,05...0,07$  кг/ч или 0,015...0,20 г/с.

Определяем основные размеры электродов коаксиальной системы  $\Phi_{\text{н}} = 4d = 4 \cdot 0,6 = 2,4$  мм;  $\Phi_{\text{ц}} = 10d = 6$  мм.

Угол естественного откоса семенной массы табака составляет 32...34°. Внешний угол при основании наружного конуса принимаем 40°.

Для обеспечения стабильного истечения при микрорасходах выбираем переменный ток.

Напряжение запирающего гравитационного истечения в рассматриваемом питателе составляет:

$$U_3 = 10 \cdot \frac{0,6 - 0,24}{2} = 1,8 \text{ кВ.}$$

Расход свободного истечения

$$Q_0 = 150 \cdot \frac{3,14}{4} (0,6^2 - 0,24^2) \cdot 0,5^2 = 35 \text{ г/с,}$$

где  $\rho_{\text{ш}} = 0,5 \text{ г/см}^3$  для табачных семян.

По формуле (6.23) определяем рабочее напряжение:

$$U = U_3 \left( 1 - \frac{Q}{Q_0} \right) \approx 1,8 \text{ кВ.}$$

Таким образом, рабочий режим соответствует порогу запыления.

**Пример 6.2.** Определить основные конструктивные размеры и режимные параметры электрифицированного питателя-стимулятора всхожести для подачи семян красного клевера с засоренностью 5% в семяочистительную машину с регулированием расхода 100... 1000 кг/(ч·м).

При засоренности 5% физико-механические свойства клевера не претерпевают заметных изменений. Для клевера можно принять

$$\rho_{\text{ш}} = 0,6 \text{ г/см}^3; d = 1,4 \text{ мм}; \alpha = 36^\circ.$$

Для питателя принимаем плоскую систему электродов, образующих щелевой зазор. Имеем

$$\Delta = 3 \cdot 1,4 = 4,2 \text{ мм}; \gamma = 40^\circ; H = 40 \text{ мм.}$$

Для напряжения переменного тока запыление наступает при

$$U_3 = 0,42 \cdot 8 = 3,4 \text{ кВ.}$$

Площадь поперечного сечения выпускного отверстия на 1 м ширины захвата

$$S = 100 \cdot 0,42 = 42 \text{ см}^2.$$

Расход свободного истечения

$$Q_0 = 150 \cdot 42 \cdot 0,6^2 = 2268 \text{ г/с.}$$

Рабочее напряжение при расходе 1000 кг/ч (280 г/с) составляет

$$U = 3,4 \left( 1 - \frac{280}{2268} \right) = 3 \text{ кВ;}$$

при расходе 100 кг/ч (28 г/с)

$$U = 3,4 \left( 1 - \frac{28}{2268} \right) = 3,35 \text{ кВ.}$$

Таким образом, напряжение нужно регулировать в пределах от 3 до 3,4 кВ.

Электрифицированные питатели-стимуляторы, приведенные на рисунке 6.14, а и б, могут быть использованы для регулируемой непрерывной и порционной подачи зерновой массы и продуктов ее переработки в технологическое оборудование (сеялки, смесители се-

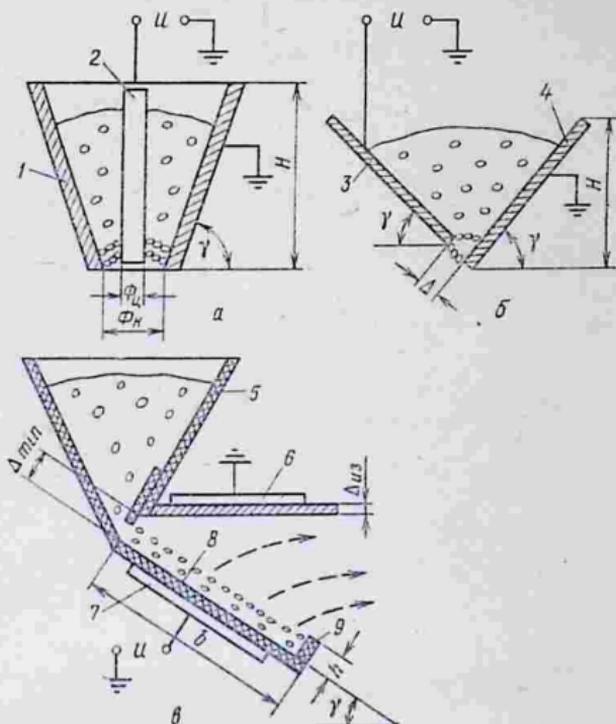


Рис. 6.14. Варианты гравитационного питателя-стимулятора (описание в тексте).

мян, зерноочистительные машины и т. д.). При этом их целесообразно использовать для сыпучих материалов с влажностью менее 15...16 % и размерами частиц менее 2...3 мм.

Расход сыпучих материалов с высокой проводимостью ( $\rho < 10^3 \text{ Ом}\cdot\text{м}$ ) можно регулировать при помощи питателя (рис. 6.14, в). Питатель состоит из бункера 5, плоских электродов 6 и 7, канала 8 с буртиком 9. Электроды 6 и 7 подключают к источнику высокого напряжения переменного тока. Стенки канала 8, бункер 5 и буртик 9 выполнены из электроизоляционного материала (текстолит, винипласт, полистирол и т. д.). Канал 8 имеет верхнюю, нижнюю и боковые стенки, которые образуют полый усеченный клин. Сверху клин соприкасается с щелевой точкой бункера 5. Буртик 9 пре-

дотвращает высыпание материала из канала. Сыпучий материал, подлежащий регулируемой подаче из бункера, поступает в канал, где образует насыпь с естественным откосом. Для непрерывного поступления материала из бункера в канал гравитационным истечением последний установлен под некоторым углом  $\gamma$  к горизонтальной плоскости, удовлетворяющим условию  $\gamma = (1,05 \dots 1,1) \alpha$ .

После подачи электродам напряжения в материале возбуждается электрическое поле, напряженность которого максимальна на границе раздела насыпь — воздух (по линии естественного откоса). Под действием электрического поля частицы, лежащие на поверхности насыпи, заряжаются и, отрываясь, стремятся к верхнему электроду. В момент отрыва на частицы действуют также тангенциальные силы, способствующие их движению к выходу. На место оторвавшихся частиц из бункера свободным истечением поступают новые, и откос насыпи остается постоянным.

Количество транспортированных частиц (расход) при прочих равных условиях определяется приложенным напряжением.

Расходная характеристика питателя, показанного на рисунке 6.14, *в*, может быть описана формулой

$$Q = B(U - U_0), \quad (6.24)$$

где  $U_0$  — минимальное напряжение, при котором начинается отрыв частиц;  $B$  — некоторый коэффициент, зависящий от физико-механических свойств сыпучего материала и конструкции питателя.

Значение  $U_0$  можно определить из формулы

$$U_0 = E_0 \Delta_{\text{min}}, \quad (6.25)$$

где  $E_0 = 2,8(1 + 5d\rho_{\text{н}})$ . (6.26)

В формуле (6.26)  $d$  измеряется в сантиметрах,  $\rho_{\text{н}}$  — в граммах на кубический сантиметр ( $\text{г/см}^3$ ).

В ориентировочных расчетах можно принять  $B = (4,0 \dots 6,5) \text{ г/(кВ} \cdot \text{с)}$ , причем верхний предел соответствует сухим сыпучим материалам.

Геометрические размеры питателя могут быть выбраны из следующих соотношений:

$$\Delta_{\text{из}} = (3 \dots 4) \Delta_{\text{из}} \quad (6.27)$$

где  $\Delta_{\text{из}}$  — толщина стенок канала;

$$h_{\max} = (10 \dots 15)d; \quad (6.28)$$

$$b = (15 \dots 20)\Delta_{\text{из.}} \quad (6.29)$$

Приведенные выше соотношения получены экспериментальным путем и применимы для сыпучих материалов с хорошей текучестью, размерами  $0,05 \dots 1$  мм и  $\rho_n = (1,5 \dots 6)$  г/см<sup>3</sup>.

Следует отметить, что электрифицированные питатели-стимуляторы, изображенные на рисунке 6.14, могут быть использованы не только для стимулирования энергии прорастания и управляемой подачи семян, но и для регулирования и управления непрерывной или порционной подачи металлических порошков, минеральных удобрений и других материалов.

### 7.1. Предпосылки для оптимизации энергетических затрат на системы обогрева и вентиляции

В настоящее время наблюдаются две независимые тенденции в развитии материально-технической базы животноводства. Первая из них — строить животноводческие помещения с хорошей теплоизоляцией, с утепленными тамбурами, с достаточным удельным объемом (высотой помещения), приходящимся на голову скота, чтобы исключить промерзание стен и перекрытий, обеспечить многократный воздухообмен и сохранить в помещении естественную теплоту, которая выделяется животными.

Противники этой тенденции выдвигают тезис о возможном накоплении в помещении болезнетворных бактерий. Но эта проблема может быть решена путем использования бактерицидных ламп с маломощным вентилятором и другими способами электрофизического воздействия.

Второй тенденцией является поиск экономичных малоэнергопотребляющих систем обеспечения микроклимата в помещениях на естественный обогрев и вентиляцию. Это достигается за счет более совершенных по удешевленным и эффективным лампам. И здесь подразумевается использование пассивного теплообмена с помощью естественной вентиляции с помощью вентиляционных устройств для использования тепла, выделяемой животными.

В связи с возросшей стоимостью и ограниченностью доступности с точки зрения экономичности внедрения ресурсо- и энергоэффективных технологий инженеры сельскохозяйственного производства должны активно влиять на выбор конструкций животноводческих помещений и их технического оснащения. При этом они должны пользоваться современными методами оптимизации и технико-экономических расчетов, сравнивая различные варианты предполагаемых или предлагаемых решений.

## 7.2. Методика выбора оптимального термического сопротивления ограждения неотапливаемых животноводческих помещений

Биологическая теплота, выделяемая животными, при соответствующих наружных температурах воздуха, теплофизических характеристиках материалов ограждения и его общем термическом сопротивлении может обеспечить необходимый микроклимат в помещении. Животные, кроме теплоты, выделяют влагу, углекислый газ, сероводород. Поэтому необходимо периодически или постоянно вентилировать помещение. Чтобы не образовался туман в помещении при подаче холодного наружного воздуха, его необходимо подогревать. На это в неотапливаемых помещениях расходуется часть биологической теплоты. Кроме того, наблюдаются потери теплоты через ограждающие конструкции, в основном через кровлю и стены. Их термическое сопротивление должно быть таким, чтобы оставшаяся животная теплота после затрат на подогрев вентиляционного воздуха обеспечивала необходимую для животных температуру воздуха:

$$t_{в} = t_{н} + R_{огр} q_{огр}, \quad (7.1)$$

где  $t_{в}$  — температура воздуха внутри помещения, °С;  $t_{н}$  — температура наружного воздуха, °С;  $R_{огр}$  — среднее термическое сопротивление наружных ограждений (стены, кровля), м<sup>2</sup>·град/Вт;  $q_{огр}$  — теплотери через наружные ограждения, Вт/м<sup>2</sup>.

Значение теплотери  $q_{огр}$  определяют из теплового баланса помещения:

$$q_{огр} = q_{ж} - q_{в} - q_{в.о.п.}, \quad (7.2)$$

где  $q_{ж}$  — удельное тепловыделение животных, Вт/м<sup>2</sup>;  $q_{в}$  — удельный расход теплоты на подогрев вентиляционного воздуха, Вт/м<sup>2</sup>;  $q_{в.о.п.}$  — теплотери через ворота, окна и пол, Вт/м<sup>2</sup>.

Тогда с учетом формул (7.1) и (7.2) среднее термическое сопротивление наружных ограждений:

$$R_{огр} = \frac{t_{в} - t_{н}}{q_{ж} - q_{в} - q_{в.о.п.}}. \quad (7.3)$$

Составляющие теплового баланса можно подсчитать по упрощенным формулам, предложенным А. Г. Егназаровым:

$$q_{ж} = m Q_{ж} / f_0 \quad (7.4)$$

и 
$$q_{в} = i W_{ж} / f_0, \quad (7.5)$$

где  $m, i$  — поправочные коэффициенты (табл. 7.1);  $Q_{ж}$  — тепловыделение животного, Вт;  $f_0$  — площадь наружного ограждения, приходящаяся на одно животное, м<sup>2</sup>;  $W_{ж}$  — влаговыделение животного, г/ч.

Значения  $Q_{ж}$  и  $W_{ж}$  для разных животных приведены в таблице 7.2.

Площадь  $f_0$  наружного ограждения, приходящаяся на одно животное, влияет на значение его лучистой теплоотдачи. При одной и той же температуре внутренней поверхности ограждения животное теряет больше тепла излучением при большей поверхности. Причем теплоотдача животного излучением на кровлю в 1,5...3 раза больше, чем на стены. Поэтому термическое сопротивление кровли должно быть выше, чем стен, на 25...35 %. В практике же, наоборот, термическое сопротивление стен животноводческих помещений выше, чем кровли. Это приводит к переохлаждению животных, так как теплоотдача их излучением преобладает над конвективной теплоотдачей. Максимальная продуктивность животных наблюдается при теплоотдаче путем излучения, равной 30 %, конвекцией — 30 % и теплотой, затрачиваемой на испарение с поверхности тела, — 40 %. Это положение принимается, как одно из необходимых условий комфортности содержания животных. Поэтому необходимо рассчитывать допустимую нижнюю границу температур внутренней поверхности ограждения исходя из указанных соотношений составляющих теплового баланса животных. При этой температуре не должен выпадать конденсат на ограждающих конструкциях животноводческих помещений. Если это условие не соблюдается, то допустимым значением температуры поверхности принимают температуру выше точки росы. Это обеспечит долговечность

Таблица 7.1

Температура наружного воздуха $t_n$ , °С	Поправочные коэффициенты	
	$m$	$i$
—10	0,99	0,052
—15	0,98	0,05
—20	0,97	0,048
—25	0,96	0,047
—30	0,95	0,045

Таблица 7.2

Животные	Масса, кг	Тепловы- деление, Вт	Воляные пары, г/ч	СО <sub>2</sub> , л/ч	
<b>Крупный рогатый скот</b>					
Коровы стельные, летели, за 2 месяца до отела	300	700	319	100	
	400	915	380	118	
	600	1074	489	153	
	800	1260	574	179	
Коровы дойные при уров- не лактации:	5 л	300	693	316	99
		400	828	377	118
		500	923	408	127
		600	1053	485	151
	10 л	300	747	340	406
		400	887	404	126
		500	998	455	141
	15 л	600	1108	505	158
		300	861	392	122
		400	1005	458	148
		500	1113	507	158
	Быки откормочные	600	1205	549	171
400		1139	493	154	
600		1315	599	187	
800		1571	715	223	
Телята в возрасте: до 1 месяца	1000	1859	846	264	
	1...3 »	30	116	53	16
		40	163	74	23
		50	201	92	28
		80	296	135	42
	3...4 »	40	170	73	24
		60	249	113	50
		100	327	177	55
		130	443	202	63
	от 4 месяцев и стар- ше	120	358	195	51
		150	443	202	63
		200	583	265	89
		130	374	170	53
	Хряки-производители	180	530	216	67
		250	648	261	82
		350	755	344	107
<b>Свиньи</b>					
Хряки-производители	100	342	123	44	
	200	446	161	57	
	300	599	216	77	
Матки холостые и супо- росные первых 3 меся- цев	100	281	101	26	
	150	325	118	42	
	200	374	134	48	

Животные	Масса, кг	Тепловы- деление, Вт	Воляные пары, г/ч	СО <sub>2</sub> , л/ч
Матки супоросные старше 3 месяцев	100	328	120	43
	150	393	141	50
	200	445	160	57
Матки подсосные с поро- сятами	100	677	242	87
	150	771	276	99
	200	890	320	114
Поросята до 3 месяцев	15	121	46	17
Ремонтный и откормочный молодняк	50	214	77	27
	60	257	92	33
	80	299	104	38
	90	316	114	41
	100	332	119	43
Взрослые свиньи на от- корме	100	367	132	47
	200	481	175	68
	300	641	230	83
<b>Овцы</b>				
Бараны	50	197	70	25
	80	258	93	33
	100	331	98	35
Матки холостые	40	173	52	19
	50	197	62	22
	60	212	78	28
Матки суягные	40	173	62	22
	50	197	70	25
	60	217	78	28
Матки подсосные с при- плодом два ягненка	40	343	112	44
	50	369	133	47
	60	404	145	52
Молодняк	20	112	39	14
	30	129	46	17
	40	168	58	21

ограждающих конструкций животноводческого помеще-  
ния.

В периоды резкого охлаждения наружного воздуха температура внутренней поверхности остекления становится ниже обусловленного соотношения лучистого и конвективного теплообмена. Особенно это ощутимо в животноводческих помещениях, где площади окон значительны и достигают иногда 30 % поверхности стен. В расчетах следует принимать площадь окон, равной

Рис. 7.1. Зависимость необходимого термического сопротивления ограждения от температуры наружного воздуха:

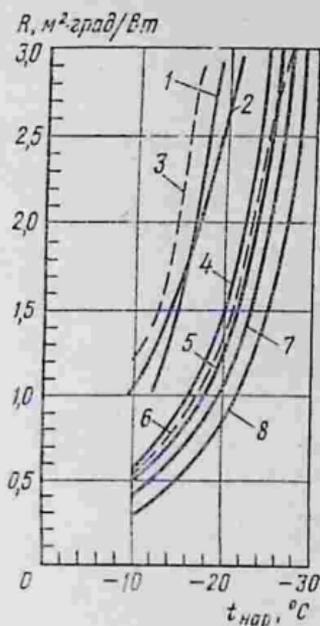
1 и 3 — температура внутри помещения 20 °С при площади наружного ограждения  $f_0$ , приходящейся на одно животное, равной 2,5 и 5 м<sup>2</sup> соответственно; 2 и 6 — температура внутри помещения 15 °С при  $f_0$ , равном 8 и 6 м<sup>2</sup> соответственно; 4, 5, 7, 8 — температура внутри помещения (коровника) 10 °С при  $f_0$ , равном 14, 12, 10 и 8 м<sup>2</sup> соответственно.

7... 10 % площади вертикальных ограждений. Расчетную температуру внутренней поверхности ограждения можно определить из общего закона лучистого теплообмена, в котором количество теплоты, излучаемой поверхностью тела животного, принимаем равным 30 % общего тепловыделения.

Температуру тела животного считаем известной.

На рисунке 7.1 приведены графики, отражающие зависимость необходимого среднего термического сопротивления ограждения неотапливаемых животноводческих помещений от температуры воздуха снаружи и в помещении при определенных площадях поверхности ограждений, приходящихся на одно животное.

Зная необходимое среднее термическое сопротивление ограждающих конструкций, находим термическое сопротивление (или сумму термических сопротивлений) непосредственно ограждения, то есть без учета сопротивления теплопередаче от воздуха к ограждению и от ограждения к наружному воздуху. На рисунке 7.2 приведена номограмма для определения толщины ограждающих конструкций в зависимости от имеющегося в хозяйстве строительного материала. По этой же номограмме можно подобрать многослойное ограждение и определить толщину каждого слоя. В таблице 7.3 приведен краткий перечень строительных теплозащитных материалов с указанием значений коэффициента теплопроводности. Из таблицы видно, что в настоящее время практически используются в строительстве жи-



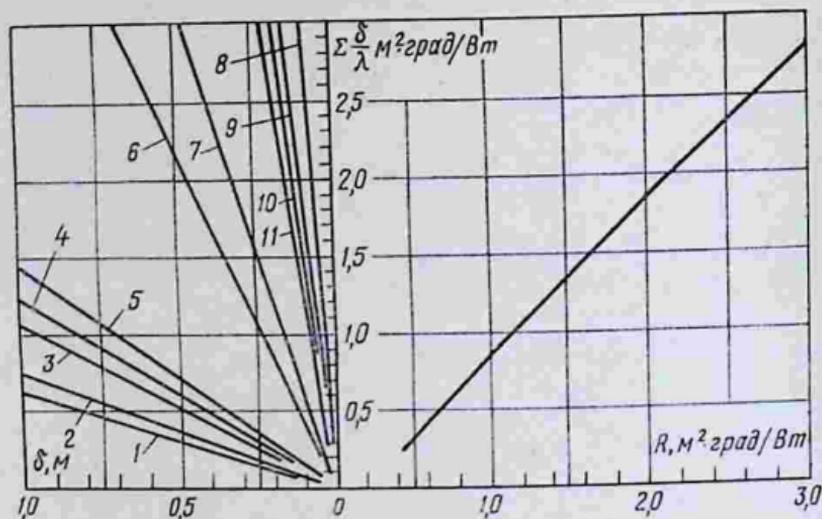


Рис. 7.2. Номограмма для определения толщины ограждения в зависимости от строительного материала (позиции соответствуют таблице 7.3).

вотноводческих помещений холодные ограждения. Это влечет за собой необходимость затраты энергии на подогрев вентиляционного воздуха, а также на создание систем отопления. Один из путей повышения теплозащитных свойств ограждения — применение конструкций, состоящих из двух и более слоев различного материала. Так, например, слой пенополиуретана толщиной 2 см эквивалентен по теплозащите кирпичной кладке толщиной 0,6 м.

Таблица 7.3

№ позиции в номограмме (рис. 7.2)	Наименование строительного теплозащитного материала	Коэффициент теплопроводности $\lambda$ , Вт/(м град)
1	Железобетон	1,55
2	Кладка бутовая	1,33
3	Глина	0,93
4	Кирпичная кладка	0,84
5	Шлакобетон	0,7
6	Шлак	0,23
7	Дерево (поперек волокон)	0,16
8	Пенополиуретан	0,025
9	Пробковая плита	0,045
10	Стеклянная вата	0,056
11	Древесный уголь	0,07

### 7.3. Методика расчета затрат на систему электротеплоснабжения (на примере молочных ферм КРС)

Для определения приведенных затрат на единицу (1 кВт·ч) электрической энергии, используемой на обогрев помещения, необходимо вычислить среднюю мощность обогрева помещения  $P_{\text{ср}}$ , максимальную мощность обогрева в наиболее холодный период года  $P_{\text{max}}$  и время отопительного периода  $\tau_{\text{н}}$ . Тепловая нагрузка на подогрев приточного воздуха  $P$  определяется из уравнения теплового баланса:

$$P = P_{\text{огр}} + P_{\text{у.в}} - P_{\text{ж}}, \quad (7.6)$$

где  $P_{\text{огр}}$  — поток теплоты через наружные ограждения;  $P_{\text{у.в}}$  — поток теплоты, удаляемой воздухом;  $P_{\text{ж}}$  — поток теплоты от животных.

Теплопоступления от животных определяют по формуле

$$P_{\text{ж}} = n q_{\text{ж}}(t_{\text{в}}), \quad (7.7)$$

где  $n$  — число животных в помещении;  $q_{\text{ж}}(t_{\text{в}})$  — поток теплоты от одного животного.

Значение  $q_{\text{ж}}$  зависит от температуры воздуха внутри помещения  $t_{\text{в}}$ .

При температуре  $t_{\text{н}} = 10^\circ\text{C}$  и влажности 75 %  $q_{\text{ж}} = 1,23$  кВт.

Поток теплоты через наружные ограждения (кВт)

$$P_{\text{огр}} = \left( \sum_i \frac{S_i}{R_i} \right) (t_{\text{в}} - t_{\text{н}}) \cdot 10^{-3}, \quad (7.8)$$

где  $S_i$  — площадь  $i$ -го ограждения,  $\text{м}^2$ ;  $R_i$  — тепловое сопротивление  $i$ -го ограждения,  $\text{м}^2 \cdot \text{град}/\text{Вт}$ ;  $t_{\text{н}}$  — температура наружного воздуха,  $^\circ\text{C}$ .

Теплопотери с удаляемым воздухом складываются из свободной теплоты, обусловленной разностью температуры внутреннего и наружного воздуха, и скрытой теплоты парообразования, которая связана с водяными парами, удаляемыми из помещения:

$$P_{\text{у.в}} = \frac{1}{3600} G [C(t_{\text{в}} - t_{\text{н}}) + \gamma(d_{\text{в}} - d_{\text{н}})], \quad (7.9)$$

где  $G$  — воздухообмен,  $\text{кг}/\text{ч}$ ;  $C$  — теплоемкость воздуха,  $C = 1$   $\text{кДж}/(\text{кг} \cdot \text{град})$ ;  $d$  — влагосодержание воздуха,  $\text{кг}/\text{кг}$ ;  $\gamma$  — теплота парообразования,  $\gamma = 2500$   $\text{кДж}/\text{кг}$ .

Воздухообмен  $G$  в помещениях, содержащих крупный рогатый скот, определяют с учетом требования удаления из помещений избыточной влаги:

$$G_{H_2O} = \frac{k_G n \omega_{ж}(t_B)}{d_B - d_H}, \quad (7.10)$$

где  $\omega_{ж}(t_B)$  — количество водяных паров, выделяемых одним животным; при  $t_B = 10^\circ\text{C}$   $\omega_{ж} = 507$  кг/ч;  $k_G$  — поправочный множитель для учета испарения влаги со смоченных поверхностей.

В итоге получим:

$$\begin{aligned} P_{y.B} &= \frac{1}{3600} \cdot \frac{k_G n \omega_{ж}(t_B)}{d_B - d_H} \cdot [C(t_B - t_H) + \gamma(d_B - d_H)] = \\ &= 0,306n \frac{\omega_{ж}(t_B)}{d_B - d_H} (t_B - t_H) + 0,764n \omega_{ж}(t_B). \end{aligned} \quad (7.11)$$

Из формул (7.6) ... (7.11) нетрудно получить общее выражение для мощности тепловой нагрузки на подогрев:

$$\begin{aligned} P &= (t_B - t_H) \left[ \sum_i \frac{S_i}{R_i} \cdot 10^{-3} + 0,306 \frac{n \omega_{ж}(t_B)}{d_B - d_H} \right] + \\ &+ 0,764n \omega_{ж}(t_B) - n q_{ж}(t_B). \end{aligned} \quad (7.12)$$

При расчете вентиляции удобно воздухообмен  $G_{H_2O}$  разбить на две составляющие: принудительный воздухообмен  $G_B$  и воздухообмен за счет инфильтрации  $G_{инф}$ :

$$G_{H_2O} = G_B + G_{инф}; \quad P_{y.B} = P_B + P_{инф}, \quad (7.13)$$

где  $G_{инф} = \sum_i (\alpha_i j l_i)$ ;  $j$  — расход воздуха, проникающего в помещение через 1 м щели, кг/ч;  $\alpha_i$  — поправочный коэффициент (для двойных металлических переплетов  $\alpha = 0,55$ , для двойных деревянных переплетов  $\alpha = 0,6$ , для деревянных ворот и дверей  $\alpha = 2$ );  $l_i$  — длина щелей  $i$ -го вида, м.

В зависимости от скорости ветра  $j$  принимает следующие значения:

Скорость ветра, м/с	1	2	3	4	5
Значение $j$ при ширине щели 1,5 мм для деревянных переплетов, кг/ч	5,6	9,1	11,2	12,5	17,5

Поскольку воздух, подаваемый в помещение при вентиляции, должен быть нагрет до определенной температуры  $t_{пр}$ , то часть нагревающего помещения тепла

поступает при вентиляции. Эта часть (вычитаемая из  $P_v$ ) при  $C=1$  кДж/(кг·град) равна:

$$P_v^* = \frac{1}{3600} G_v C (t_{np} - t_n). \quad (7.14)$$

Для дальнейшего вычисления средних мощностей отопления  $P_{от} = P - P_v^*$  и подогрева вентилируемого воздуха  $P_v^*$  будем считать, что распределение температуры в течение года описывается следующей функцией:

$$W(t) = \frac{1}{2} \left[ 1 + th \left( \frac{t - t_{cp}}{\Delta t} \right) \right]; \quad (7.15)$$

где  $W(t)$  — вероятность того, что температура вне помещения окажется меньше  $t$ ;  $t_{cp}$  — средняя за год температура в данном районе;  $\Delta t$  — характерный разброс температуры в течение года.

Вероятность обнаружить температуру в интервале  $(t \dots t + dt)$  определяется с помощью функции  $w(t)$ , которая называется плотностью вероятности. Эта вероятность равна  $w(t) \cdot dt$ . Функция плотности вероятности есть производная от функции  $W(t)$ :

$$w(t) = \frac{dW}{dt} = \frac{1}{2} \left[ 1 - th^2 \left( \frac{t - t_{cp}}{\Delta t} \right) \right] \cdot \frac{1}{\Delta t}$$

По формуле (7.12), полагая  $P=0$ , вычислим наружную температуру, при которой необходимо включать систему отопления:

$$t_k = t_n + \frac{0,764 \omega_n(t_n) - q_k(t_n)}{\frac{1}{n} \sum_i \frac{S_i}{R_i} \cdot 10^{-3} + 0,306 \frac{\omega_n(t_n)}{d_n - d_n}}$$

Используя полученные формулы, приходим к следующим выражениям для величин  $P_v^*$  и  $P$ :

$$P_v^* = \frac{1}{3600} (G_{H_2O} - G_{инф}) C (t_{np} - t_n) = 0,306n$$

$$\frac{\omega_n(t_n)}{d_n - d_n} (t_{np} - t_n) - \frac{1}{3600} G_{инф} C (t_{np} - t_n);$$

$$P = 0,306n \frac{\omega_n(t_n)}{d_n - d_n} (t_k - t_n) + \sum_i \frac{S_i}{R_i} \cdot 10^{-3} (t_k - t_n), \quad (7.16)$$

где

$$t_k = t_n - \frac{q_k(t_n) - 0,764 \omega_n(t_n)}{\frac{1}{n} \sum_i \frac{S_i}{R_i} \cdot 10^{-3} + 0,306 \frac{\omega_n(t_n)}{d_n - d_n}}$$

Дальнейший расчет является самосогласованным лишь в том случае, если  $t_k > t_{пр}$ . В противном случае температура  $t_v$  поднимется выше нормы. Будем считать поэтому  $t_k > t_{пр}$ . Вводя функцию

$$F_{ср}(t) = \int_{\infty-}^t t\omega(t) dt = t_{ср}\omega(t) + \frac{1}{2} \times \\ \times \left[ (t-t_{ср}) \operatorname{th}(t-t_{ср}) - \Delta t \ln \left( 2 \operatorname{ch} \frac{t-t_{ср}}{\Delta t} \right) \right];$$

можно найти  $\bar{P}'_v$  и  $\bar{P}$ :

$$\bar{P}'_v = \left[ 0,306n \frac{\omega_m(t_v)}{d_v-d_n} - \frac{1}{3600} G_{шф} C \right] \times \\ \times [t_{пр} W(t_{пр}) - F_{ср}(t_{пр})]; \quad (7.17)$$

$$\bar{P} = \left[ 0,306n \frac{\omega_m(t_v)}{d_v-d_n} + \sum_i \frac{S_i}{R_i} \cdot 10^{-3} \right] [t_k W(t_k) - F_{ср}(t_k)].$$

Максимальные значения  $P'_{v \max}$  и  $P_{\max}$  получаются из формулы (7.16) при  $t_n = t_{рас} = -26^\circ \text{C}$  (имеется в виду  $t_{рас}$  для Московской области).

Поскольку теплопотери через ограждения  $P_{огр}$ , согласно формуле (7.8), пропорциональны площади помещения, а при увеличении поголовья скота площадь растет, как  $S_{побр} \propto n$ ,  $S_{бок} \propto n^{1/2}$ , где  $n$  — число животных, то, как видно из определения  $t_k$ , при увеличении  $n$  температура  $t_k$  меняется от значения  $t_v$  до  $t_{k \min}$ :

$$t_{k \min} = t_v - \frac{q_m(t_v) - 0,764\omega_m(t_v)}{\frac{1}{n} \cdot \frac{S_{побр}}{R_{побр}} \cdot 10^{-3} + 0,306 \frac{\omega_m(t_v)}{d_v-d_n}}.$$

Качественный ход этой зависимости показан на рисунке 7.3, а.

Из формул (7.17) можно проследить, как изменяются средние мощности  $\bar{P}'_v$  и  $\bar{P}$  при изменении  $n$ . Полагая

$$G_{шф} \propto n^{1/2}, \quad t_k W(t_k) - F_{ср}(t_k) \approx W(t_k) \Delta t, \quad t_{пр} W(t_{пр}) - \\ - F_{ср}(t_{пр}) \approx W(t_{пр}) \Delta t,$$

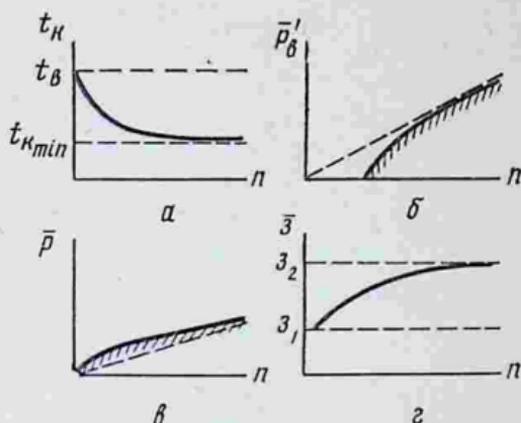


Рис. 7.3. Качественная зависимость  $t_{k \min}$ ,  $P'_n$ ,  $P$  и  $Z$  от числа животных  $n$ .

получим качественную зависимость, представленную на рисунке 7.3,б. Линейный ход зависимости описывается выражением

$$\bar{P}'_{n,л} = 0,306n \frac{\omega_n(t_n)}{d_n - d_{n'}} W(t_{np}) \Delta t.$$

Аналогичную зависимость получаем для величины  $\bar{P}$  (рис. 7.3,в):

$$\bar{P}_n = 0,306n \frac{\omega_n(t_n)}{d_n - d_{n'}} W(t_{k \min}) \Delta t.$$

Затраты на единицу электроэнергии получаются по следующим формулам (где  $P'_n$  обозначено через  $P_n$ ):

$$Z_{P_n} = A_{P_n} + B_{P_n} \cdot \frac{P_{n \max}}{P_n};$$

$$Z_{P-P_n} = A_{P-P_n} + B_{P-P_n} \cdot \frac{P_{\max} - P_{n \max}}{\bar{P} - P_n}. \quad (7.18)$$

Средние затраты на единицу электроэнергии вычисляют из формулы (7.18) с учетом полного количества теплоты, расходуемой каждой установкой:

$$Z = Z_{P_n} \frac{\bar{P}_n}{\bar{P}} + Z_{P-P_n} \frac{\bar{P} - \bar{P}_n}{\bar{P}} = A_{P_n} \frac{\bar{P}_n}{\bar{P}} + B_{P_n} \frac{P_{n \max}}{\bar{P}} +$$

$$+ A_{P-P_n} \frac{\bar{P} - \bar{P}_n}{\bar{P}} + B_{P-P_n} \frac{P_{\max} - P_{n \max}}{\bar{P}}. \quad (7.19)$$

При электрообогреве коэффициенты  $A$  и  $B$  в формулах (7.18) и (7.19) мало зависят от объема помещения, то есть от поголовья скота  $n$ . Поэтому вся зависимость от  $n$  заложена в величинах  $P$  и  $P_n$ . Качественно ход этой зависимости можно получить из рисунка 7.3, б, в и формулы (7.19). При этом  $P_n \ll P$  (рис. 7.3, з).

На рисунке

$$Z_1 = A_{P-P_n} + B_{P-P_n} \frac{P_{\max}}{P};$$

$$Z_2 = Z_1 + A_P \frac{\bar{P}_n}{P} + B_P \frac{P_{\max}}{P}.$$

В результате проведенных расчетов мы получаем выражение для стоимости 1 кВт·ч электроэнергии, идущей на обогрев помещения.

Алгоритм расчета стоимости приведенных затрат на обогрев помещений включает в себя следующие формулы:

$$1) \quad t_K = t_n - \frac{q_n(t_n) - 0,764 w_n(t_n)}{\frac{1}{n} \sum_i \frac{S_i}{R_i} \cdot 10^{-3} + 0,306 \frac{w_n(t_n)}{d_n - d_n}}$$

$$(\text{обозначим } k = \sum_i \frac{S_i}{R_i} \cdot 10^{-3});$$

$$2) \quad W(t) = \frac{1}{2} \left[ 1 + \text{th} \left( \frac{t - t_{cp}}{\Delta t} \right) \right];$$

$$3) \quad F_{cp}(t) = t_{cp} W(t) + \frac{1}{2} \left[ (t - t_{cp}) \text{th} \left( \frac{t - t_{cp}}{\Delta t} \right) - \Delta t \cdot \ln \left( 2 \text{ch} \frac{t - t_{cp}}{\Delta t} \right) \right];$$

$$4) \quad P_{\max} = \left[ 0,306 n \frac{w_n(t_n)}{d_n - d_n} - \frac{1}{3600} G_{\text{инф}} C \right] (t_{np} - t_{рас});$$

$$5) \quad \bar{P}_n = \left[ 0,306 n \frac{w_n(t_n)}{d_n - d_n} - \frac{1}{3600} G_{\text{инф}} C \right] \times \\ \times [W(t_{np}) t_{np} - F_{cp}(t_{np})];$$

$$6) \quad P_{\max} = \left[ 0,306 n \frac{w_n(t_n)}{d_n - d_n} + k \right] \cdot (t_K - t_{рас});$$

$$7) \quad \bar{P} = \left[ 0,306 n \frac{w_n(t_n)}{d_n - d_n} + k \right] [W(t_K) t_K - F_{cp}(t_K)];$$

$$8) \bar{Z} = A_{P_n} \cdot \frac{\bar{P}_n}{P} + B \frac{P_{n, \max}}{P} + \\ + A_{P-P_n} \frac{\bar{P} - \bar{P}_n}{P} + B_{P-P_n} \frac{P_{\max} - P_{n, \max}}{P};$$

Рассматривая как переменные величины  $t_v$ ,  $n$ ,  $\bar{S}_i$ ,  $R_i$ ,  $t_{cp}$ ,  $\Delta t$ ,  $G_{\text{пиф}}$ ,  $A_{P_n}$ ,  $B_{P_n}$ ,  $A_{P-P_n}$ ,  $B_{P-P_n}$ , по формулам (7.6...7.13) можно вычислить приведенные затраты  $\bar{Z}$ .

На основании этой последовательности формул составляется программа для ЭВМ.

#### 7.4. Оценка резервов экономии энергии на фильтрацию и тепловые шунты (на примере теплиц)

В процессе эксплуатации для поддержания требуемой температуры воздуха и почвы в теплице необходим обогрев для компенсации теплопотерь через ограждение, обогрев почвы и инфильтрирующегося воздуха. Конструкция ограждения теплиц предусматривает шпросы — детали, на которых расположены стекла. Шпросы изготовлены из металла и могут иметь различную конфигурацию. При этом нижняя часть шпроса, на которую опирается стекло, находится внутри теплицы, а верхняя — вне ее. Таким образом, шпросы из-за высокого коэффициента теплопроводности (в 70...100 раз больше, чем у стекла) и своего расположения являются тепловым шунтом.

Теплопотери через ограждения и затраты тепла на обогрев почвы теплицы достаточно изучены. Роль же тепловых шунтов и фильтрации в процессе теплообмена в системе теплица — наружный воздух выявлена недостаточно четко.

При закрытой системе вентиляции воздухообмен в теплице происходит за счет фильтрации через неплотности между стеклом и шпросами, стыки стекол, притворы вентиляционных фрагм и т. д. Фильтрация обуславливается действиями в основном ветрового и гравитационного напора.

Для блочных зимних теплиц количество фильтрующегося воздуха можно выразить следующим эмпирическим соотношением:

$$G_n = (1,7v^{0,84} + 2,87), \quad (7.20)$$

где  $G_v$  — количество воздуха, фильтрующегося за 1 ч, отнесенное к единице площади теплицы, то есть удельное значение,  $\text{м}^3/(\text{ч}\cdot\text{м}^2)$ ;  $v$  — скорость ветра,  $\text{м}/\text{с}$ .

Нелинейность зависимости объясняется увеличением аэродинамического сопротивления щелей с возрастанием скорости ветра. Количество теплоты, затрачиваемой на нагрев фильтрующегося воздуха, определяется по формуле

$$Q = C\rho G_v(t_v - t_n)F, \quad (7.21)$$

где  $C$  — теплоемкость воздуха,  $\text{кДж}/(\text{кг}\cdot\text{град})$ ;  $\rho$  — плотность воздуха,  $\text{кг}/\text{м}^3$ ;  $t_v$  и  $t_n$  — температура воздуха внутри и вне теплицы,  $^\circ\text{C}$ ;  $F$  — площадь теплицы,  $\text{м}^2$ .

Для центральных районов страны  $Q$  составляет 30 % общих теплопотерь теплицы.

Теплота солнечной радиации, поступающая в теплицу, обеспечивает повышение температуры воздуха, а значит, и экономию топлива. Назовем это повышение солнечной температурой  $t_c$ . Ее значение зависит не только от солнечной радиации, но и от кратности воздухообмена в теплице, то есть в отопительный период от фильтрации. Многолетние наблюдения показывают, что в среднем лишь 10 % солнечной радиации на открытом участке затрачивается на нагрев (косвенным путем) воздуха в остекленной блочной теплице. Назовем это значение коэффициентом использования теплоты солнечной радиации относительно нагрева воздуха теплицы и обозначим  $\eta$ . Угол наклона кровли в существующих зимних теплицах отличается незначительно. В течение же дня  $\eta$  изменяется. Но учитывая, что в расчетах удобнее оперировать постоянными средними значениями радиации вне теплицы (суточными, за месяц, за год), значение коэффициента использования теплоты солнечной радиации принято нами постоянным ( $\eta = 0,1$ ).

Формула для расчета солнечной температуры имеет следующий вид:

$$t_c = 0,27 \cdot \frac{q_p}{1,7v^{0,85} + 2,87}, \quad (7.22)$$

где  $q_p$  — количество теплоты, поступающей от суммарной солнечной радиации на горизонтальную поверхность,  $\text{Вт}/\text{м}^2$ .

Для удобства расчета на рисунке 7.4 приведена номограмма, в первом квадранте которой отражена зависимость кратности воздухообмена от скорости ветра.

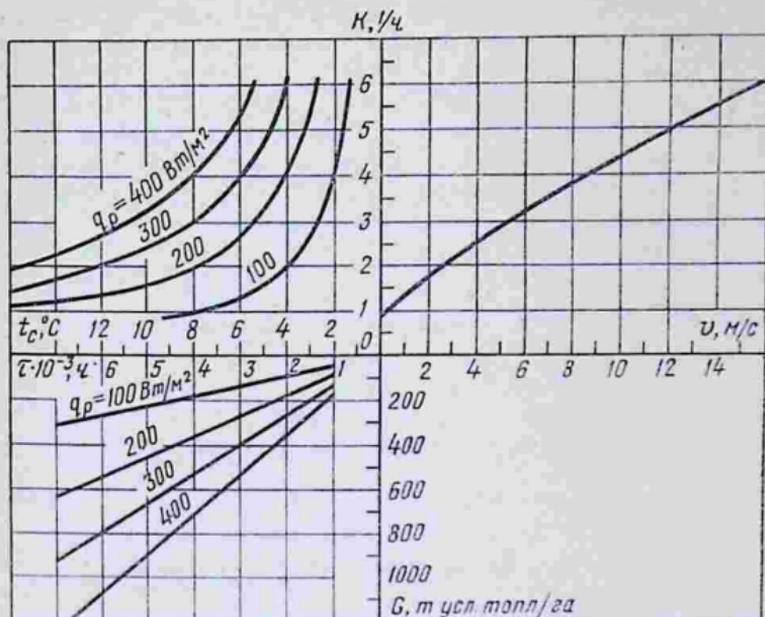


Рис. 7.4. Номограмма для определения кратности воздухообмена, солнечной температуры и эквивалентного расхода топлива в зависимости от скорости ветра и солнечной радиации.

Второй квадрант позволяет получить значение солнечной температуры в зависимости от радиации и кратности воздухообмена в теплице. Кратность воздухообмена можем принимать не только для закрытой теплицы, но и для режимов работы зимних теплиц с частично открытыми вентиляционными фрамугами, например, с целью снижения влажности воздуха.

Оценку теплопотерь через тепловые шунты (шпросы) выполняем на основании решения задачи теплопроводности с граничными условиями третьего рода, представив шпросы как две тонкостенные трубы диаметром  $R_1$  и  $R_2$ , соединенные металлической перемычкой высотой  $h$  и толщиной  $\delta$ . При этом труба большего диаметра ( $R_1$ ) находится внутри теплицы, а перемычка по высоте теплоизолирована.

С учетом квазистационарного теплового режима и

балансовых уравнений по теплу выражение теплопотери имеет следующий вид:

$$Q_{\text{ш}} = 2\pi R_2 \alpha_2 (t_2 - t_{\text{ш}}) L, \quad (7.23)$$

где  $\alpha_2$  — коэффициент теплоотдачи к наружному воздуху, Вт/(м<sup>2</sup>·град);  $t_2$  — температура поверхности части шпроса, расположенной вне теплицы, °С;  $L$  — общая длина шпросов, м.

Выражение температуры поверхности ( $t_2$ ) наружной части шпроса (цилиндра) имеет вид:

$$t_2 = \frac{2\pi R_1 \alpha_1 t_{\text{ш}} \frac{\lambda_{\text{ш}}}{h} \delta + 4\pi^2 R_1 \alpha_1 R_2 \alpha_2 t_{\text{ш}} + 2\pi R_2 \alpha_2 t_{\text{ш}} \frac{\lambda_{\text{ш}}}{h} \delta}{2\pi R_2 \alpha_2 \frac{\lambda_{\text{ш}}}{h} \delta + 4\pi^2 R_1 \alpha_1 R_2 \alpha_2 + 2\pi R_1 \alpha_1 \frac{\lambda_{\text{ш}}}{h} \delta}, \quad (7.24)$$

где  $\alpha_1$  — коэффициент теплоотдачи от воздуха теплицы к теплому шунту, Вт/(м<sup>2</sup>·град);  $\lambda_{\text{ш}}$  — теплопроводность шунта, Вт/(м·град).

Конвективные коэффициенты теплоотдачи  $\alpha_1$  и  $\alpha_2$  определяем соответственно из критериальных уравнений:

$$Nu = 0,54 (Gr \cdot Pr)^{0,25};$$

$$Nu = 0,021 Re_{\text{ш}}^{0,8} \cdot Pr_{\text{ш}}^{0,43} (Pr_{\text{ш}}/Pr_{\text{ст}})^{0,25}, \quad (7.25)$$

где  $Nu$ ,  $Gr$ ,  $Pr$ ,  $Re$  — критерии Нуссельта, Грасгофа, Прандтля и Рейнольдса.

Например, для теплиц по типовому проекту № 810-99, где  $R_1 = 0,012$  м,  $R_2 = 0,005$  м,  $\lambda_{\text{ш}} = 43,2$  Вт/(м·град),  $h = 0,01$  м и  $\delta = 0,002$  м, значения коэффициентов теплоотдачи составляют 7,85 и 28 Вт/(м<sup>2</sup>·град).

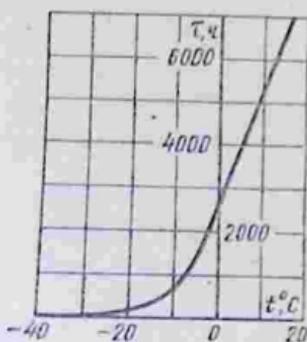


Рис. 7.5. Интегральная кривая температур для Московской области.

Для определения расхода энергии и топлива за весь период эксплуатации необходимо часовые значения теплопотери в соответствии с формулами (7.21) и (7.23) умножить на число часов работы системы отопления. Для этого необходимо найти среднее время  $\tau$  работы систем отопления и значение расчетной средней температуры наружного воздуха  $t_{\text{нар.ср}}$ . Аппроксимируем функцию распределения температур. На рисунке 7.5 представлен график распределения температуры для Московской области. По оси абс-

цисс отложены значения температуры  $t$ , а по оси ординат — время за год  $\tau$ , в течение которого температура воздуха не превосходит заданное значение  $t$ . Эту функцию, деленную на число часов в году, обозначим  $W(t)$ . Вид этой функции для различных климатических районов страны аналогичен. Ее можно охарактеризовать двумя параметрами: средней температурой в данном районе за год и среднеквадратичным отклонением температуры от средней (дисперсией). Учитывая предельные характеристики этой функции, для расчетов ее аппроксимировали ранее аналитической функцией (7.15).

Исходя из формулы (7.15), находим  $\tau$ :

$$\tau = 8760W(t) = 4380 \left[ 1 + \operatorname{th} \left( \frac{t_n - t_{\text{ср.г}}}{\Delta t} \right) \right], \quad (7.26)$$

где  $t_n$  — температура воздуха вне теплицы, при которой необходимо включить систему отопления.

Для определения  $t_n$  необходимо учесть влияние солнечной радиации на температуру воздуха в теплице. Воздух в теплице прозрачен для солнечной радиации. Однако в результате аккумуляции тепла солнечной радиации почвой и элементами конструкции теплиц температура их повышается и за счет естественной конвекции повышается также температура воздуха в теплице. Поэтому

$$t_n = t_n - t_c \quad (7.27)$$

где  $t_n$  — температура воздуха в теплице в соответствии с агротехническими требованиями, °С.

Солнечную температуру  $t_c$  определяем по формуле (7.22).

Чтобы получить формулу для определения средней расчетной температуры наружного воздуха, необходимо перейти от функции  $W(t)$  к плотности вероятности распределения температуры. Она определяется как производная функции  $W(t)$ . Выражение расчетной средней температуры наружного воздуха будет иметь вид:

$$t_{n,\text{ср}} = t_{\text{ср.г}} \frac{(t_n - t_{\text{ср.г}}) \operatorname{th} \left( \frac{t_n - t_{\text{ср.г}}}{\Delta t} \right) - \Delta t \cdot \ln \left[ 2 \operatorname{ch} \left( \frac{t_n - t_{\text{ср.г}}}{\Delta t} \right) \right]}{1 + \operatorname{th} \left( \frac{t_n - t_{\text{ср.г}}}{\Delta t} \right)} \quad (7.28)$$

В качестве примера в таблице 7.4 отражены составляющие расхода энергии на теплопотери и нагрев почвы в зимних блочных теплицах по типовому проекту № 810-99 (для Подмосквья). Поскольку нами поставлена одна из задач — определить расход энергии и топлива, то температуру воздуха внутри теплицы принимаем как средневзвешенную за период эксплуатации для культурооборота, рекомендуемого нормами технологического проектирования теплиц и тепличных комбинатов для выращивания овощей и рассады в третьей световой зоне, к которой относится Москва. Значение этой температуры составляет 19,7 °С. Метеорологические условия приняты по данным СНиПа. Коэффициент полезного действия котельной, как показывает анализ работы передовых тепличных комбинатов, в среднем составляет 0,75.

Таблица 7.4

Пути расхода тепловой энергии	Удельная мощность, Вт/м <sup>2</sup>	Удельный расход энергии, кВт·ч/м <sup>2</sup>	Расход топлива на 1 га теплицы, т усл. топл.	Доля в % от суммарного расхода
Инфильтрация	76,32	479,36	785,24	29,5
Тепловые шунты (шпросы)	16,65	104,6	171,33	6,43
Кровля	114,45	718,9	1177,33	44,17
Вертикальное ограждение	20,1	126,25	206,67	7,75
Цоколь (железобетонные плиты)	5,57	35,0	57,33	2,15
Обогрев почвы теплицы	26	163,3	267,51	10,00
Суммарное значение	259,09	1627,41	2665,41	100

Таким образом, наибольшие теплопотери приходятся на кровлю теплицы и нагрев фильтрующегося воздуха. Снизить теплопотери через ограждение можно, увеличив его термическое сопротивление. Осуществить это можно путем тепловых трансформирующихся экранов,

полимерных штор, двойного остекления. При разработке мероприятий, направленных на увеличение термического сопротивления ограждения, необходимо стремиться к минимальному снижению освещенности в теплице. Тщательная промазка теплиц обеспечит экономию тепла на нагрев фильтрующегося в теплицу воздуха. Для герметизации теплиц и теплоизоляции шпоров (тепловых шунтов) перспективно применение пенополиуретана, который обеспечит экономию топлива на обогрев теплиц до 25 %, что для центральных районов страны составляет в среднем 600...700 т усл. топл. на 1 га теплиц.

#### **7.5. Оценка перспектив применения нетрадиционных источников теплоты в системах отопления сельскохозяйственных помещений**

К нетрадиционным источникам теплоты относятся вторичные энергетические ресурсы (ВЭР). К общим требованиям к ВЭР, обуславливающим эффективность их использования в сельскохозяйственных сооружениях, относятся: достаточная массовая концентрация теплоносителя, непрерывность его поступления, хотя допустимо и периодическое при наличии аккумуляторов теплоты, необходимый температурный уровень теплоносителя в зависимости от его типа. Кроме этого, обязательное условие высокой эффективности использования ВЭР — близость их расположения к сельскохозяйственным сооружениям. Следует учесть, что эффективность использования ВЭР определяется не только экономией топлива, но и снижением удельных капитальных затрат. Например, удельные капиталовложения в установку, использующие тепловые вторичные энергоресурсы, на 1 т сэкономленного условного топлива на 10...20 р. меньше, чем удельные капиталовложения в добычу и транспортировку топлива.

Одним из самых мощных и интересных в научном и практическом плане возобновляемых источников энергии является теплота солнечной радиации. Энергия солнца как источник теплоснабжения характеризуется низкой плотностью, непостоянством во времени суток и года, колебаниями ее значения в связи с погодными условиями. Поэтому для утилизации теплоты солнечной радиации необходимо собирать ее с достаточно большой

площади, а также предусматривать в системах теплоснабжения различные аккумуляторы. В поисках эффективных способов и разработке рациональных устройств и средств утилизации энергии солнечной радиации необходимо учитывать специфику сельскохозяйственных сооружений и технологических процессов. Это необходимое условие общей экономической эффективности инженерных разработок. Особенно перспективно использовать солнечную радиацию в сооружениях защищенного грунта, так как они, по существу, представляют собой аккумуляторы.

Геотермальные воды как теплоноситель, используемый в системах обогрева сельскохозяйственных сооружений, можно условно подразделить на низко-, средне- и высокопотенциальные с температурой соответственно до 50, 70, 100°C. В зависимости от содержания солей их относят к пресным (до 1 г/л), минерализованным (1...4 г/л), сильно минерализованным (4...10 г/л), полурассольным (10...50 г/л) и рассольным (свыше 50 г/л).

По кислотности термальные воды делят на щелочные, нейтральные и кислые. Наиболее распространены воды со щелочной реакцией или нейтральные. Таким образом, качественно как теплоноситель геотермальные воды существенно уступают традиционному теплоносителю — нагретой обыкновенной воде. Оценивая экономическую эффективность использования геотермальных вод при отоплении сельскохозяйственных производственных сооружений, необходимо учитывать, что капитальные вложения возрастают в результате бурения скважин, строительства сборных и водоподающих сетей. Основной путь обеспечения высокой экономической эффективности отопления сооружений термальными водами — максимальное срабатывание теплового потенциала и полное использование дебита скважин в течение года.

При использовании геотермальных вод в сельскохозяйственных сооружениях рекомендуются различные схемы теплоснабжения в зависимости от минерализации и температуры воды.

1. Подача термальных вод непосредственно в систему отопления. Вода может подаваться без подогрева и с аварийным (пиковым) подогревом. Однако не всякую воду можно подогревать, так как растворенные в ней соли при нагревании выпадают в осадок в виде шлака

и накипи. Подогревать воду рекомендуется в пароводяных теплообменниках.

2. Система отопления сельскохозяйственных сооружений с применением теплового насоса. Источником теплоты при этой системе служит низкотемпературная геотермальная вода месторождения с ограниченными ресурсами, сравнительно высокой стоимостью добычи и транспортировки. При этом в летнее время целесообразно использовать холодильную машину не только для снижения температуры воздуха в сооружении, но и для обеспечения оптимального режима в хранилищах и холодильных камерах, являющихся неотъемлемой частью современных сельскохозяйственных производственных комплексов.

Наиболее приемлемые схемы систем отопления сооружений геотермальными водами с применением тепловых насосов показаны на рисунке 7.6, а, б. В первой из них предусматривается возможность одновременного использования пикового догрева и тепловых насосов. Вторая схема характерна обеспечением работы теплового насоса на геотермальных водах после системы отопления сооружения или с использованием их до нее, а также на смешанном теплоносителе. В последнем случае часть геотермальной воды в тепловые насосы поступает после сооружений, а остальная — от скважин. Режим работы такой системы определяется не только тепловым потенциалом геотермальной воды, но и технологическими требованиями к температуре и влажности воздуха в сооружении в конкретный период эксплуатации. Схема в характерна для отопления теплиц с тепловым насосом. Особенность ее заключается в возможности расширения обогреваемой площади тепличного комбината при одном и том же дебите скважины с учетом различных культурооборотов в отдельных блоках теплиц. Эта схема достаточно гибкая и позволяет обеспечить оптимальный микроклимат в теплицах при условии рациональной утилизации теплоты геотермальных вод от скважины со сравнительно небольшим дебитом.

3. Комбинированные водо-воздушные системы отопления сельскохозяйственных производственных сооружений. Эти системы бывают двух видов. В первом используются только термальные воды, которые предварительно подогревают при недостаточной их температу-

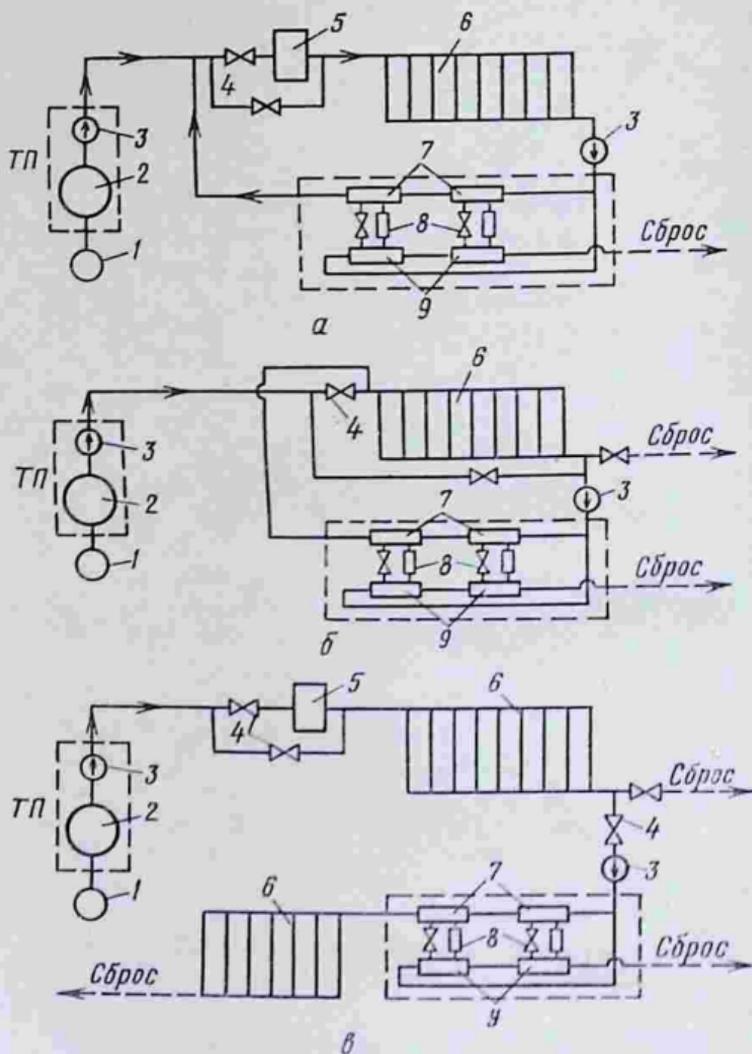


Рис. 7.6. Система отопления с тепловыми насосами:

1 — геотермальная скважина; 2 — сборные емкости; 3 — насос; 4 — задвижки; 5 — пиковая котельная; 6 — нагревательные приборы; 7 — конденсаторы; 8 — компрессор; 9 — испарители.

ре; затем они поступают в систему водяного отопления, и калориферы воздушного обогрева. После этого геотермальная вода поступает в калориферы первого подогрева и сбрасывается.

Особенность второй системы заключается в том, что в ней основная часть тепловой нагрузки в холодный период года рассчитана на термальные воды, а пик нагрузки — на обычную систему воздушного отопления.

Комбинированные системы обеспечивают наиболее эффективную отдачу теплового потенциала геотермальных вод и качественный микроклимат в сооружении.

**4. Использование геотермальной воды высокой минерализации.** При минерализации геотермальной воды свыше 8...10 г/л в традиционных нагревательных приборах ее практически невозможно использовать из-за отложений солей и коррозии. Поэтому для утилизации теплоты геотермальных вод высокой минерализации рекомендуются различные теплообменники, например центробежные контактные, рекуперативные аппараты, пленочные теплообменники и т. д. В системе отопления можно применять стеклянные трубы, не поддающиеся коррозии и легко отмываемые от различных отложений солей. В такой системе отопления исключаются теплообменники и геотермальная вода высокой минерализации подается непосредственно в нагревательные приборы из стекла или полимерных материалов.

Для утилизации физической теплоты ВЭР используют различные агрегаты, которые можно подразделить на две группы в зависимости от получаемого теплоносителя — вода (пар) или нагретый воздух. Такое условное подразделение объясняется тем, что получаемый теплоноситель определяет схему и конструктивное исполнение систем отопления сооружений. К первой группе относим различные котлы-утилизаторы и водоподогреватели, а ко второй группе — калориферы-утилизаторы. Для некоторых видов ВЭР, параметры которых близки к параметрам традиционных теплоносителей, не обязательно применять агрегаты-утилизаторы в системах теплоснабжения сельскохозяйственных сооружений. В этих случаях в системах отопления используют обычные нагревательные приборы и калориферы.

Использование в сельскохозяйственных производственных сооружениях нетрадиционных источников теплоты, в том числе и солнечной энергии, обеспечит высокую экономическую эффективность при условии решения двух проблем: снижении капитальных затрат на систему теплоснабжения и обеспечении качественного микроклимата в сооружении в соответствии с требованиями технологического процесса производства сельскохозяйственной продукции. В настоящее время разработку сооружений и систем отопления защищенного грунта ведут, как правило, независимо друг от друга. Причем вначале выдают решения конструкций сооружения, а затем к ним «привязывают» систему отопления. При разработке конструкций сооружений необходимо максимально учитывать особенности источника и теплоносителя.

### 8.1. Общие требования и методы формирования энергетической службы в хозяйствах

С развитием электрификации сельского хозяйства резко возрастает потребность в специалистах по обслуживанию и ремонту силового электрооборудования, приборов и средств автоматизации. Как показывает существующая практика, загрузка этих специалистов по основной профессии крайне низкая и в отдельных случаях даже при рациональном варианте организации электрослужбы составляет 15...41% времени смены. Поэтому в тех хозяйствах, где не применяется совмещение профессий, электрики имеют большой резерв рабочего времени.

С целью повышения загрузки электриков разрабатываются и реализуются различные организационные и технические мероприятия. К организационным относятся совмещение профессий, оптимизация численного и профессионального состава электрослужбы. К техническим — создание пунктов технического обслуживания (ПТО), разработка мобильных специализированных средств доставки бригады электриков, запасных узлов и деталей на обслуживаемые объекты.

Одно из эффективных мероприятий, позволяющих повысить загрузку электриков по основной профессии и сократить потери из-за перерывов в технологических процессах вследствие неисправности оборудования, — выбор рациональных методов обслуживания и ремонта.

Согласно ГОСТу 18322—78, обслуживание и ремонт технических средств может выполнять персонал энергетической службы хозяйства (централизованное), персонал отдельных подразделений этой службы (децентрализованное), организация, специализированная на операциях технического обслуживания и ремонта.

Эффективность применения тех или иных методов обслуживания и ремонта зависит от многих факторов:

от объема выполняемых работ, наличия квалифицированных специалистов, технических средств, запасных узлов, деталей, материалов. Эти и другие факторы трудно учесть при выборе метода обслуживания и ремонта на основе существующих методик, так как сбор и обработка данных по электрохозяйству требуют больших затрат времени. Кроме того, эти методики не учитывают радиус обслуживания, загрузку электриков, простои оборудования при обслуживании, ремонте, отказах и ряд других факторов, носящих случайный характер.

В то же время действующие методы определения числа электриков основываются на предположении, что техническое обслуживание и текущий ремонт необходимо выполнять в строго заданные сроки по заранее установленному графику. Однако соблюдение этого графика в животноводстве и других отраслях сельскохозяйственного производства часто связано с нарушением производственных процессов и большим ущербом. Использовать технологические перерывы для обслуживания и ремонта электрооборудования не всегда возможно, поскольку их продолжительность часто меньше той, которая требуется для выполнения указанных работ. Кроме того, в данном случае на короткое время необходимо привлекать большое число квалифицированных рабочих. Следовательно, возникает противоречие: с одной стороны, хозяйства несут убытки из-за отказов электрооборудования, а с другой, они не могут организовать его своевременное обслуживание и ремонт из-за больших ущербов, наносимых приостановкой технологических процессов на время обслуживания.

Таким образом, четко соблюдать график можно только при полном дублировании оборудования, что трудно выполнимо. Кроме того, наличие оборудования, работающего по сезонам, и несоответствие в некоторых случаях реальной трудоемкости ее нормативному значению иногда не позволяют точно предсказать начало очередного обслуживания и ремонта. В этом случае целесообразно планировать осмотры по графику, а потребность в техническом обслуживании и текущем ремонте устанавливать исходя из технического состояния электрооборудования. Тогда необходимое число электриков для выполнения указанных работ можно определить по вероятностным характеристикам процессов обслужива-

ния и ремонта. Другими словами, необходима такая методика выбора рациональных методов технического обслуживания, ремонта и расчета численного состава электрослужбы, которая бы учитывала наиболее полно всю сумму факторов. Разработка и внедрение в хозяйствах такой методики позволят расширить круг вопросов, решаемых руководителями энергетических служб (определить целесообразность разделения или совмещения операций обслуживания и ремонта, введения приоритетов при обслуживании для части электрооборудования, приостановки технологических процессов из-за обслуживания и ремонта или использования для этих целей технологических перерывов).

Для разработки методики расчета службы необходимо решить ряд задач прежде всего по оптимизации количественного и качественного состава службы при различных методах обслуживания и ремонта, по обоснованию целесообразности совмещения операций, применения мобильных специализированных средств и т. д. Ниже показано, как можно решать некоторые из этих задач, пользуясь методами теории массового обслуживания.

## **8.2. Методика определения численного состава электрослужбы в хозяйствах**

При организации обслуживания и ремонта электрооборудования в хозяйстве необходимо решить ряд вопросов, основные из которых следующие: выбор метода обслуживания и ремонта; определение численного состава электрослужбы с учетом применяемых методов обслуживания и ремонта; расчет номенклатуры и объема запасных частей, резервного оборудования и материалов; организация пункта технического обслуживания.

В настоящее время на крупных животноводческих комплексах техническое обслуживание, текущий ремонт и устранение отказов электрооборудования выполняет инженерная служба этих комплексов. Рассмотрим методику оптимизации численного состава электриков инженерной службы на примере комплекса на 900 коров.

Процессы обслуживания и ремонта оборудования носят массовый характер. В соответствии с теорией мас-

сового обслуживания проведем формализацию этих процессов.

Как правило, на комплексе при обслуживании и ремонте одной электроустановки необходимо приостанавливать весь технологический процесс. Поэтому в предлагаемой методике расчета службы рассматривается не каждая электроустановка в отдельности, а вся их совокупность, относящаяся к определенному технологическому процессу. Иными словами, источником требований является технологический процесс в целом. Это позволяет представить разнородные требования на обслуживание и ремонт оборудования в виде некоторого эквивалентного числа однородных требований. При расчетах, как правило, используют среднее значение параметров  $\lambda$  и  $\mu$  (физический смысл этих параметров будет объяснен ниже).

Совокупность заявок на обслуживание составляет входящий поток требований. Обслуживающими точками являются электрики. Совокупность источников требований и обслуживающих точек составляет соответственно обслуживаемую и обслуживающую подсистемы.

Выходящий поток состоит полностью из реализованных требований (восстановленных технологических процессов).

На рассматриваемом комплексе электрооборудование используется в 11 технологических процессах: водоснабжении (В), приготовлении и раздаче кормов (ПК, РК), уборке навоза (УН), доении (Д), первичной обработке молока (ОМ), вентиляции (ВТ), отоплении (ОТ), получении пара и горячей воды (ПВ), освещении (ОС), а также в системе электроснабжения (Э). Пять из них — водоснабжение, приготовление кормов, их раздача, уборка навоза и доение — обладают приоритетом при восстановлении. Остальные шесть можно восстановить без ущерба для производства в перерывах между обслуживанием процессов, пользующихся преимуществом. График технологических процессов на молочной ферме на 900 коров экспериментального хозяйства «Рассвет» ЦНИПТИМЭЖ показан на рисунке 8.1.

При расчете численного состава электрослужбы принимаются следующие допущения. Во-первых, каждая свободная обслуживающая точка приступает к обслуживанию очередного требования в момент его поступ-

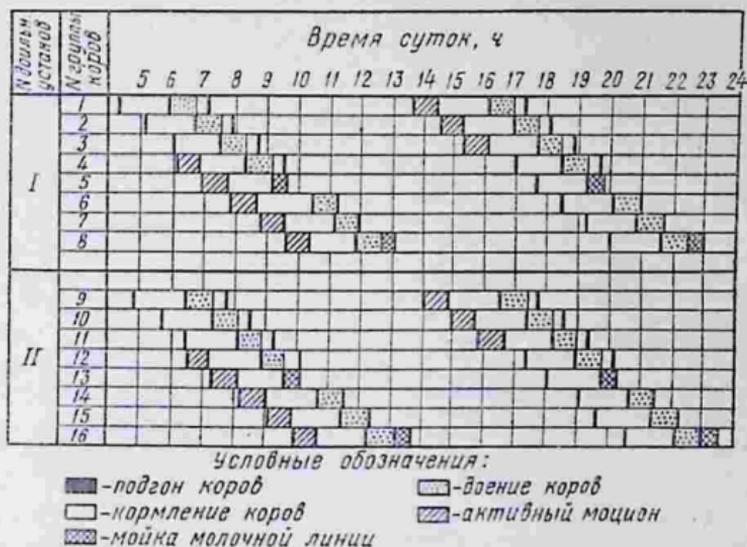


Рис. 8.1. График технологических процессов на молочной ферме на 900 коров экспериментального хозяйства «Рассвет» ЦНИПТИМЭЖ.

ления. Во-вторых, все обслуживающие точки однородны, причем одна точка обслуживает одно требование.

Предположим, что поток требований на комплексе простейший. Такой поток одновременно обладает свойствами ординарности, стационарности и отсутствия последствия.

Свойство ординарности проявляется в том случае, если в обслуживающую подсистему требования поступают поодиночке, а не группами. Иными словами, при наличии свойства ординарности вероятность  $P_k(t)$  того, что в промежуток времени  $t$  поступит одно требование ( $k=1$ ), намного больше вероятности того, что за этот промежуток времени поступит более одного требования ( $k>1$ ).

Свойство стационарности означает, что за равные промежутки времени в обслуживающую подсистему поступает одинаковое число требований. В этом случае вероятность  $P_k(t)$  поступления  $k$  ( $k=1,2,\dots$ ) требований за произвольно выбранный промежуток времени зависит от длины этого промежутка и не зависит от начала отсчета времени.

Свойство отсутствия последействия означает, что число требований, поступившее в обслуживающую подсистему за произвольно выбранный промежуток времени, не зависит от того, сколько требований поступило до этого промежутка времени и поступит после него.

Для простейшего потока число требований, поступающих в обслуживающую подсистему за промежуток времени  $t$ , распределяется по закону Пуассона:

$$P_k(t) = \frac{(\lambda_{\Sigma} t)^k}{k!} e^{-\lambda_{\Sigma} t}, \quad (8.1)$$

где  $\lambda_{\Sigma} t$  — параметр потока. Для простейшего потока параметр  $\lambda_{\Sigma}$  равен математическому ожиданию числа требований, поступающих в обслуживающую подсистему за единицу времени; ( $k=0, 1, 2, \dots$ ).

Для этого же потока промежутки времени  $t$  между смежными требованиями распределяются по экспоненциальному закону:

$$f(t) = \lambda e^{-\lambda t},$$

где  $\lambda$  — параметр, обратно пропорциональный математическому ожиданию продолжительности интервалов между смежными требованиями, поступающими от одного источника.

Время обслуживания  $\tau$  — случайная величина, которая может быть также описана законом распределения. Оно часто распределяется по такому же закону, что и время  $t$  между требованиями:

$$f(\tau) = \mu e^{-\mu \tau}, \quad (8.2)$$

где  $\mu$  — параметр распределения, обратно пропорциональный математическому ожиданию времени обслуживания требования.

Для исследования работы систем с простейшими потоками разработаны аналитические методы. Тип входящего потока и закон распределения времени обслуживания определяют по статистическим данным.

Обработка статистических данных, полученных при эксплуатации электрооборудования рассматриваемого комплекса, подтверждает, что промежутки времени между перерывами в технологических процессах и продолжительность их восстановления распределяются по экспоненциальному закону (рис. 8.2 и 8.3). Такая система называется простейшей.

При решении задач массового обслуживания, кроме характеристик входящего потока и времени обслуживания требований, необходимо определить также тип системы массового обслуживания по способу организа-

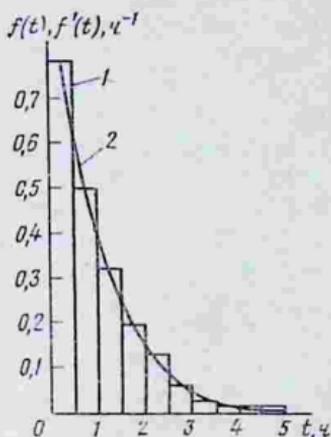


Рис. 8.2

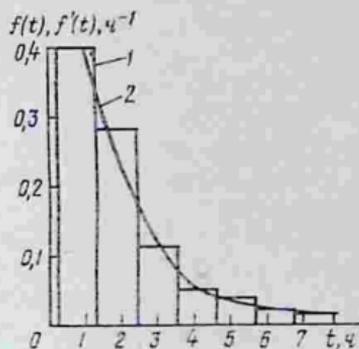


Рис. 8.3

Рис. 8.2. Гистограмма 1 и выравнивающая кривая 2 плотности распределения промежутков времени между смежными нарушениями технологических процессов из-за обслуживания и ремонта электрооборудования на животноводческом комплексе на 900 коров на примере экспериментального хозяйства «Рассвет» Запорожской области.

Рис. 8.3. Гистограмма 1 и выравнивающая кривая 2 плотности распределения времени восстановления технологических процессов.

ции ее работы. Системы массового обслуживания классифицируют по следующим основным признакам:

числу обслуживающих точек (системы с ограниченным и неограниченным числом обслуживающих точек);

характеру выходящего потока (системы обслуживания без потерь, в которых поток состоит только из обслуженных требований, и системы обслуживания с потерями, если часть поступивших требований покидает систему необслуженной);

числу источников требований (системы с ограниченным и неограниченным потоком требований);

порядку работы обслуживающих точек (системы упорядоченные, когда обслуживающие точки нумеруются и требования поступают сначала на первую из них и только после того, как она загружена, требование может поступить на следующую, и системы неупорядоченные, в которых требования распределяются между обслуживающими точками по любому другому принципу);

дисциплине обслуживания (системы без приоритетов, когда требования обслуживаются в порядке очереди, и системы с абсолютным приоритетом части требований, когда в первую очередь обслуживаются требования, обладающие абсолютным приоритетом, а все остальные — в перерывы между обслуживанием требований с абсолютным приоритетом).

Рассмотрим характерные особенности обслуживания и ремонта электрооборудования в животноводстве. Электротехническая служба животноводческого комплекса может состоять только из ограниченного числа электриков (обслуживающих точек). При обслуживании и ремонте электрооборудования его можно включить в работу только после выполнения соответствующих операций. Иными словами, выходящий поток может состоять только из обслуженных требований. Число единиц электрооборудования на комплексе ограничено, следовательно, одновременно на обслуживание может поступить ограниченное число требований. Как правило, на животноводческом комплексе каждый электрик может приступить к обслуживанию электрооборудования независимо от того, загружены остальные электрики или нет, то есть происходит неупорядоченное обслуживание. Электрооборудование, имеющее резерв, обслуживают в перерывы между обслуживанием электрооборудования, не имеющего резерва.

Таким образом, рассматриваемая система массового обслуживания в животноводстве в соответствии с классификацией является простейшей с ограниченным числом обслуживаемых точек, без потерь с ограниченным потоком требований, неупорядоченной с абсолютным приоритетом части требований.

Показатели эффективности работы такой системы следующие:

коэффициент простоя обслуживаемой точки  $E$ , представляющий часть времени смены, в течение которого каждая обслуживаемая точка не загружена;

коэффициент нарушения приоритетного технологического процесса без учета времени восстановления  $T_1$ , представляющий часть времени смены, в течение которого приоритетные технологические процессы не действуют из-за их нарушения до начала восстановления;

коэффициент нарушения приоритетного технологического процесса  $T_2$  с учетом времени восстановления,

представляющий часть времени смены, во время которого не осуществляются приоритетные технологические процессы из-за их нарушения или приостановки до окончания обслуживания или ремонта электрооборудования.

При выборе формул для расчета показателей  $E$ ,  $T_1$  и  $T_2$  учитывают также следующие предпосылки. Известно, что если время обслуживания требований распределяется по экспоненциальному закону с параметром  $\mu$  при отсутствии перерывов в обслуживании, то и в случае перерыва и возобновления работ при таких же условиях закон распределения оставшейся части времени обслуживания и его параметр  $\mu$  не изменяются. Далее учитывают, что электрооборудование комплекса расположено на небольшой территории и обслуживание очередного требования можно начинать сразу же после окончания предыдущего. Отсюда следует, что закон распределения времени обслуживания электрооборудования на животноводческом комплексе не зависит от дисциплины очереди.

Иными словами, на животноводческом комплексе при введении абсолютных приоритетов на обслуживание для части требований без изменения интенсивности потока требований среднее время обслуживания и общее число требований, находящихся на обслуживании (приоритетных и неприоритетных), не изменяются.

Это позволяет применить к анализу системы массового обслуживания с приоритетами части требований известные модели простейших систем массового обслуживания без приоритетов. При этом обслуживаемую подсистему, состоящую из  $m$  источников требований, следует разделить на две части: в одну входит  $s$  источников приоритетных тре-

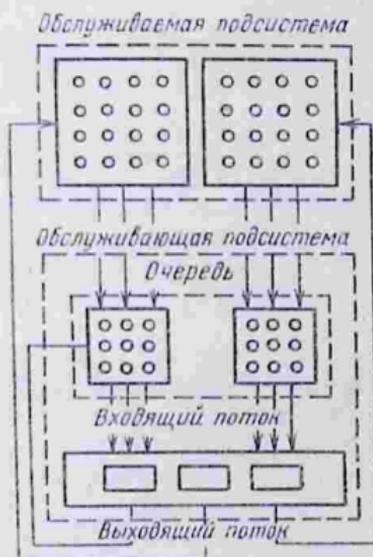


Рис. 8.4. Схема системы массового обслуживания без отказов с абсолютным приоритетом части требований.

бований, а в другую —  $r$  источников неприоритетных требований, причем  $m = s + r$ . При определении коэффициента  $E$  учитывают все  $m$  источников требований (приоритетных и неприоритетных), а при определении коэффициентов  $T_1$  и  $T_2$  учитывают только  $s$  источников приоритетных требований. Схема рассматриваемой системы приведена на рисунке 8.4.

С учетом вышеизложенного показатели эффективности работы этой системы определяются следующим образом.

Математическое ожидание числа свободных (простаивающих) обслуживающих точек в единицу времени

$$M = \sum_{k=0}^{n-1} (n-k) P_k = \sum_{k=0}^{n-1} \frac{(n-k)m!}{k!(m-k)!} \alpha^k P_0, \quad (8.3)$$

где  $n$  — общее число обслуживающих точек ( $n = 1, \dots, m$ );  $P_k$  — вероятность того, что в обслуживающей подсистеме находится  $k$  требований;  $\alpha$  — приведенная плотность потока требований при специализации обслуживающих точек по операциям (электромонтер выполняет только одну из операций: техническое обслуживание, текущий ремонт, оперативное обслуживание),  $\alpha = \frac{\lambda}{\mu}$ , где  $\lambda$  — параметр, характеризующий частоту возвращения требований в систему, то есть частоту поступлений требований в обслуживающую подсистему от одного источника требований;  $\frac{1}{\mu}$  — среднее время обслуживания одного требования (параметр  $\mu$  характеризует пропускную способность одной обслуживающей точки);  $P_0$  — вероятность того, что обслуживающая подсистема простаивает с учетом всех  $m$  источников требований.

$P_0$  определяют по формуле

$$P_0 = \left[ \sum_{k=0}^n \frac{m!}{k!(m-k)!} \alpha^k + \sum_{k=n+1}^m \frac{m!}{n^{k-n} n!(m-k)!} \alpha^k \right]^{-1}. \quad (8.4)$$

Вероятность  $P_k$  того, что в обслуживающей подсистеме находится  $k$  требований, рассчитывают следующим образом:

$$P_k = \frac{m!}{k!(m-k)!} \alpha^k P_0 \quad (1 \leq k \leq n); \quad (8.5)$$

$$P_k = \frac{m!}{n^{k-n} n!(m-k)!} \alpha^k P_0 \quad (n < k \leq m). \quad (8.6)$$

Выражение (8.5) используют для определения  $P_k$  в том случае, если число требований в обслуживающей

подсистеме не превосходит числа обслуживающих точек, во всех других случаях  $P_k$  определяют из выражения (8.6).

Коэффициент простоя обслуживающей точки

$$E = M/n. \quad (8.7)$$

Коэффициенты  $T_1$  и  $T_2$  определяют с учетом только источников приоритетных требований  $s$ .

Математическое ожидание числа требований, образующих очередь, для случая, когда обслуживаемая подсистема состоит из  $S$  источников приоритетных требований, составляет:

$$M_1 = \sum_{k=n+1}^s (k-n)P_k = \sum_{k=n+1}^s \frac{(k-n)s!}{n^{k-n} n!(s-k)!} \alpha^k P_{0n},$$

где  $P_{0n}$  — вероятность того, что обслуживающая подсистема простаивает с учетом только  $s$  источников приоритетных требований.

Значение  $P_{0n}$  определяют по формуле

$$P_{0n} = \left[ \sum_{k=0}^n \frac{s!}{k!(s-k)!} \alpha^k + \sum_{k=n+1}^s \frac{s!}{n^{k-n} n!(s-k)!} \alpha^k \right]^{-1}.$$

При расчете  $P_k$  для случая, когда обслуживаемая подсистема состоит из  $s$  источников приоритетных требований, также используют формулы (8.5 и 8.6), причем  $m$  заменяют на  $s$ .

Математическое ожидание числа требований, находящихся в обслуживающей подсистеме, для этого же случая определяется как

$$M_2 = \sum_{k=1}^n kP_k = \left[ \sum_{k=1}^n \frac{s!}{(k-1)!(s-k)!} \alpha^k + \sum_{k=n+1}^s \frac{ks!}{n^{k-n} n!(s-k)!} \alpha^k \right] P_{0n}.$$

Коэффициент нарушения технологического процесса без учета времени восстановления

$$T_1 = M_1/s.$$

Коэффициент нарушения технологического процесса с учетом времени восстановления

$$T_2 = M_2/s. \quad (8.8)$$

Параметры  $\lambda$  и  $\mu$  определяют по статистическим данным, собранным на однородных конкретных объектах

(табл. 8.1). В таблицу 8.1 заносят число, месяц, моменты поступления требований на обслуживание, то есть время сообщения о необходимости выполнения какой-либо работы, начало обслуживания, окончание обслуживания, вид операции — текущий ремонт (Р), техническое обслуживание (Т), оперативное обслуживание (О), прочие работы (ПР) и наименование технологического процесса, оборудование которого подлежит обслуживанию.

Параметр  $\lambda$  определяют как

$$\lambda = \frac{1}{t_{\text{ср}}} = \frac{n}{\sum_{i=1}^n t_i}, \quad (8.9)$$

где  $n$  — число нарушений одного технологического процесса за время наблюдения  $t$ ;  $t_i$  — время работы электрослужбы между очередными двумя нарушениями одного технологического процесса.

Если наблюдения проводят более чем за одним технологическим процессом, то для определения  $\lambda$  используют выражение

$$\lambda = \frac{1}{t_{\text{ср},t}} = \frac{m}{\sum_{i=1}^m t_{\text{ср},t}}, \quad (8.10)$$

где  $t_{\text{ср},t}$  — среднее время между двумя смежными нарушениями одного и того же технологического процесса, то есть среднее время, которое используют в выражении (8.9);  $m$  — число технологических процессов, за которыми проводят наблюдение.

Таблица 8.1

№ п п	Число, месяц	Моменты поступления требований, ч—мин	Начало обслуживания, ч—мин	Окончание обслуживания, ч—мин	Вид операции (текущий ремонт, техническое обслуживание и т. п.)	Наименование нарушенного технологического процесса (см. стр. 195)
1	1.07	5—50	5—55	6—05	О	Д
2	1.07	6—10	6—10	6—30	О	ВТ
3	1.07	6—30	6—30	7—23	Т	ПК
...	...	...	...	...	...	...
283	31.07	23—10	23—10	23—15	О	ОС
284	31.07	23—15	23—15	23—20	О	Э

Параметр  $\mu$  определяют из выражения

$$\mu = \frac{1}{\tau_{\text{ср}}} = \frac{n}{\sum_{i=1}^n \tau_i}, \quad (8.11)$$

где  $n$  — число восстановлений технологического процесса за период наблюдений;  $\tau_i$  — время восстановления технологического процесса после его  $i$ -го ( $i=1, \dots, n$ ) нарушения.

Для случая когда наблюдение проводят за  $m > 1$  технологическими процессами, параметр  $\mu$  определяют из выражения

$$\mu = \frac{\sum_{j=1}^m n_j}{\sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^n \tau_{ij}}, \quad (8.12)$$

где  $m$  — то же, что в формуле (8.10);  $n_j$  — число восстановлений  $j$ -го технологического процесса за период наблюдений;  $\tau_{ij}$  — время восстановления  $j$ -го технологического процесса после его  $i$ -го ( $i=1, \dots, n$ ) нарушения.

При совмещении операций обслуживания и ремонта (электромонтер выполняет все виды работ: техническое обслуживание, текущий ремонт, оперативное обслуживание) приведенную плотность потока требований  $\alpha_{\Sigma}$  определяют из выражения

$$\alpha_{\Sigma} = \frac{\lambda_o}{\mu_o} + \frac{\lambda_r}{\mu_r} + \frac{\lambda_p}{\mu_p}, \quad (8.13)$$

где  $\lambda_o, \lambda_r, \lambda_p$  — параметры, характеризующие частоту возвращения требований в систему на оперативное обслуживание, техническое обслуживание и текущий ремонт от одного источника;  $\mu_o, \mu_r, \mu_p$  — параметры, характеризующие пропускную способность одной обслуживающей точки при выполнении оперативного обслуживания, технического обслуживания и текущего ремонта.

Оптимальное число электриков определяют путем последовательного рассмотрения вариантов организации обслуживающей и обслуживаемой подсистем по минимуму приведенных затрат  $C$  на производство продуктов животноводства, отнесенных на голову скота, или по минимуму потерь  $Z$  от снижения продуктивности животных и увеличения затрат за услуги вспомогательного производства. Показатель приведенных затрат  $C$  используют в качестве критерия оптимальности в том случае, когда потери от снижения продуктивности животных и увеличения затрат за услуги вспомогательно-

го производства изменяются незначительно при изменении численного состава электрослужбы.

Во всех других случаях целесообразно использовать при оптимизации численного состава электрослужбы показатель потерь  $Z$ .

Рассмотрим показатель приведенных затрат  $C$  на производство продуктов животноводства, приходящихся на голову скота, целевая функция которого имеет следующий вид:

$$C = f(n) = \frac{Z}{d} \rightarrow \min. \quad (8.14)$$

Целевая функция (8.14) достигает минимума при одном из вариантов организации электрослужбы ( $n = 1, 2, \dots, m$ ). В выражении (8.14) постоянной величиной является поголовье продуктивного скота  $d$ , а переменной — затраты  $Z$  на производство продуктов животноводства, которые зависят от варианта организации электрослужбы.

Основные статьи затрат следующие: заработная плата производственных рабочих с начислениями; корма и подстилка; услуги вспомогательного производства; содержание летних лагерей; содержание животноводческих помещений и их текущий ремонт; амортизация основных фондов, используемых в животноводстве, кроме основного продуктивного скота; прочие основные затраты; общепроизводственные расходы; общехозяйственные расходы.

Оплата труда  $Z_n$  производственных рабочих в животноводстве производится только за продукцию — молоко и приплод:

$$Z_n = d\rho[\eta u + e(q_n - p)]. \quad (8.15)$$

Здесь  $\rho$  — коэффициент начислений на заработную плату;  $\eta$  — расценка за одного оприходованного теленка;  $p$ ;  $u$  — коэффициент оприходованных телят на голову скота;  $e$  — расценка за единицу продукции, р.;  $q_n$  — средняя продуктивность животных на комплексе, кг;  $p$  — средние годовые потери продукции на одну голову из-за нарушений приоритетных технологических процессов при отказах, обслуживании и ремонте оборудования;

$$p = \Omega \quad (8.16)$$

где  $\Omega_{no}$  — суммарное время технологического процесса (ожидание обслуживания электрооборудова

того технологической долготельность а комплекса при

базовом варианте организации электрослужбы, ч;  $T_{20}$  — коэффициент нарушения приоритетного технологического процесса при базовом варианте организации электрослужбы;  $T_2$  — коэффициент нарушения приоритетного технологического процесса при новом варианте организации электрослужбы;  $h$  — коэффициент продуктивности животных;  $\Delta q_i$  — средние удельные потери молока за час нарушения  $i$ -го ( $i=1, 2, \dots, m$ ) технологического процесса, кг/ч;  $k_{e_i}$  — коэффициент совпадения времени  $i$ -го технологического процесса со временем отказов, обслуживания и ремонта электрооборудования.

Суммарное время нарушений приоритетного технологического процесса  $\Omega_{п0}$  определяют как

$$\Omega_{п0} = DTT_{20}, \quad (8.17)$$

где  $D$  — число календарных смен работы электрослужбы за год;  $T$  — продолжительность смены, ч.

Коэффициент продуктивности животных определяют из выражения

$$h = \frac{q_k}{q},$$

где  $q$  — средняя продуктивность животных по отрасли, кг.

Все другие расходы:

$$П = П_0 + \omega \frac{n}{n_0} p \left( \Phi_0 + \Omega_{п0} \frac{T_2 k_e}{T_{20}} \right), \quad (8.18)$$

где  $П_0$  — постоянная часть расходов, которая не зависит от численного состава электрослужбы (затраты на корма и подстилку, содержание животноводческих помещений и текущий ремонт этих помещений, амортизацию основных фондов, кроме скота, оплату труда слесарей-наладчиков, общепроизводственные, общехозяйственные и прочие основные расходы), р;  $\omega$  — часовая тарифная ставка электрика, р/ч;  $n_0, n$  — число электриков в смене при базовом и новом вариантах организации электрослужбы;  $\Phi_0$  — общий календарный фонд рабочего времени  $n_0$  электриков, ч;  $T_2$  и  $T_{20}$  — то же, что в формуле (8.16);  $k_e$  — коэффициент совпадения времени технологических процессов со временем отказов, обслуживания и ремонта электрооборудования.

Общий календарный фонд рабочего времени  $n_0$  электриков

$$\Phi_0 = Dn_0T. \quad (8.19)$$

С учетом выражений (8.15...8.18), за исключением постоянной части расходов  $П_0$  в (8.18), целевая функция (8.14) приобретает следующий вид:

$$C = f(n) = \frac{3}{d} = p \left[ \eta u + \varepsilon \left( q_k - \Omega_{п0} \frac{T_2}{T_{20}} h \frac{s}{m} \sum_{i=1}^m \Delta q_i k_{e_i} \right) \right] +$$

$$+ \frac{\omega \frac{n}{n_0} \rho \left( \Phi_0 + \Omega_{n0} \frac{T_2 k_c}{T_{20}} \right)}{d} \rightarrow \min. \quad (8.20)$$

Изменяя в выражении (8.20)  $n$  от 1 до  $m$ , находят минимум целевой функции. Число электриков  $n$ , при котором достигается минимум  $C$ , является оптимальным.

Далее рассмотрим показатель  $Z$  потерь от снижения продуктивности животных и увеличения затрат за услуги вспомогательного производства. Целевая функция этого показателя имеет следующий вид:

$$Z = Y + Y_0 - Y_p = f(n) \rightarrow \min. \quad (8.21)$$

Потери продуктов животноводства  $Y$  из-за нарушений технологических процессов при новом варианте организации электрослужбы определяют как

$$Y = Y_0 \frac{T_2}{T_{20}}, \quad (8.22)$$

где  $Y_0$  — потери продуктов животноводства за год работы комплекса из-за нарушений технологических процессов при базовом варианте организации электрослужбы.

Значение  $Y_0$  определяют из выражения

$$Y_0 = \Omega_{n0} l d h \frac{s}{m} \sum_{i=1}^m \Delta q_i k_{ci}, \quad (8.23)$$

где  $l$  — закупочная цена на молоко, р/кг.

Потери  $Y_0$  из-за простоев электриков и привлечения дополнительных работников для обслуживания электрооборудования в связи со смещением производственного процесса во времени суток при новом варианте организации электрослужбы определяют из выражения

$$Y_0 = \frac{n}{n_0} \left( Y_{n0} \frac{E}{E_0} + Y_{T0} \frac{T_2}{T_{20}} \right), \quad (8.24)$$

где  $Y_{n0}$  — потери из-за простоев электриков за год их работы при базовом варианте организации электрослужбы;  $Y_{T0}$  — потери из-за привлечения дополнительного числа электриков в течение года в связи со смещением производственного процесса во времени суток вследствие нарушений технологических процессов при базовом варианте организации электрослужбы.

Потери  $Y_{n0}$  определяют из выражения

$$Y_{n0} = E_0 \omega \Phi_0, \quad (8.25)$$

Потери  $Y_{т0}$  рассчитывают по формуле

$$Y_{т0} = \Omega_{п0} n_0 \rho \omega. \quad (8.26)$$

Составляющая  $Y_p$  формулы (8.21) представляет часть заработной платы, которую теряют основные рабочие в течение года из-за сокращения объема продукции вследствие нарушения технологических процессов при новом варианте организации электрослужбы:

$$Y_p = Y_{p0} \frac{T_2}{T_{20}}, \quad (8.27)$$

где  $Y_{p0}$  — часть заработной платы, которая теряется основными рабочими за год работы комплекса из-за сокращения объема производимой продукции вследствие нарушений технологических процессов при базовом варианте организации электрослужбы.

Значение  $Y_{p0}$  определяют по формуле

$$Y_{p0} = \rho \varepsilon \Omega_{п0} d h \frac{s}{m} \sum_{i=1}^m \Delta q_i \kappa_{ci}. \quad (8.28)$$

Если в уравнение (8.21) подставить значения  $Y$  из выражения (8.22) и значения  $Y_0$  и  $Y_p$  из выражений (8.24) и (8.27), то после соответствующих преобразований целевая функция  $f(n)$  приобретет следующий вид:

$$Z = f(n) = \frac{T_2}{T_{20}} (Y_0 - Y_{p0}) + \frac{n}{n_0} \left( Y_{п0} \frac{E}{E_0} + Y_{т0} \frac{T_2}{T_{20}} \right) \rightarrow \min. \quad (8.29)$$

### 8.3. Пример расчета численного состава электрослужбы в подразделениях хозяйства

За расчетное примем хозяйство, где имеется животноводческий комплекс на 900 коров. На комплексе создана электротехническая служба. Электрики работают в две смены. Продолжительность технологических перерывов 2 ч 30 мин между 1-й и 2-й сменами и 6 ч 30 мин между 2-й и 1-й сменами (рис. 8.1). Необходимо определить оптимальное число электриков в смене с учетом рационального варианта совмещения операций по техническому обслуживанию, текущему ремонту, оперативному обслуживанию электрооборудования и выполнению части объема работ или отдельных операций в технологические перерывы.

Формулы (8.3...8.29) представляют собой математическую модель электротехнической службы, прини-

маемой с учетом приоритета части требований и совмещения операций по обслуживанию и ремонту.

В этом случае все электромонтеры должны иметь одинаковую квалификацию, соответствующую наиболее высокому разряду для данного комплекса.

Однако технологией технического обслуживания и текущего ремонта предусматривается использование специалистов различной квалификации. Следовательно, необходимо определить, целесообразно ли совмещать указанные работы. Методическая схема оптимизации службы при совмещении или разделении работ по видам однотипна.

Для случая разделения работ учитывается приведенная плотность потока требований рассматриваемого вида работ.

Разряды электриков принимаются в соответствии с характеристикой работ: для технического обслуживания IV, для текущего ремонта V и для оперативного обслуживания VI разряд.

При определении оптимальной организации электрослужбы с использованием рассмотренной выше математической модели (8.3...8.29) анализируют следующие варианты:

- 1) все работы выполняют раздельно;
- 2) текущий ремонт выполняют раздельно, техническое и оперативное обслуживание совмещены;
- 3) техническое обслуживание выполняют раздельно, текущий ремонт и оперативное обслуживание совмещены;
- 4) оперативное обслуживание выполняют раздельно, текущий ремонт и техническое обслуживание совмещены;
- 5) все работы совмещены.

Из документации, имеющейся на комплексе и в бухгалтерии хозяйства (отчетные данные за прошедший год), выбирают следующие данные:  $d=1200$ ;  $q_{II}=3500$  кг;  $D=730$ ;  $T=7$  ч;  $h=1$ ;  $m=11$ ;  $s=5$ ;  $l=0,22$  р/кг;  $\frac{1}{m} \sum_{i=1}^m \Delta q_i \kappa_{ci} = 0,026$  кг/ч;  $\rho=1,044$ ;  $w_{IV}=0,530$  р/ч;  $w_V=0,569$  р/ч;  $w_{VI}=0,693$  р/ч ( $w_{IV}$ ,  $w_V$ ,  $w_{VI}$  — соответственно часовые тарифные ставки электриков IV, V и VI разряда на работах с нормальными условиями труда для повременщиков);  $\epsilon=0,0157$  р/кг.

Таблица 8.2

№ п/п	Интервалы времени, ч	Средняя интервалов $t_i$ , ч	Виды операций					
			текущий ремонт		техническое обслуживание		оперативное обслуживание	
			частоты $n_i$	$\bar{t}_i n_i$	частоты $n_i$	$\bar{t}_i n_i$	частоты $n_i$	$\bar{t}_i n_i$
1	0...0,5	0,25	8	2,00	91	22,75	13	3,25
2	0,5...1,0	0,75	4	3,00	57	42,75	8	6,00
3	1,0...1,5	1,25	2	2,50	37	46,25	5	6,25
4	1,5...2,0	1,75	2	3,50	20	35,00	3	5,25
5	2,0...2,5	2,25	2	4,50	14	31,50	2	4,50
6	2,5...3,0	2,75	1	2,75	5	13,75	1	2,75
7	3,0...3,5	3,25	1	3,25	1	3,25	1	3,25
8	3,5...4,0	3,75	1	3,75	1	3,75	1	3,75
9	4,0...4,5	4,25	1	4,25	1	4,25	1	4,25
$I=9$	—	—	$N=22$	29,50	$N=227$	203,25	$N=35$	39,25

При расчете службы необходимо учитывать время на отдых и личные надобности электриков. Обычно в животноводстве на эти цели планируют два перерыва по 15 мин каждый, что равнозначно коэффициенту простоя обслуживающей точки  $E_{o.п}=0,07$ . Используя данные таблицы 8.1, определяют параметры  $\lambda$  и  $\mu$ . Для этого сначала выполняют статистическую обработку промежутков времени между моментами поступления требований на обслуживание и ремонт электрооборудования (табл. 8.2). По аналогии с таблицей 8.2 также обрабатывают данные о продолжительности обслуживания и ремонта. Параметры  $\lambda$  и  $\mu$  определяют для случая разделения и совмещения операций обслуживания и ремонта.

Разделение операций. Текущий ремонт:

$$\lambda_p = \frac{1}{t_{ср.р}} = \frac{\sum_{i=1}^r n_i}{m \sum_{i=1}^r t_i n_i} = \frac{22}{11 \cdot 29,5} = 0,068 \text{ ч}^{-1};$$

$$\mu_p = \frac{1}{\tau_{ср.р}} = \frac{\sum_{i=1}^r n_i}{\sum_{i=1}^r \tau_i n_i} = \frac{22}{70,97} = 0,31 \text{ ч}^{-1};$$

$$\alpha_p = \frac{\lambda_p}{\mu_p} = \frac{0,068}{0,31} = 0,22.$$

Техническое обслуживание:

$$\lambda_T = \frac{227}{11 \cdot 203,25} = 0,102 \text{ ч}^{-1};$$

$$\mu_T = \frac{227}{68,17} = 3,33 \text{ ч}^{-1};$$

$$\alpha_T = \frac{0,102}{3,33} = 0,0306.$$

Оперативное обслуживание:

$$\lambda_o = \frac{35}{11 \cdot 39,25} = 0,081 \text{ ч}^{-1};$$

$$\mu_o = \frac{35}{21,34} = 1,64 \text{ ч}^{-1};$$

$$\alpha_o = \frac{\lambda_o}{\mu_o} = \frac{0,081}{1,64} = 0,049.$$

Совмещение операций:

$$\alpha_{\Sigma} = \alpha_p + \alpha_T + \alpha_o = 0,22 + 0,031 + 0,049 = 0,300;$$

$$\alpha' = \alpha_p + \alpha_T = 0,22 + 0,031 = 0,251;$$

$$\alpha'' = \alpha_p + \alpha_o = 0,22 + 0,049 = 0,269;$$

$$\alpha''' = \alpha_T + \alpha_o = 0,031 + 0,049 = 0,08.$$

Используя полученные значения  $\alpha$ , определяют оптимальную численность электриков для следующих вариантов: совмещение всех операций (текущего ремонта, технического и оперативного обслуживания); оперативное и техническое обслуживание; оперативное обслуживание и текущий ремонт; текущий ремонт и техническое обслуживание; выполнение всех операций раздельно.

Сравнивая потери для всех случаев, определяют вариант, при котором эти потери минимальны. Методическая схема определения оптимального числа электриков для различных случаев (совмещение всех операций, разделение всех операций, совмещение оперативного обслуживания и текущего ремонта) однотипна.

Дальнейший расчет оптимального варианта организации электрослужбы выполняют следующим образом. Сначала определяют показатели эффективности работы

электрослужбы  $E$  и  $T_2$ . Для этого рассчитывают  $\frac{P_h}{P_0}$ ;  $\frac{P_h}{P_{оп}}$ ,  $P_h$ ,  $kP_h$  и  $(n-k)P_h$ , используя выражения (8.5) и (8.6). Результаты расчетов сводят в таблицы 8.3...8.8. В таблице 8.3 приведен расчет  $\frac{P_h}{P_0}$ . Данные таблицы 8.3 используют при определении  $P_0$  и  $P_h$  для  $m=11$ . Учитывая, что  $\sum_{i=0}^m P_h = 1$ , тогда  $P_0$  и  $P_h$  определяют как

$$P_0 = \frac{1}{\sum_{i=0}^m \frac{P_h}{P_0}}; \quad P_h = \frac{P_h}{P_0} P_0.$$

Таблица 8.3

$k$	$P_k/P_0$					
	$n=1$	$n=2$	$n=3$	$n=4$	$n=5$	$n=6$
0	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
1	3,30	3,30	3,30	3,30	3,30	3,30
2	9,90	4,95	4,95	4,95	4,95	4,95
3	26,73	6,68	4,46	4,46	4,46	4,46
4	64,15	8,02	3,56	2,68	2,68	2,68
5	134,72	8,42	2,49	1,40	1,12	1,12
6	242,49	7,56	1,50	0,63	0,40	0,33
7	363,74	5,68	0,75	0,24	0,12	0,08
8	436,48	3,41	0,30	0,07	0,03	0,02
9	392,84	1,53	0,09	0,02	0,00	0,00
10	235,71	0,45	0,02	0,00	0,00	0,00
11	70,71	0,07	0,00	0,00	0,00	0,00
$\sum_{i=0}^m \frac{P_h}{P_0}$	1981,77	51,08	22,42	18,75	18,06	17,94

Примечание.  $m=11$ .

Значения вероятностей состояний системы массового обслуживания  $P_h$  при  $m=11$  сведены в таблицу 8.4. Ее данные используют для определения коэффициента простоя обслуживающей точки  $E$ . Для этого рассчитывают среднее количество свободных обслуживающих точек из выражения (8.3). Данные расчета сводят в таблицу 8.5.

Затем по данным таблицы 8.5 определяют коэффициент простоя обслуживающей точки  $E$  из выражения (8.7). Значения коэффициента  $E$  при различных вариантах

Таблица 8.4

$k$	$P_k$					
	$n=1$	$n=2$	$n=3$	$n=4$	$n=5$	$n=6$
0	0,00050	0,01958	0,04460	0,05333	0,05537	0,05574
1	0,00165	0,06460	0,14718	0,17599	0,18272	0,18394
2	0,00495	0,09691	0,22077	0,26398	0,27408	0,27591
3	0,01337	0,13078	0,19892	0,23785	0,24695	0,2486
4	0,03208	0,15702	0,15878	0,14292	0,14839	0,14938
5	0,06736	0,16485	0,11105	0,07465	0,06201	0,06243
6	0,12125	0,14801	0,06690	0,03360	0,02215	0,01839
7	0,18187	0,11120	0,03345	0,01280	0,00664	0,00446
8	0,21824	0,06675	0,01338	0,00373	0,00166	0,00111
9	0,19542	0,02935	0,00401	0,00107	0	0
10	0,11786	0,00900	0,00089	0	0	0
11	0,03536	0,00135	0	0	0	0
$m$ $\sum_{k=0} P_k$	0,99091	1,00000	0,99993	0,99994	0,99997	0,99996

Примечание.  $m=11$ .

Таблица 8.5

$k$	$(n-k)P_k$					
	$n=1$	$n=2$	$n=3$	$n=4$	$n=5$	$n=6$
0	0,00050	0,03916	0,13380	0,21332	0,27685	0,33444
1	—	0,06460	0,29436	0,52797	0,73088	0,91970
2	—	—	0,22077	0,52796	0,82224	1,10364
3	—	—	—	0,23785	0,49390	0,7458
4	—	—	—	—	0,14839	0,29876
5	—	—	—	—	—	0,06243
$n-1$ $\sum_{k=0} (n-k)P_k$	0,00050	0,10376	0,64893	1,5071	2,47226	3,46477

Примечание.  $m=11$ .

организации электрослужбы,  $m=11$  и  $\alpha_{\Sigma}=0,30$  приведены в таблице 8.9, а при  $m=4 \dots 14$  и  $\alpha=0,01 \dots 0,31$  (шаг изменения  $\alpha=0,03$ ) — в таблице 8.10.

Коэффициент нарушения технологического процесса с учетом времени восстановления  $T_2$  определяют только для источников приоритетных требований  $s$ . Сначала определяют  $P_k/P_{\text{об}}$  по формулам (8.5) и (8.6), причем

Таблица 8.6

$k$	$P_k/P_{0n}$				
	$n-1$	$n-2$	$n-3$	$n-4$	$n-5$
0	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
1	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50
2	1,80	0,75	0,75	0,75	0,75
3	1,62	0,41	0,23	0,23	0,23
4	0,97	0,12	0,05	0,04	0,04
5	0,29	0,04	0,02	0,00	0,00
$\sum_{k=0}^s \frac{P_k}{P_{0n}}$	7,18	3,82	3,55	3,52	3,52

Примечание.  $m=s=5$ .

Таблица 8.7

$k$	$P_k$				
	$n-1$	$n-2$	$n-3$	$n-4$	$n-5$
0	0,13928	0,26178	0,28169	0,28409	0,28409
1	0,20892	0,39267	0,42254	0,42614	0,42614
2	0,2506	0,19634	0,21127	0,21307	0,21307
3	0,22563	0,10733	0,06479	0,06534	0,06534
4	0,13510	0,03141	0,01408	0,01136	0,01136
5	0,04038	0,01047	0,00563	0	0
$\sum_{k=0}^s P_k$	1,00000	1,00000	1,00000	1,0000	1,0000

Примечание.  $m=s=5$ .

Таблица 8.8

$k$	$kP_k$				
	$n-1$	$n-2$	$n-3$	$n-4$	$n-5$
0	0	0	0	0	0
1	0,20892	0,39264	0,42254	0,42614	0,42614
2	0,50120	0,39268	0,42254	0,42614	0,42614
3	0,67689	0,32199	0,19437	0,19602	0,19602
4	0,54040	0,12564	0,05632	0,04544	0,04544
5	0,20190	0,05235	0,02815	0	0
$\sum_{k=1}^s kP_k$	2,13132	1,28530	1,12392	1,09374	1,09374

Примечание.  $m=s=5$ .

Таблица 8.9

$n$	$M$	$M_2$	$E$	$T_2$	$Z$
1	0,00050	2,13132	0,00050	0,42626	70763,9
2	0,10376	1,28530	0,05188	0,25706	44007,7
3	0,64893	1,12392	0,21631	0,22478	41376,2
4	1,5071	1,09374	0,37678	0,21785	44312,0
5	2,47226	1,09374	0,49445	0,21875	48688,9
6	3,46477	1,09374	0,57746	0,21875	53166,9

$m=s$ . Здесь  $P_{оп}=P_0$ . Данные расчета сводят в таблицу 8.6, после чего определяют вероятности состояний системы массового обслуживания  $P_n$  для  $m=s$  (табл. 8.7). Затем по данным таблицы 8.7 определяют  $kP_n$  (табл. 8.8). Подставляя данные таблицы 8.8 в формулу (8.8), определяют  $T_2$ . Значения  $T_2$  для различных вариантов организации электрослужбы и  $m=11$ ,  $\alpha_2=0,30$  приведены в таблице 8.9.

Подставляя в уравнение (8.29) значения  $E$  и  $T_2$  при различных вариантах организации электрослужбы (табл. 8.9), то есть при  $n=1, \dots, m$ , а также значения других величин, входящих в это уравнение, определяют минимальные потери.

Результаты расчетов сводят в таблицу 8.9, из которой следует, что минимальные потери получают, когда в смене работают 3 электрика или с учетом работы комплекса в две смены оптимальная численность электромонтеров составляет 6 человек. Далее проверяют всевозможные варианты совмещения операций и целесообразность выполнения части объема работ или отдельных операций в технологические перерывы. Из всех возможных вариантов организации электрослужбы выбирают тот, при котором потери минимальны.

#### 8.4. Методика определения оптимального числа источников приоритетных требований и подлежащего дублированию оборудования с учетом рационального варианта совмещения операций

Рассмотрим работу системы массового обслуживания при дисциплине обслуживания: первым поступил — первым обслуживается (рис. 8.5). Показатели эффек-

Таблица 8.10

a	E													
	m=4	m=5	m=6	m=7	m=8	m=9	m=10	m=11	m=12	m=13	m=14			
	<i>n=1</i>													
0,01	0,95	0,95	0,94	0,93	0,92	0,91	0,90	0,89	0,88	0,87	0,86			
0,04	0,85	0,81	0,77	0,73	0,70	0,65	0,62	0,59	0,55	0,51	0,48			
0,07	0,74	0,68	0,62	0,56	0,50	0,41	0,39	0,33	0,28	0,24	0,20			
0,10	0,65	0,56	0,49	0,41	0,34	0,27	0,22	0,16	0,12	0,08	0,05			
0,13	0,56	0,46	0,37	0,29	0,22	0,16	0,11	0,07	0,04	0,03	0,01			
0,16	0,49	0,38	0,28	0,20	0,14	0,09	0,05	0,03	0,02	0,01	0,00			
0,19	0,42	0,31	0,21	0,14	0,08	0,05	0,02	0,01	0,01	0,00	0,00			
0,22	0,36	0,25	0,16	0,09	0,05	0,03	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00			
0,25	0,31	0,20	0,12	0,06	0,03	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00			
0,28	0,27	0,16	0,09	0,04	0,02	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00			
0,31	0,22	0,12	0,06	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00			
	<i>n=2</i>													
0,01	0,98	0,97	0,97	0,96	0,95	0,95	0,95	0,94	0,94	0,94	0,93			
0,04	0,92	0,90	0,89	0,87	0,85	0,83	0,81	0,79	0,77	0,75	0,73			
0,07	0,86	0,84	0,80	0,77	0,74	0,71	0,67	0,64	0,61	0,58	0,55			
0,10	0,82	0,77	0,73	0,68	0,64	0,60	0,55	0,51	0,47	0,43	0,39			
0,13	0,77	0,71	0,66	0,60	0,55	0,49	0,44	0,38	0,34	0,30	0,25			
0,16	0,73	0,67	0,59	0,53	0,46	0,40	0,35	0,29	0,24	0,19	0,15			
0,19	0,68	0,61	0,53	0,45	0,40	0,32	0,26	0,21	0,16	0,12	0,09			
0,22	0,64	0,56	0,48	0,40	0,32	0,26	0,20	0,15	0,11	0,07	0,05			
0,25	0,60	0,51	0,42	0,34	0,27	0,20	0,16	0,10	0,07	0,04	0,02			
0,28	0,57	0,47	0,38	0,29	0,22	0,16	0,11	0,07	0,04	0,02	0,01			
0,31	0,53	0,42	0,33	0,24	0,16	0,11	0,05	0,03	0,01	0,01	0,00			

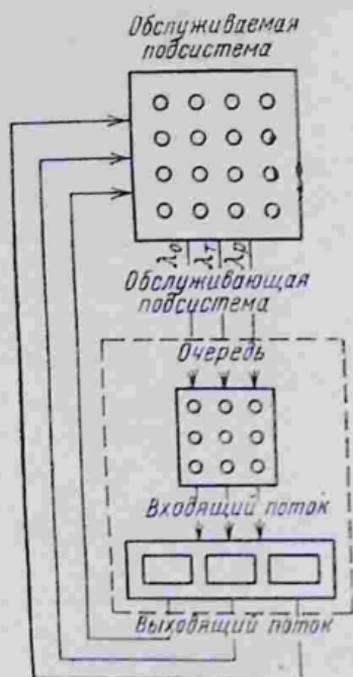


Рис. 8.5. Схема простейшей системы массового обслуживания без очередей с ограниченным количеством источников требований и обслуживающих точек.

тивности работы такой системы определяются следующим образом. Среднее число требований, ожидающих начала обслуживания,

$$M_3 = \sum_{k=n+1}^m (k-n) P_k =$$

$$= \sum_{k=n+1}^m \frac{(k-n)m!}{n^{k-n} n! (m-k)!} \alpha^k P_0. \quad (8.30)$$

Среднее число требований, находящихся в обслуживающей подсистеме,

$$M_4 = \sum_{k=1}^m k P_k =$$

$$= \left[ \sum_{k=1}^n \frac{m!}{(k-1)! (m-k)!} \alpha^k + \sum_{k=n+1}^m \alpha^k \frac{n^{k-n} n! (m-k)!}{k m!} \right] P_0. \quad (8.31)$$

Коэффициент нарушения технологического процесса без учета времени восстановления

$$T_3 = M_3/m.$$

Коэффициент нарушения  $T_3$  показывает, какую часть времени смены нарушены технологические процессы в ожидании обслуживания оборудования при дисциплине обслуживания: первым поступил — первым обслуживается.

Коэффициент нарушения технологического процесса с учетом времени восстановления рассчитывается как

$$T_4 = M_4/m. \quad (8.32)$$

Коэффициент  $T_4$  показывает, какую часть времени смены нарушены технологические процессы при ожидании обслуживания и в течение обслуживания оборудования при дисциплине обслуживания: первым поступил — первым обслуживается.

Для определения оптимального числа электриков по показателю  $C$  целевая функция имеет следующий вид:

$$C = f(n) = \frac{3}{\alpha} = \rho \left[ \eta u + \varepsilon (q_k - \Omega_0 \frac{T_4}{T_{40}} h \sum_{i=1}^m \Delta q_i k_{ci}) \right] + \frac{w \frac{n}{n_0} \rho (\Phi_0 + \Omega_0 \frac{T_4}{T_{40}} \kappa c)}{d} \rightarrow \min, \quad (8.33)$$

где  $\Omega_0$  — суммарное время нарушений технологического процесса без учета приоритетов за год работы комплекса при базовом варианте организации электрослужбы;  $T_{40}$  — коэффициент нарушения технологического процесса с учетом времени восстановления при базовом варианте организации электрослужбы.

Значение  $\Omega_0$  определяют по формуле

$$\Omega_0 = DTT_{40}. \quad (8.34)$$

Когда оптимизацию выполняют по критерию  $Z$ , функция цели  $f(n)$  имеет следующий вид:

$$Z = f(n) = \left[ \frac{T_4}{T_{40}} (Y_0 - Y_{p0}) + \frac{n}{n_0} \left( Y_{n0} \frac{E}{E_0} + Y_{r0} \frac{T_4}{T_{40}} \right) \right] \rightarrow \min. \quad (8.35)$$

В выражении (8.35)  $Y_0$ ,  $Y_{p0}$  и  $Y_{r0}$  рассчитывают по аналогии с формулами (8.23), (8.26) и (8.28).

При моделировании работы системы массового обслуживания [(8.4) ... (8.35)] изменяют только число обслуживающих точек в обслуживаемой подсистеме.

Представляет интерес влияние на эффективность работы системы массового обслуживания изменение соотношения между источниками приоритетных и неприоритетных требований в обслуживаемой подсистеме без изменения их общего числа ( $m = r + s$ ). Так, на рассматриваемом комплексе общее число источников требований (приоритетных и неприоритетных)  $m = 11$ , из них  $r = 6$ ,  $s = 5$ . Для этих параметров оптимальное число обслуживающих точек равно двум. Потери рабочего времени в течение смены каждой обслуживающей точкой составляют 59%. Уменьшая число источников приоритетных требований на единицу ( $m = 11$ ,  $r = 7$ ,  $s = 4$ ), можно сократить простой обслуживающей точки до 22% времени смены.

Вместе с тем сокращение источников приоритетных требований без увеличения потерь возможно только при дублировании оборудования, что связано с дополни-

тельными затратами. Поэтому без разработки соответствующей методической основы для этого мероприятия трудно определить, что выгоднее: дублировать оборудование или вводить приоритеты при обслуживании и какое оптимальное соотношение должно соблюдаться между дублируемыми и недублируемыми машинами с учетом рациональной организации обслуживания и ремонта. Такая задача может возникнуть как при проектировании животноводческого комплекса, так и в случае его реконструкции.

При расчетах следует учитывать, что изменение числа дублируемых технологических процессов приводит к изменению размера отчислений на амортизацию основных фондов (дублируемое оборудование и здания, в которых это оборудование установлено). Кроме того, часто дублируется все оборудование технологического процесса, а не отдельные машины. С учетом этого в расчетах следует пользоваться средним размером отчислений на амортизацию основных фондов, приходящихся на один технологический процесс, которые определяют как

$$A = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m \frac{B_i R_i}{100}, \quad (8.36)$$

где  $B_i$  — балансовая стоимость основных фондов  $i$ -го ( $i=1, \dots, m$ ) технологического процесса;  $R_i$  — норма амортизационных отчислений на основные фонды  $i$ -го ( $i=1, \dots, m$ ) технологического процесса, %.

Суммарные амортизационные отчисления на основные фонды, приходящиеся на  $N$  технологических процессов,

$$L = NA.$$

На практике в условиях животноводства почти во всех случаях резервное оборудование не несет нагрузки. Поэтому дополнительные затраты на услуги вспомогательного производства, связанные с дублируемым оборудованием, приравниваются к нулю.

В этом случае оптимизацию численного состава электрослужбы выполняют также по критерию оптимальности  $C$ . Отличие состоит в том, что в данном случае изменяется число электриков  $n$ , число приоритетных технологических процессов  $s$  и число дублируемых технологических процессов  $N$ , причем  $N = r$ .

При использовании показателя приведенных затрат  $C$  целевая функция имеет следующий вид:

$$C = f(n, s, N) = \frac{3}{d} = \rho \left[ \eta u + \varepsilon \left( q_k - \Omega_{n0} \frac{T_2}{T_{20}} \cdot \frac{s}{s_0} \Pi_0 \right) \right] + \frac{1}{d} \left[ w \frac{n}{n_0} \rho \left( \Phi_0 + \Omega_{n0} \frac{T_2}{T_{20}} k_c \right) + \frac{m-s}{m-s_0} L_0 \right] \rightarrow \min, \quad (8.37)$$

где  $s_0$  — число приоритетных технологических процессов при базовом варианте организации системы;  $s$  — число приоритетных технологических процессов при новом варианте организации системы;  $\Pi_0$  — средние удельные потери на одну голову скота за час нарушения приоритетных технологических процессов при базовом варианте организации системы;  $L_0$  — суммарные амортизационные отчисления на основные фонды при базовом (существующем) варианте организации системы.

Средние удельные потери на одну голову скота  $\Pi_0$  определяют из выражения

$$\Pi_0 = h \frac{s_0}{m} \sum_{i=1}^m \Delta q_i k_{ei}. \quad (8.38)$$

Суммарные амортизационные отчисления на основные фонды при базовом варианте организации системы

$$L_0 = N_0 A, \quad (8.39)$$

где  $N_0$  — число дублируемых технологических процессов при базовом варианте организации системы массового обслуживания.

Заменяя  $N_0$  в выражении (8.39) через  $N_0 = m - s_0$ , получают

$$L_0 = (m - s_0) A, \quad (8.40)$$

Таким образом, при изменении в выражении (8.37) числа приоритетных технологических процессов  $s$  от 0 до  $m$  число дублируемых технологических процессов  $N$  изменяется в обратном порядке от  $m$  до 0. При этом, определяя для каждого из вариантов организации обслуживаемой подсистемы ( $N = m \dots 0$ ) минимум приведенных затрат путем изменения числа обслуживающих точек, находят вариант организации обслуживаемой и обслуживающей подсистем системы массового обслуживания, при котором эти затраты будут минимальными.

При оптимизации численного состава электрослужбы по критерию оптимальности  $Z$  целевая функция  $f(n, s, N)$  имеет следующий вид:

$$Z = \frac{T_2}{T_{20}} (Y_0 - Y_{p0}) + \frac{n}{n_0} \left( Y_{n0} \frac{E}{E_0} + Y_{T0} \frac{T_2}{T_{20}} \right) + \frac{m-s}{m-s_0} L_0 \rightarrow \min. \quad (8.41)$$

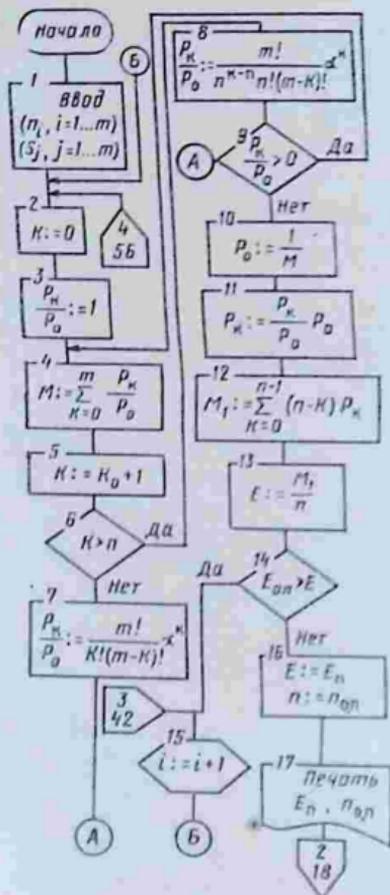


Рис. 8.6. Блок-схема алгоритма оптимизации численного состава электрослужбы животноводческого комплекса (блоки 1...17).

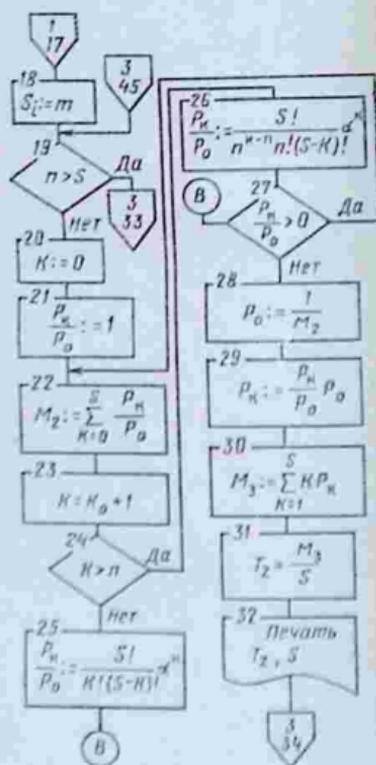


Рис. 8.7. Блок-схема алгоритма оптимизации численного состава электрослужбы животноводческого комплекса (блоки 18...32).

## 8.5. Алгоритмы оптимизации численного состава электрослужбы

Методики оптимизации изложены в параграфах 8.2 и 8.4. Применение этих методик связано с большим объемом вычислений, что требует использования ЭВМ.

Блок-схема алгоритма моделирования на ЭВМ работы электрослужбы животноводческого комплекса приведена на рисунках 8.6...8.10. Рассчитываются  $E$ ,  $L$ ,  $T_2$  и  $Z$ . Изменяют значение  $n$  ( $n=1, \dots, m$ ),  $s$  ( $s=0, \dots, m$ ) и  $N$  ( $N=m, \dots, 0$ ). В результате отыскивают одно из

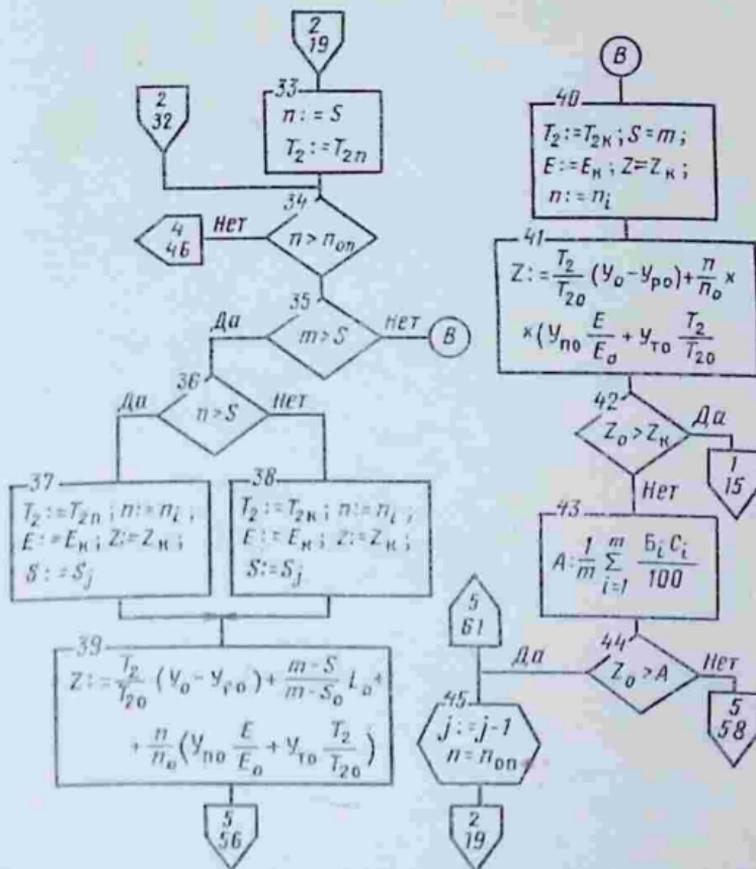


Рис. 8.8. Блок-схема алгоритма оптимизации численного состава электрослужбы животноводческого комплекса (блоки 33...45).

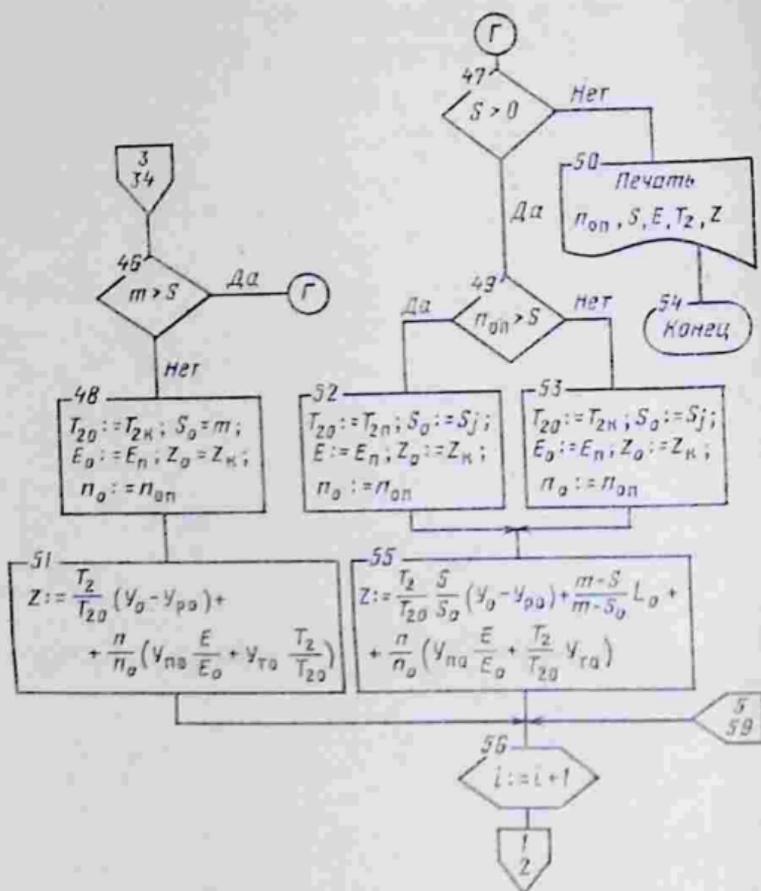


Рис. 8.9. Блок-схема алгоритма оптимизации численного состава электрослужбы животноводческого комплекса (блоки 46 ... 56).

этих значений, при котором целевая функция  $f(n, s, N)$  достигает минимума. Причем минимум целевой функции  $f(n, s, N)$  рассчитывают для всех значений  $s$  ( $s = 0, \dots, m$ ) и  $N$  ( $N = m, \dots, 0$ ).

Исходными данными для моделирования являются общее число источников требований  $m$ , балансовая стоимость основных фондов  $B_i$ , норма амортизационных отчислений на основные фонды  $R_i$ , поголовье животных  $d$ , часовая тарифная ставка электрика  $\omega$ , начисления на заработную плату  $\rho$ , расценка за одного оприходованного теленка  $\eta$ , коэффициент оприходованного приплода

на одно животное  $v$ , расценка за единицу продукции  $\epsilon$ , средняя продуктивность животных по отрасли  $q$ , средняя продуктивность животных на комплексе  $q_k$ , средние удельные потери молока за час нарушения технологического процесса  $\Delta q_i$ , коэффициент совпадения технологического процесса со временем отказов, обслуживания и ремонта электрооборудования  $k_{ci}$ , число календарных смен работы электрослужбы за год  $D$ , продолжительность смены  $T$  и минимальный коэффициент потерь рабочего времени электрика  $E_{оп}$ .

Работа блок-схемы алгоритма осуществляется следующим образом. Блок 1 алгоритма вводит исходные данные. Блоки 2, 5, 15, 16, 18, 20, 21, 33, 37, 38, 40, 45, 48, 52, 53 и 56 выбирают соответствующие значения  $s$ ,  $n$ ,  $k$ ,  $T_2$ ,  $E$  и  $Z$ . При расчете  $E$  (блоки 3...13) сначала определяют  $M$  (блоки 3...9), а затем  $P_0$ ,  $P_k$  и  $M_1$  (блоки 10...12).

Расчет  $T_2$  выполняют блоки 21...31. Причем блоки 21...27 алгоритма определяют  $M_2$ , а блоки 28...30 служат для вычисления  $P_0$ ,  $P_k$ ,  $M_3$ . Блоки 39, 41, 51 и 55 вводят для определения  $Z$ . Причем блоки 41 и 51 определяют  $Z$  при  $N=0$ . При  $N>0$  для определения  $Z$  используют блоки 39 и 55. Блок 43 предназначен для определения  $A$ .

Для учета случаев  $n>s$  при определении  $T_2$  вводится блок 33. При этом для всех значений  $s=1, \dots, n-1$  принимают  $T_2=T_{2n}$ , то есть такому значению  $T_{2n}$ , при котором  $s=n$ . Вывод промежуточных результатов вычислений  $E$  и  $T_2$  для каждого значения  $n=n_{оп}, \dots, t$  осуществляют блоки 17 и 32. Окончательный результат вычислений  $n$ ,  $E$ ,  $T_2$  и  $s$  при минимуме

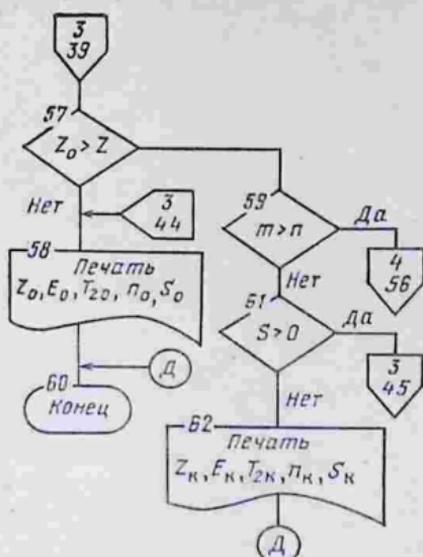


Рис. 8.10. Блок-схема алгоритма оптимизации численного состава электрослужбы животноводческого комплекса (блоки 57...62).

целевой функции  $f(n, s, N)$  выводят блоки 50, 58 и 62.

Блоки 14, 19, 34, 35, 36, 42, 44, 46, 47, 49, 54, 57, 59, 60 и 61 вводят для ограничения числа операций, проверки условия задачи и остановки машины. Блок-схема алгоритма допускает также изменение приведенной плотности потока требований  $a$ , общего числа источников требований  $m$ , поголовья животных  $d$  и коэффициента продуктивности животных  $h$ . При изменении показателя оптимизации блок-схема алгоритма не изменяется, кроме блоков 39, 41, 51 и 55, в которые вносят выражение целевой функции, соответствующее принятому показателю.

Результаты моделирования на ЭВМ работы электрослужбы животноводческого комплекса приведены в таблицах 8.10 и 8.11. Таблица 8.10 предназначена для использования главным энергетиком, инженером-электриком (лицами, отвечающими за электрохозяйство животноводческого комплекса) в повседневной практике при определении загрузки электриков. Значения  $a$  и  $m$  определяют по документации, имеющейся на комплексе.

Таблица 8.11

$a$	$n$										
	$s=4$	$s=5$	$s=6$	$s=7$	$s=8$	$s=9$	$s=10$	$s=11$	$s=12$	$s=13$	$s=14$
0,01	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
0,04	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2
0,07	1	2	2	2	2	2	2	3	3	3	3
0,10	2	2	2	2	2	3	3	3	3	3	4
0,13	2	2	2	3	3	3	3	3	4	4	4
0,16	2	2	2	3	3	3	4	4	4	4	4
0,19	2	2	3	3	3	4	4	4	4	4	5
0,22	2	3	3	3	4	4	4	4	5	5	5
0,25	2	3	3	3	4	4	4	5	5	5	6
0,28	3	3	3	4	4	4	5	5	5	6	6

Примечание. Данные таблицы получены при  $a_n=3500$  кг,  $h=1$ ,  $k_1=k_2=k_3=0,27$ ,  $k_4=0,37$ ,  $k_5=0,35$ .

При расчете таблицы 8.11 для определения оптимальной численности электриков на животноводческом комплексе используют выражение (8.29). В этом случае число приоритетных технологических процессов изме-

няют  $s=4, \dots, m$ , а  $\alpha=0,01 \dots 0,28$  (шаг изменения 0,03).

Для примера определим число электриков на животноводческом комплексе экспериментального хозяйства «Рассвет» ЦНИПТИМЭЖ, используя данные таблиц 8.10 и 8.11. Приведенную плотность потока требований  $\alpha_{\Sigma}=0,300$  определим по статистическим данным. Общее количество технологических процессов равняется 11. Пять из них — водоснабжение, приготовление кормов, их раздача, уборка навоза и поение — обладают абсолютным приоритетом при восстановлении.

Рассмотрим случай, когда оперативное обслуживание выполняют раздельно, а техническое обслуживание и текущий ремонт совмещены. Для оперативного обслуживания необходимое число электриков определим следующим образом. Сначала найдем число электриков по таблице 8.11:  $n=1$  для  $\alpha_0=0,049$ ,  $s=5$  и  $m=11$ . Затем для этих значений ( $\alpha_0=0,049$ ,  $m=11$  и  $n=1$ ) определим  $E=0,5$  из таблицы 8.10. Сравнивая  $E \geq E_{оп}$ , получим  $0,5 > 0,07$ . Следовательно, для оперативного обслуживания электрооборудования необходимо иметь одного электрика в смене.

По аналогии определяют и численность электриков для технического обслуживания и текущего ремонта. Для  $\alpha'=0,251$ ,  $s=5$  и  $m=11$  число электриков  $n=3$ , а  $E=0,2995$ . В этом случае  $E$  определяют по формуле (8.7).

Таким образом, для обслуживания и ремонта электрооборудования в смене необходимо иметь четырех электриков. При этом оперативное обслуживание в смене выполняет один электрик, а техническое обслуживание и текущий ремонт — три электрика.

Далее рассматривают целесообразность выполнения операций технического обслуживания и текущего ремонта в технологический перерыв. В этом случае число электриков определяют, используя таблицу 8.10, последовательно перебирая варианты организации электрослужбы. Так, для  $n=2$ ,  $\alpha'=0,251$  и  $m=11$  коэффициент простоя электрика  $E=E_{оп}=0,07$ .

Следовательно, при выполнении технического обслуживания и текущего ремонта в технологический перерыв численность электрослужбы сокращается на два электрика, по одному в смену.

Интерес представляет вариант организации электрослужбы, при котором совмещают операции технического обслуживания, текущего ремонта и оперативного обслуживания. В этом случае в первую и вторую смены электрики обслуживают пять технологических процессов, остальные шесть обслуживают во время технологического перерыва.

При таком варианте организации электрослужбы работа электриков организована следующим образом. В первую и вторую смены электрики выполняют оперативное обслуживание пяти приоритетных технологических процессов и техническое обслуживание и текущий ремонт пяти неприоритетных технологических процессов. В технологический перерыв электрики выполняют оперативное обслуживание шести неприоритетных технологических процессов, а также техническое обслуживание и текущий ремонт пяти приоритетных и одного неприоритетного технологических процессов. Общее оптимальное число электриков для первой и второй смены  $n=2$  при  $\alpha_z=0,300$ ,  $m=5$ ,  $s=5$ , то есть в первую и вторую смены работает по одному электрику. Причем приведенная плотность потока при обслуживании приоритетных требований  $\alpha_0=0,049$ .

В данном случае сначала определяют численность электриков  $n=1$  и коэффициент простоя электрика  $E=0,76$  для оперативного обслуживания электрооборудования в смене при  $\alpha_0=0,049$  и  $s=m=5$ . Затем проверяют возможность совмещения операций оперативного обслуживания, текущего ремонта и технического обслуживания при  $\alpha_z=0,300$ ,  $s=m=5$  для  $n=1$ . Коэффициент простоя электрика  $E=0,13$ , то есть  $E > E_{0,п}$ .

Далее остается шесть технологических процессов для обслуживания в технологический перерыв. В этом случае при  $\alpha_z=0,300$ ,  $m=6$  и  $n=1$  коэффициент простоя электрика  $E=E_{оп}=0,07$ . Следовательно, при совмещении операций технического обслуживания, текущего ремонта и оперативного обслуживания в технологический перерыв шести технологических процессов необходимо иметь одного электрика после каждой смены работы комплекса. Так, при двухсменной работе необходимо иметь по одному электрику в первой и второй сменах и двух электриков в технологический перерыв, то есть четырех электриков.

## 8.6. Методика уточненного расчета заработной платы электриков

Настоящая методика учитывает опыт расчета заработной платы в отдельных отраслях промышленности нашей страны и за рубежом.

Для повышения трудовой дисциплины электриков необходимо рационально сочетать моральные и материальные стимулы.

Моральные стимулы разрабатываются руководителями энергетических служб с учетом существующих возможностей.

Материальные стимулы в виде надбавок к заработной плате должны поощрять:

- 1) увеличение загрузки электрика;
- 2) сокращение времени нарушений технологических процессов из-за отказов, обслуживания и ремонта электрооборудования;
- 3) увеличение объема и качества выпускаемой продукции;
- 4) снижение потребления электроэнергии на один технологический процесс;
- 5) сокращение расхода запасных частей и материалов;
- 6) освоение смежных профессий;
- 7) повышение группы по технике безопасности;
- 8) содержание в исправном состоянии инструмента, оснастки и оборудования ПТО;
- 9) заботу о состоянии спецодежды и рабочего места;
- 10) повышение  $\cos\varphi$ ;
- 11) модернизацию электрооборудования с целью повышения его надежности;
- 12) сокращение ручного труда за счет механизации и автоматизации производственных процессов;
- 13) реализацию мероприятий по технике безопасности, направленных на сокращение электротравматизма;
- 14) проявление инициативы в работе.

С учетом вышеизложенного заработную плату электриков рассчитывают по формуле

$$З = \omega T D_{\text{ит}} + \sum_{i=1}^h \varphi_i, \quad (8.42)$$

где  $D_k$  — число календарных смен работы электрика в месяц;  $\varphi_i$  — надбавка за  $i$ -й ( $i=1, \dots, k$ ) показатель эффективности работы электрика, р.

Размеры надбавок  $\varphi_6 \dots \varphi_{14}$ , то есть за показатели 6...14, устанавливаются руководителями хозяйств в зависимости от степени влияния поощряемых показателей на себестоимость выпускаемой продукции.

Размеры надбавок  $\varphi_1 \dots \varphi_5$  определяют следующим образом. Размер надбавки  $\varphi_1$  за увеличение загрузки электрика

$$\varphi_1 = \frac{1-E}{1-E_0} \varphi_{10};$$

где  $\varphi_{10}$  — размер надбавки за прошедший месяц, р.;  $E$  и  $E_0$  — соответственно коэффициент простоя обслуживающей точки в текущем и прошедшем месяцах, определяют по формуле (8.7).

$$\varphi_{10} = TE_n D_k \omega (1-E_0),$$

где  $E_n$  — коэффициент простоя обслуживающей точки, определяют по опытным данным при переходе на новую систему оплаты труда.

Размер надбавки  $\varphi_2$  за сокращение времени нарушений технологических процессов из-за отказов обслуживания и ремонта электрооборудования можно определить из выражения

$$\varphi_2 = \frac{1-T_2}{1-T_{20}} \varphi_{20};$$

где  $T_2$  и  $T_{20}$  — соответственно коэффициент нарушения приоритетного технологического процесса с учетом времени восстановления в текущем и прошедшем месяцах, определяют по формуле (8.8);  $\varphi_{20}$  — размер надбавки за прошедший месяц, р.

$$\varphi_{20} = TT_{2n} D_k \omega (1-T_{20}),$$

где  $T_{2n}$  — коэффициент нарушения приоритетного технологического процесса с учетом времени восстановления, который определяют по опытным данным при переходе на новую систему оплаты.

Надбавка за увеличение объема выпускаемой продукции

$$\varphi_3 = \frac{(V-V_0)}{n} \Theta,$$

где  $V$  и  $V_0$  — соответственно объем выпускаемой продукции в текущем и прошедшем месяцах, кг;  $\Theta$  — расценка за увеличение объема выпускаемой продукции, р/кг.

Надбавка за снижение потребления электроэнергии на один технологический процесс

$$\varphi_4 = \left( \frac{W_0}{m_0} - \frac{W}{m} \right) \frac{Y}{n},$$

где  $W_0$  и  $W$  — соответственно потребление электроэнергии за прошедший и текущий месяцы, кВт·ч;  $m_0$  и  $m$  — соответственно число электрифицированных технологических процессов в прошедшем и текущем месяцах;  $\gamma$  — расценка за экономию электроэнергии, р/(кВт·ч).

Надбавка за сокращение расхода запасных частей и материалов

$$\varphi_5 = \frac{C_0 - C}{100n} \gamma;$$

где  $C_0$  и  $C$  — затраты на запасные части и материалы планируемые и фактические;  $\gamma$  — расценка за экономию материалов и запасных частей, %.

При снижении поощряемых показателей  $\varphi_1 \dots \varphi_5$  в текущем месяце по сравнению с показателями за прошедший месяц электрик получает тарифную ставку соответствующего разряда. Выплата надбавок возобновляется после достижения значения поощряемых показателей выше тех, которые были достигнуты за последний месяц выплаты. Для случая, когда значение поощряемого показателя достигает максимума и остается неизменным в течение длительного времени, выплачивается средний размер надбавки, рассчитанный за месяцы, прошедшие с начала года, включая и те месяцы, в которые надбавка не выплачивалась.

**МЕТОДИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ  
ДЛЯ АНАЛИЗА  
РЕЗУЛЬТАТОВ ВОЗДЕЙСТВИЯ  
НА РАСТЕНИЯ И ЖИВОТНЫХ  
ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ ЭНЕРГИИ**

**9.1. Об электромагнитной первооснове эволюции  
в природе. Электромагнитные модели биогенных  
молекул**

Цель настоящей главы заключается в том, чтобы помочь молодым специалистам глубже понять сущность различных широко используемых и перспективных методов электрофизических воздействий на семена, растения и животных, побудить стремление к творческому анализу получаемых при этом результатов, мобилизовать на поиск путей экспериментальной проверки отдельных положений, излагаемых в разрозненных литературных источниках и в настоящей книге представлений и умозрительных построений.

Более двух веков ученые применяют различные электрические и магнитные воздействия на семена, растения и животных. Однако до настоящего времени суть процессов, происходящих при этом в живых объектах, не нашла объяснения. Но учитывая, что, например, семена различных культур, подверженные воздействию электромагнитной энергии, практически одинаково на него реагируют, надо полагать, что здесь имеет место общая природа электромагнитного механизма поглощения воздействующей энергии. А это, в свою очередь, свидетельствует о его более раннем эволюционном возникновении, чем началось формирование разнообразностей растений. Другими словами, этот механизм должен находиться на субклеточном уровне. Причем этот механизм сам должен иметь электромагнитную природу, эволюционно сохранившуюся со времен формирования биогенных молекул, биополимеров, протоорганелл и протоклеток.

Ученые установили и экспериментально в лабораторных условиях подтвердили, что зарождение жизни происходило по следующей примерной схеме. Сначала в первобытной атмосфере при участии электрических раз-

рядов и сопровождавших их электромагнитных процессов из так называемых биогенных элементов ( $O_2$ ,  $H_2$ ,  $N_2$ ,  $C$ ) происходило образование биогенных молекул, прежде всего липидов (жироподобных веществ), аминокислот и нуклеиновых кислот. Из них затем формировались макромолекулы и биополимеры, к которым относятся липидные образования — протомембраны (жировые «пятна»), сложные белки-нуклеопротеиды и полинуклеопротеиды, ставшие основой дезоксирибонуклеиновой (ДНК) и рибонуклеиновой (РНК) кислот, которые эволюционно стали хранителями и переносчиками наследственной информации (гены сформированы в основном из этих кислот). Далее в первичном «бульоне» из белковоподобных соединений образовались комплексы коллоидных систем, так называемых коацерватов. Капли, сформированные в липидных оболочках-мембранах под действием, например, всплесков на поверхности, стали теми протобионтами, из которых возникли первые живые начала благодаря зарождению у них процесса обмена веществ, а затем и самовоспроизводства.

Ученые также давно высказывают различные гипотезы и доказательства, касающиеся первостепенной роли во всех отмеченных процессах электрических зарядов, ионов, электромагнитных полей. Здесь излагается ряд возможных моделей электромагнитного механизма формирования макромолекул и биополимеров, зарождения процесса обмена веществ у протобионтов и деления клетки. Эти модели хотя и требуют экспериментального подтверждения, но они в определенной мере базируются на известных фактах и позволяют объяснить механизм воздействия на живой организм (семена, растения и животных) различных проявлений электромагнитной энергии.

Известно, что у истоков эволюции материи лежит взаимодействие зарядов электронов, протонов и других элементарных частиц. Дискретные свершения в этом движении осуществляются по вездесущему диалектическому закону превращения количества в качество. Живая и неживая материя построена из одних и тех же элементарных частиц и атомов, поведение которых и в том, и в другом случае должно подчиняться одним и тем же законам. Частицы и атомы обладают не только зарядами, но и магнитными моментами. В

природе нет частиц с чистым электрическим зарядом. У электрона, например, магнитный момент обусловлен орбитальным вращением и вращением вокруг собственной оси (спином). Спины электронов, образующих ковалентную связь ( $H_2$ ,  $O_2$ ,  $N_2$ ), антипараллельны — направлены в разные стороны, и магнитный момент этих молекул равен нулю. Благодаря своему заряду и магнитному моменту каждая частица подвержена действию электронного и магнитного резонанса. Этот резонанс имеет решающее значение в движении в биологии. Собственная частота колебаний атомов находится в пределах от  $3 \times 10^{13}$  до  $5 \times 10^{14}$ . Еще Максвелл отмечал, что атом подобен волчку и обнаруживает тот же эффект. Этот эффект должен быть в определенной мере присущ и биогенным микромолекулам, перемещающимся в пределах силового поля клетки.

К сожалению, эти факторы пока не заняли заслуженного места в исследованиях биохимических процессов в живой и неживой природе. А между тем объективные данные свидетельствуют о том, что электромагнитные поля как внешние, так и внутренние, непременно участвуют в стыковке, например, родственных биогенных молекул в биополимеры, в ритмичном и неритмичном движении биополимеров, органелл и клеток, в процессах деления клеток.

Предлагаемые ниже электромагнитные модели следует рассматривать как попытку обобщения экспериментальных фактов, имеющих место на субклеточном и клеточном уровне.

Особенность молекул, из которых построены клетки живых систем, заключается в том, что все они состоят в основном из атомов биогенных элементов — водорода, углерода, кислорода, азота с включениями отдельных атомов фосфора, серы, железа и др. Это сложные биополимеры — белки и нуклеиновые кислоты, созданные природой по общей для всех организмов схеме и из общих строительных модулей, которых в природе обнаружено сравнительно ограниченное число.

Противоречие между очень ограниченным числом исходных элементов, из которых формируются органические молекулы, сравнительно ограниченным числом молекул аминокислот, формирующихся из этих элементов, и бесконечным разнообразием объектов живой при-

роды можно объяснить тем, что внешность и содержан- ние всякого биообъекта являются следствием существо- вания в нем на субклеточном и клеточном уровнях строго заданного рисунка-остова из электромагнитных полей и взаимосвязей, которые меняются во времени по программе, характерной только для данного объекта. Этим общим для всех биообъектов электромагнитным рисунком можно объяснить единство строения, функций и состава молекул в клетках биообъектов. Чем большее число молекул принимает участие в организации и жизне- деятельности клетки, тем большее сочетание электро- магнитных взаимосвязей и программ имеет место в архитектонике биообъектов. Это и есть отражение элек- тромагнитной эволюции, то есть постоянного усложне- ния электромагнитной первоосновы биообъектов. Хими- ческие взаимодействия при этом правомерно рассмат- ривать как вторичные явления.

Известно, что в металлах и диэлектриках атомы сты- куются соответственно в магнитные или электрические домены. В литературе этот процесс рассматривается как проявление второго закона термодинамики — стремле- ния системы уменьшить свободную энергию. Это же стремление потерять свободную энергию и состыковать- ся в домены закономерно должно иметь место и в био- генном материале. Но если в молекулы соединяются разные атомы за счет, как правило, валентных электри- ческих связей, то в макромолекулы-биополимеры (хро- матиды, рибосомы, белки) соединяются однородные по структуре микромолекулы, имеющие одинаковую осно- ву и отличающиеся лишь второстепенными по конст- рукции радикалами. Это свидетельствует о том, что здесь стыковка носит другой характер, чем между ато- мами: для соизмеримых по размеру и архитектуре био- микромолекул более рациональна магнитная стыковка.

Рассматриваемые ниже схематические модели био- генных молекул позволяют понять возможный меха- низм их магнитной состыковки в подвижные домены, к которым и относятся липидные микрокапли, хроматиды, рибосомы. Этот процесс формирования самостоятель- ных биогенных доменов начался в первобытной гидро- сфере. При этом были реализованы электромагнитные закономерности в формировании протомембран из оди- наковых, близнецовых, молекул, протохромосом из по- добных, двоюродных, молекул, протомитохондрий и

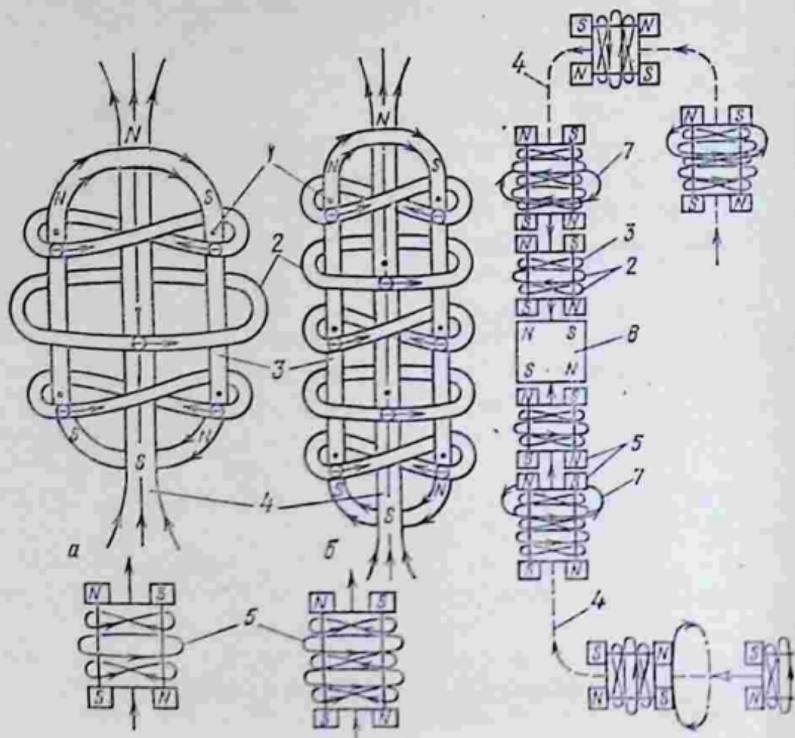


Рис. 9.1. Упрощенные электромагнитные модели стронительных клеток (а и б) и принципа формирования и закручивания хромосомы (в):

1 — ядра атомов; 2 — электронные орбитали; 3 — магнитный остов молекулы; 4 — магнитная ось молекулы; 5 — схемы замещения электромагнитных моделей клеток; 6 — квадруполь центримеры; 7 — направленное закручивание хроматид.

хлоропластов и других протоорганелл из молекул, имеющих дальние родственные связи.

Эти биоструктуры заполнили океан и стали тем материалом, на базе которого формировались протобионты.

На рисунке 9.1, а и б представлены две разновидности моделей микромолекул, из которых формируются нити, подобные рибосомам и хромосомам, а на рисунке 9.1, в показан сам механизм сочленения, например, молекул аденина, гуанина, цитозина и тимина (в ДНК) или урацила (в РНК) в хромосомах и рибосомах.

В этих молекулах ядра атомов структурируются за счет валентных (электрических) связей с помощью ор-

биталей. Электронные орбитали формируют магнитные поля, которые связывают молекулу в единый электромагнитный объект.

Ученые давно пытаются раскрыть механизм межатомных связей в молекулах. Однако представления о движении электрона на атомных орбитах и модели молекул с учетом этих орбит все еще не подтверждены экспериментально. Они останутся бездоказательными до тех пор, пока не удастся экспериментально определить скорость электрона на орбите, форму и размеры орбиты, а также координаты электрона в заданный момент времени.

Ученые вместо термина «орбита» используют понятие «орбиталь», означающее пространство, в пределах которого обитает (вращается) электрон внутри атома. Другими словами, орбиталь — это пока только вероятностное понятие.

Орбитали могут быть в виде сферы, расположенной вокруг ядра, или в виде гантелей, если электрон вращается вокруг, например, двух ядер (рис. 9.1).

Используя эти представления, построим электромагнитные модели биогенных молекул и покажем на них возможные варианты стыковки их в биополимеры. Подобные модели могут быть использованы и для объяснения таких явлений, как гидрофобность (несмачиваемость), гидрофильность (смачиваемость) и ряд других.

Микромолекулы (рис. 9.1,а и 9.1,б) имеют два магнитных контура: один — замкнутый, и второй (осевой) — разомкнутый. При формировании хромосомы, рост которой идет в обе стороны от центrimеры, представленной здесь квадруполем, магнитная состыковка молекул развивается в противоположных от центrimеры направлениях. Эти противоположные половины имеют обратно направленные магнитные моменты, которые вызывают их закручивание в разных (правом и левом) направлениях. Такой же принцип реализован природой и в процессе скручивания длинных макромолекул в глобулы.

На рисунке 9.2,а показано устройство мембраны, а на рисунке 9.2,б — упрощенная модель головки молекулы липида. У нее должно быть по меньшей мере 4... 6 продольных контуров, связанных в единый объемный электромагнитный механизм. Состыковка молекул в мо-

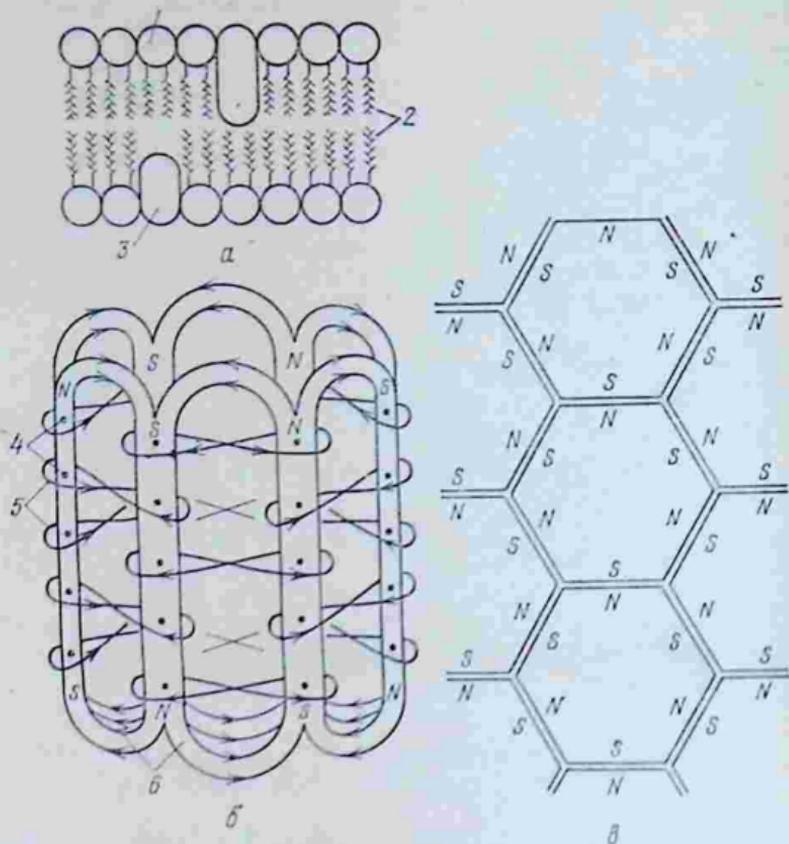


Рис. 9.2. Устройство мембраны (а), упрощенная электромагнитная модель головки молекулы липида (б) и схема магнитной состыковки липидных молекул в мономолекулярный слой (а):

1 — головка молекулы липида; 2 — «хвосты» молекул; 3 — белковые молекулы; 4 — ядра атомов; 5 — электронные орбитали; 6 — магнитный остов молекулы.

номолекулярный слой должна происходить главным образом за счет магнитных связей, как это показано на рисунке 9.2, в.

Электромагнитные механизмы субклеточных структур являются чувствительными приемниками электромагнитной энергии от солнца, атмосферных разрядов и т. д. Именно этим можно объяснить обнаруженную А. Г. Чижевским тесную корреляцию между многими явлениями в биосфере и солнечной активностью.

## 9.2. Принцип электромагнитной релаксации и его роль в зарождении жизни и формировании процесса обмена веществ

Здесь рассматривается электромагнитная модель зарождения обмена веществ как проявления вездесущего принципа электромагнитной релаксации (ЭМР), которая обеспечила возникшее еще у протобионтов — органических микрокапель ритмичное движение, перешедшее эволюционно к органеллам и клеткам.

Эта модель возникновения обмена веществ у первичной коацерватной капли — протобионта, а затем эволюционного перехода к обмену веществ у протоклетки в своей основе имеет схему, подобную известному в электро- и радиотехнике релаксационному генератору электромагнитных колебаний (*RC*-генератор).

Принцип действия *RC*-генератора можно уяснить по схеме на рисунке 9.3,а. Конденсатор *C* заряжается от источника электрического напряжения через переменный резистор *R*, сопротивлением которого можно регулировать скорость поступления зарядов на обкладки конденсатора. По достижении напряжения на конденсаторе пробивного значения (30 кВ для воздушного промежутка, единицы и десятки вольт для различных жидких и газообразных сред) происходит разряд (пробой) через разрядный промежуток *FV*. Энергия, накопленная в заряде, превращается в энергию химических взаимодействий, электромагнитных излучений и в теплоту. В природе этот разряд может носить ионный, тлеющий, искровой или дуговой характер. После разряда конденсатора он снова заряжается, и затем снова происходит разряд и т. д. Частота колебаний зависит от напряжения источника питания, скорости зарядки и значения пробивного напряжения.

Если напряжение источника *U*, сопротивление *R*, емкость конденсатора *C* и разрядный промежуток *FV* имеют неизменяющиеся величины, то эти разряды носят периодический характер и выглядят, как на рисунке 9.3,б. Но если указанные параметры нелинейные или

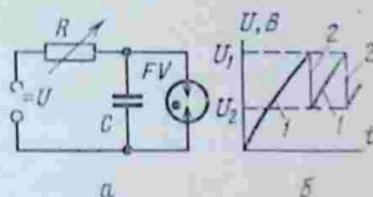


Рис. 9.3. Схема релаксационного генератора (а) и характер процесса релаксации (б).

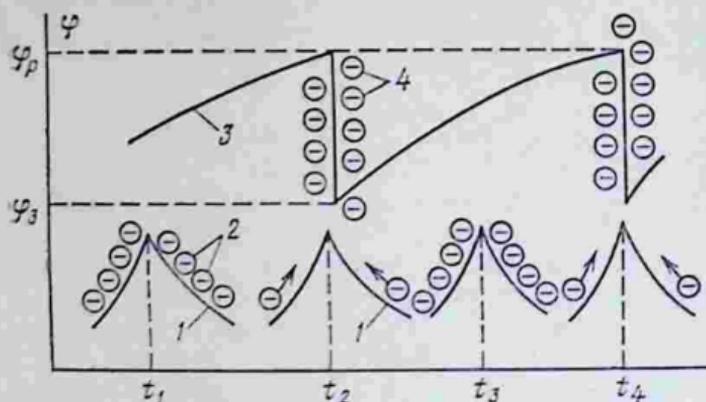


Рис. 9.4. Характер ЭМР на острие поверхности Земли: 1 — острие в различные мгновения ( $t_1 \dots t_4$ ); 2 — накапливающиеся на острие электроны; 3 — потенциал на острие в разные мгновения; 4 — истечение облака электронов с острия;  $\varphi_3$  — потенциал Земли;  $\varphi_p$  — потенциал разряда.

меняются во времени, то колебания могут носить самый различный характер.

В природе подобные периодические или аperiodические (с неравномерными промежутками времени между разрядами и различной интенсивностью) колебания постоянно происходят при истечении зарядов с острий земной поверхности. На рисунке 9.4 показано, как электроны накапливаются на остриях элементов поверхности, например песчинок. В момент, когда этот заряд достигает критического значения, при котором напряженность поля у острия достигает разрядного значения, происходит истечение порции зарядов в атмосферу. А электроны с поверхности Земли постоянно устремляются на острие.

Это явление пульсирующего движения заряженных частиц иллюстрирует вездесущность принципа электромагнитной релаксации (ЭМР).

В определенных условиях окружающей среды по схеме RC-генератора работают и коацерватные микрокапли. Можно построить целый ряд моделей этого процесса для плавающей капли, для капли, взлетающей вместе с брызгами от волн и получающей заряд одного знака в воде, а другого в атмосфере, для капли, прикрепленной к выступу скалы, омываемой волной, и т. п.

Рассмотрим один из вариантов вынужденной ЭМР капли, находящейся на поверхности воды, насыщенной

органическим материалом. На рисунке 9.5 изображена капля, имеющая диэлектрическую оболочку — липидную мембрану. Участки 1 и 4 этой мембраны будут принимать заряды одного знака или противоположных знаков в зависимости от того, будет ли капля покрыта пленкой воды от волны или окажется всплывшей и подвергающейся действию оседающих паров атмосферной влаги.

Если оболочка-мембрана состоит из взаимоподвижных элементов, то со временем они выстроятся так, как это обусловит электрическое поле Земли: низ и верх оболочки будут нести большую долю зарядов противоположного знака, они будут более плотными за счет сжатия электростатическими силами от зарядов по обе их стороны, чем боковой пояс, не несущий зарядов. Предположим, что боковые участки 2 и 5 являются этими нейтральными и рыхлыми элементами. Нижний участок 4 при этом держится на скале, имеет постоянный знак заряда минус. Внутренний нижний заряд капли будет положительным. Верхний участок капли, захлещнутой водой, будет иметь заряд минус снаружи, плюс изнутри; капля расширяется под действием электростатических сил  $F$  и втягивает внутрь питательный бульон 3 (указано стрелкой 6). За этой электромагнитной стадией следует вторая стадия — электрохимическая — взаимодействие внутреннего содержимого.

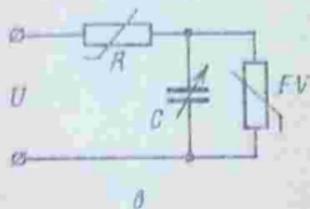
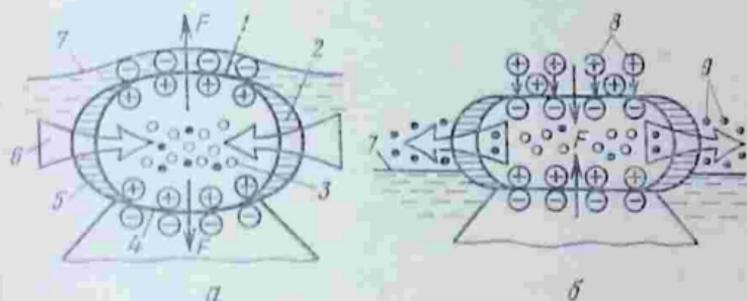


Рис. 9.5. Модель электромагнитной релаксации органической капли (протобионта) — зарождение процесса обмена веществ (а и б); схема замещения клетки (органеллы) в процессе ЭМР (а).

При понижении уровня моря или всплытии капли она окажется под воздействием, например, тумана, несущего положительные ионы 8. Участок 1 снаружи приобретет знак плюс, а ее внутренняя поверхность — знак минус (рис. 9.5, б). Капля осуществит сброс наружу продуктов отхода 9, которые благодаря своей нейтральности оказались у стенок 2 и 5. Таким образом, на третьей, электромеханической, стадии замкнется полный цикл обмена веществ.

Жизнь могла зародиться как в гидросфере, так и в нижних приземных слоях атмосферы. Если релаксирующая капля оказалась на скале, то в какой-то момент она втянет в себя ионы углекислого газа, воды и частицы в составе тяжелых ионов. Среди этих частиц могут оказаться ионы элементов, меняющих свою проводимость под воздействием квантов лучистой энергии Солнца. Тогда электромеханическая стадия обмена веществ произойдет при малейшем изменении потенциала между нижней и верхней полусферами капли. Так могли возникнуть предки автотрофных, в то время как начало гетеротрофным положили релаксирующие капли, плавающие в воде и вбирающие в себя молекулы аминокислот.

Процесс провокации разряда — электромеханической стадии воздействующими квантами от Солнца — положил начало фотосинтезу, то есть процессу, который протекает только в условиях достаточной освещенности.

Процесс электромагнитной релаксации, повторявшийся достаточно долгое время у мириадом микрокапель, достигал автоматизма вследствие самонастройки, то есть перераспределения под действием электростатических сил и электрохимических реакций молекул и атомов различных элементов, содержащихся в каплях. Таким образом формировались устойчивые дееспособные образования, требующие для своего периодического сокращения и расширения все меньшей и меньшей интенсивности воздействия внешних сил.

Эволюционно эта пульсация передалась органеллам, клеткам, органам. Схема замещения клетки в процессе ЭМР приведена на рисунке 9.5, в. На такой схеме могут быть получены и колебания, подобные электрограммам органов у высших животных.

### 9.3. Роль электромагнитного движения при росте клетки. Деление клетки как следствие ее электромагнитного симметрирования

Механизм передвижения отдельных атомов, молекул и их ионов внутри клетки (рис. 9.6) от стенок мембран, через которые они вошли внутрь клетки, к органеллам и по другим траекториям можно представить в виде колебательно-поступательного перемещения вдоль силовых линий, образуемых главными центрами — доменами внутриклеточного магнитного поля. Частицы или их объединения будут совершать колебательные движения — вибрацию, если на них воздействуют электромагнитные поля резонансной частоты. Этим резонансом можно объяснить процесс избирательного взаимодействия на расстоянии подобных (резонирующих между собой) молекул и клеток, факт их движения в строго выбранных направлениях и «узнавание» друг друга, окружающей среды и места своего назначения.

Таким образом, жизнь на уровне клетки — это есть самая совершенная форма электромагнитного движения, сформированного с помощью процессов ЭМР внутриклеточных систем, имеющих заданные электромагнитные параметры.

В процессе роста клетки электромагнитная природа проявляется в сигнализации от генов к строительным частицам. Можно построить различные модели возбуждения электромагнитных колебаний того или иного гена, а следовательно, и резонансного колебания строительных частиц, соизмеримых и резонирующих с тем или другим геном. Причем должна существовать определенная временная программа вступления в работу того или иного гена, то есть возникновения у него электромагнитных колебаний собственной частоты.

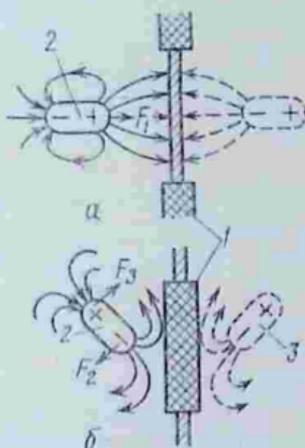


Рис. 9.6. Формирование полей у мембран:

*a* — в районе участка мембраны с проводящими свойствами; *б* — на участке с изоляционными свойствами; 1 — мембрана; 2 — диполь; 3 — зеркальное изображение диполя;  $F_1$ ,  $F_2$ ,  $F_3$  — силы, действующие на диполи.

ты, которая должна зависеть от времени суток и внутриклеточной ситуации. И то, и другое имеет электромагнитное отображение.

Именно электромагнитной связью можно объяснить, как передается код, хранящийся в ДНК в ядре клетки, за его пределы к молекулам РНК, собирающим из молекул аминокислот макромолекулы белков, характерных для данного объекта.

Особенностью клетки является ее асимметрия в отличие от симметричного строения многоклеточных биообъектов. Если устойчивость симметричных организмов трактовать как следствие сцепляющего действия уравновешенного электромагнитного остова биообъекта, то у асимметричных клеток акция деления предваряется формированием симметричного электромагнитного поля. Клетка при этом растет, образуются все новые органеллы, и происходит нарушение равновесия между массой клетки и электромагнитными силами объединения симметричных частей в единой клеточной ячейке аналогично тому, как в случае сцепления двух электромагнитов: они распадаются, если уменьшатся ампервитки при постоянной массе или если возрастет их масса при постоянных ампер-витках.

Плоскость симметрии в электрическом поле в зависимости от того, рассматривается ли поле между двумя одноименными или разноименными полями, ведет себя или как изолятор, или как проводник (рис. 9.6, а и б). Это, в свою очередь, скажется на направлении движения клеточных элементов, в том числе протоплазмы. Если в электрическом поле установить перегородку из проводящего материала (рис. 9.6,а), то поле изменится так, как если бы за этой перегородкой появился заряд обратного знака. Силовые линии, замкнувшиеся на перегородке, представляются как часть линий между существующим (фактическим) и зеркальным полюсами. Если вносится перегородка из изоляционного материала (рис. 9.6,б), а таким материалом являются липидные участки мембраны, то зеркальный заряд будет иметь тот же знак, что и фактический. Силовые линии будут отталкиваться от перегородки.

И, наконец, если участок мембраны будет полупроводящим, то поле будет искажаться в зависимости от параметров перегородки. Эти поля, постоянно симметрируемые с зеркальными (замембранными) полюсами,

будут сказываться и на формировании траекторий движения строительных молекул.

Так как в соответствии со вторым началом термодинамики запас свободной энергии в системе стремится стать минимальным, следует ожидать, что мембрана должна регулировать свою проводимость так, чтобы поле имело минимум искажений. Этот акт должен лежать в основе процесса саморегулирования устойчивости мембраны.

В свою очередь, наложение на клетку, органеллу или ядро внешнего поля должно приводить мембрану в действие, направленное на уменьшение вносимых силовых искажений. Появляются дополнительные стимулы для повышения активности органелл внутри клеток, а также их самих. В результате интенсифицируется процесс обмена веществ в клетке, что и лежит, например, в основе повышения энергии прорастания семян.

Имеется еще одна особенность у модулей клеток живых систем: молекулы воды, белков, жиров, углеводов, аминокислот являются диамагнетиками, то есть имеют скомпенсированные магнитные моменты и поэтому ориентируются поперек достаточно сильного магнитного поля и выталкиваются из него. Эта особенность молекул диамагнетиков играет, по-видимому, главную роль, например, в удвоении органелл клетки путем почкования (отрастания).

Как уже отмечалось, движение строительных молекул к тому или иному модулю клетки, возможно, осуществляется за счет резонансных явлений и наличия силовых линий. И если модуль (органелла) ослаблен и теряет интенсивность своего поля, то строительная молекула идет на его укрепление. Если же органелла находится в зените своей активности, то строительные молекулы у ее поверхности в зоне сильного магнитного поля круто поворачивают и выталкиваются полем (диамагнитный эффект). Собираясь рядом с органеллой, они формируют ее подобие по электромагнитной матрице, которую имеет сама органелла.

#### **9.4. Структурированное электромагнитное поле как одна из основных особенностей биологических систем**

С учетом изложенного в предыдущем параграфе правомерно говорить о существовании структурированного

электромагнитного поля (СЭП) в биологических системах и о его роли в возникновении, эволюции и регулировании процессов жизнедеятельности. При этом следует отметить, что в литературе (В. А. Энгельгардт) показано, как многочисленные и разнообразные силы слабого взаимодействия атомов и молекул (ван-дер-ваальсовы, ионные, дипольные) создают в биологических системах специфическое силовое поле, которое можно назвать интегративным полем. Ученые считают, что биологические системы содержат неравномерную фотонную констанцию, выполняющую роль информационно-регулирующей системы клетки. Мы полагаем, что структурированное иерархичное электромагнитное поле клетки является ее свойством, связанным с иерархичной антиэнтропийной материальной организацией и эволюционно сформировавшимся вместе с ней. Другими словами, СЭП — это общее свойство структурированной материи, отражающее электромагнитные взаимодействия всех ее частей и участвующее в реализации биологических процессов.

Простейшим элементом СЭП биосистемы является поле, создаваемое электроном при движении по орбите и вокруг своей оси. Если учесть планетарную структуру атома, разную степень заселенности ее уровней, структуру и заряд ядра, его взаимодействие с электронами, то, очевидно, можно говорить, что атомы каждого элемента имеют свойственную только им микроструктуру (конфигурацию, рисунок) СЭП. Такое поле должно проявляться в распределении плотности силовых линий и зон напряженностей электромагнитного поля, соответствующих по значению и рисунку пространственному распределению и характеру движения атомарного заряда. Причем СЭП атома не только заполняет внутриатомное пространство, но и в какой-то мере распространяется за пределы материального остова атома, создавая определенную для данного вещества конфигурацию поверхностного или внешнего поля атома.

Такая пространственная электромагнитная структура атомов, в особенности их поверхностная конфигурация, по-видимому, может предопределять степень физико-химического родства, комплементарность и соответственно характер стыковки атомов при их взаимодействии и установлении связей. Это определяет, на наш взгляд, не только возможные направления роста моле-

кулярных цепей в первичной структуре, например биогенных молекул, но и тот геометрический набор форм (конфигураций), в которые эти цепи могут складываться при формировании вторичных, третичных и более сложных надмолекулярных структур. При переходе от атомов к биогенным макромолекулам в формировании поля участвуют все виды связей (ковалентных, водородных и слабых), поле усложняется, становится более информативным, функционально активным, приобретает дополнительные свойства.

Несомненно, что еще на ранних этапах биологической эволюции взаимодействия факторов среды и электромагнитных структур поля первичных образований придавали определенную направленность эволюции живого вещества. Процесс взаимодействия органического вещества и его СЭП протекал в неразрывном единстве на всех этапах эволюции жизни. Процесс также направлялся естественным отбором. Адапционно неустойчивые конформации вещества и поля погибали, а более совершенные эволюционировали далее.

Эти процессы в сопряжении с известными биохимическими и протофизиологическими процессами привели к формированию клеточных надмолекулярных структур и связанного и сопряженного с ними структурированного кооперативного поля клетки.

Такое поле, на наш взгляд, как некий исполнительный механизм, заложенный в материальной организации, может участвовать в реализации всех тех биологически важных свойств, которыми, согласно теории кооперативных фазовых переходов, разработанной С. В. Коневым, С. В. Аксенцевым и Е. А. Черницким, обладает надмолекулярная кооперативная конформационная организация материала клетки. Оно может перестраиваться под влиянием внешних и внутренних факторов, вызывая за собой генерализованное адапционное перестроение материальной структуры и метаболизма клетки, участвовать в трансформации, в передаче и накоплении энергии и информации. Аргументируя необходимость разработки теории СЭП открытых биологических систем, следует отметить, что она откроет пути к объяснению целого ряда явлений, которые на базе известных биохимических и морфоструктурных представлений объясняются плохо или не объясняются совсем,

Прежде всего следует отметить, что СЭП, хотя и обусловлено структурой материального носителя, все же не повторяет его конформационной организации, а имеет свой, как бы выполненный в изометрии, рисунок пространственной конфигурации распределения структуры поля различной напряженности, сформировавшейся в результате наложения и деформации СЭП элементов при их объединении в кооперации. Несмотря на первичность и приоритет структурированного материального носителя зарядов, в функциональном аспекте инициатива принадлежит полю, поскольку взаимодействие материализованных зарядов начинается с взаимодействия их полей. Кроме того, СЭП заполняет все внутриклеточное пространство и выходит за его пределы, обеспечивая тем самым возможность направленного генетически детерминированного транспорта и обмена веществ, облегчая возможность межклеточных контактов при их объединении в ассоциации, в ткани, органы, организм. Если, учитывая разную электромагнитную природу связей между атомами и молекулами, попытаться оценить СЭП клетки, то можно увидеть ее иерархичность и информативность.

Эволюция живого так распорядилась со связями биологических веществ (в особенности ковалентными), что наиболее прочные достались нуклеиновым кислотам, ответственным за наследственную информацию, следующими по прочности оказались связи структурных белков, а жиры и углеводы, призванные участвовать в энергообмене клетки, оказались рыхлосвязанными.

В свете этих представлений можно предположить, что наиболее структурированным, сильным и информативным электромагнитным полем в клетке обладают хромосомы с упакованными в них молекулами ДНК. Возвращаясь к рисунку 9.1, можно предположить, что поле хромосом в самых общих чертах сходно с полем электромагнитного устройства соленоидного типа, где СЭП элементов складывается в усиленное общее СЭП.

Можно сказать, что структурированность, иерархичность, генетическая информативность поля обуславливаются характером надмолекулярных, конформационных построений клеточного вещества.

В то же время на всех этапах формирования СЭП поля первичных элементов очевидно предопределяет характер самосборки целого из элементов. Так можно

предположить, что поле хромосом может служить своего рода пространственной матрицей, определяющей направленность биосинтетических формообразовательных процессов, обеспечивает генетическую предопределенность программы создания фенотипа клетки и организма в целом.

Разработка теории СЭП клетки и организмов может иметь большое значение для понимания природы воздействия на живые системы электрофизических, температурных и других факторов среды. Так, при обработке семян растений электрическими и магнитными факторами процесс может начаться с действия внешнего поля на СЭП семени, вызывающего системную деформацию последнего. Это может привести к кооперативным конформационным переходам структур клеток семени, в том числе и хромосом (особенно зародышевых), из устойчивого состояния с низким содержанием относительно свободной конформационной энергии в состоянии с ее высоким содержанием.

Таким образом семена могут поглотить и задержать в себе достаточно долго (недели, месяцы) энергию внешнего электрофизического воздействия. Если условия хранения семян после их электрофизической обработки позволяют им сохранить в себе энергизированное заряженное состояние, то после высева семян биохимическая релаксация энергизированного состояния может обеспечить стимулирование ростовых процессов и повышение их всхожести. Если же обработка семян вместе с их энергизацией вызвала так же необратимые повреждения структур и до начала ростовых процессов (после посева) энергизированное состояние успело инактивироваться, то результат обработки может быть отрицательным.

Перспективы исследования роли СЭП в излучении пространственно модулированных структурированных импульсов, несущих в себе информацию о состоянии не только центров излучения, но и всего СЭП.

Следует отметить, что разработка теории СЭП биологических систем делает первые шаги и ждет своих исследователей.

Несомненно, что и в процессах взаимодействия живых объектов с внешними электромагнитными полями, которые достаточно хорошо изучены, СЭП играют ведущую роль.

## 9.5. О природе воздействия на семена различными формами электромагнитной энергии

Сделаем попытку оценить электромагнитную структуру клетки, характер протекающих в ней процессов и показать возможные места поглощения энергии, воздействующей извне. Наиболее универсальными и многофункциональными элементами клетки являются мембраны, окружающие ядро, ее органеллы и клетку в целом. Функции мембран очень разнообразны: избирательно транспортируют ионы и небольшие молекулы с одной поверхности на другую, выполняют роль рецепторов для некоторых соединений, являются механической опорой органоида или клетки и их электрическим изолятором, служат для размещения различных ферментов. Мембраны могут преобразовывать световую энергию в химическую и энергию биологического окисления в химическую.

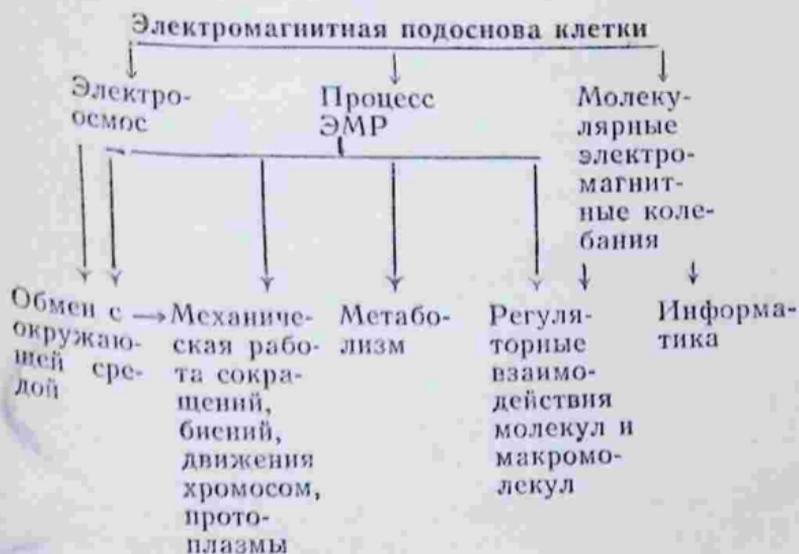
Мембрана поляризуется, если ее поместить в электрическое поле, а перераспределение зарядов на ее поверхности сопровождается протеканием электрического тока.

Как мембрана, так и практически все механизмы субклеточных структур являются чувствительными приемниками электромагнитной энергии, приходящей от естественных и искусственных ее источников. Ее воздействие на клетку должно приводить к расшатыванию ассоциативных связей в доменных образованиях, что повышает активность в благоприятных, например, для прорастания условиях. А сильные воздействия могут привести к определенным перестроениям в самих молекулах и их мутациям. Интенсификация процесса обмена веществ в клетке, вероятно, и лежит в основе повышения всхожести семян (энергии прорастания). Что же касается ожидаемой прибавки урожая, то она зависит от того количества веществ, которое растение сможет взять из почвы за весь вегетационный период. Поэтому следует иметь в виду, что любое электрофизическое воздействие на биообъект может дать эффект лишь при использовании его в увязке с общей системой мероприятий по обеспечению жизнедеятельности объекта. Массовое применение того или иного воздействия без такого системного подхода показывает, что суммарный эффект, как правило, может быть и положительным, и

отрицательным. Вот типичный пример отрицательного результата: предположим, что стимулирована всхожесть семян и они быстро проросли после посева. Но дожди задержались, и растения увяли. Нестимулированные же семена проросли позже, и те же дожди благоприятствовали им. Могут быть и другие негативные ситуации.

Предугадать те или иные изменения в биообъекте в настоящее время возможно путем накопления статистических данных по воздействию на него электромагнитным полем с точно заданными параметрами интенсивности, частоты, формы кривой, программы выдачи дозы и порций энергии на облучение, совместного использования ряда факторов. Целенаправленное планирование биофизических воздействий на организм станет возможным в перспективе, когда будут раскрыты картина электромагнитных полей у объекта, их параметры, резонансные частоты для отдельных структурных молекул, генов, органелл.

В заключение отметим, что именно присутствие электромагнитной подосновы в процессе деятельности и деления клетки позволяет связать все виды ее активности — химическую, осмотическую, механическую и регуляторную работу следующим образом.



На основании приведенных данных можно сделать следующие выводы.

1. В развитии живой природы первичны электромагнитные поля, создаваемые на клеточном, молекулярном и надмолекулярном уровне внутри биообъектов.

2. Главной движущей силой молекулярных превращений является электромагнитная релаксация, обеспечивающая превращение энергии электрических зарядов в электромагнитные колебания системы и в энергию биохимических реакций.

3. Живая система термодинамически квазиравновесна: нарастание энтропии на молекулярном уровне компенсируется ее снижением на надмолекулярном и клеточном уровне.

4. Жизнь есть проявление самой совершенной формы электромагнитного движения, сформированного с помощью процессов ЭМР во внутриклеточных системах, имеющих собственные электромагнитные параметры.

5. Межмолекулярные взаимодействия в биосистемах, например в хроматине ядра, носят не только электрохимический (биохимический), но и электромагнитный (биоэлектромагнитный) характер, а именно: соединение малых молекул в большие биополимеры осуществляется при помощи магнитной стыковки. К магнитным стыковкам прежде всего должны быть склонны медленно дрейфующие молекулы. К этому предрасполагает и то обстоятельство, что остовы молекул аминокислот и азотистых оснований нуклеопротеидов имеют идентичное строение электромагнитной основы.

6. Процесс формирования длинных молекул ДНК и РНК, закручивания хромосом в двойные спирали, а длинных молекул в глобулы обусловлен сцеплением строительных микромолекул в цепь с учетом единого направления у них нескомпенсированного магнитного момента, что и обеспечивает одностороннее вращение всех микромолекул, состыковавшихся в общую цепь.

7. Необнаруживаемость внутренних электромагнитных полей в клетке объясняется тем, что эти поля создаются и реализуются (эволюционно) с высоким КПД при сверхмалой дозе их расходования на внешнее излучение. Избыточность этих полей проявляется лишь в период наибольшей активности клеточного деления, вероятно, в процессе электромагнитной релаксации цен-

триолей, размеры диполей которых совпадают с длиной волны ультрафиолетовых лучей; это возможный источник митогенетических лучей (Гурвич).

#### 9.6. Стимулирование электромагнитной релаксации у растений. Возможные последствия электромагнитного воздействия

Изложенные выше представления позволяют найти подходы к объяснению основной сущности различного электрофизического воздействия на растения.

Известно, например, что для нормального прохождения метаболизма у растений требуется наличие электростатического и магнитного полей и ионов в почве и воздухе. Причем необходимо, чтобы в воздухе было больше положительно заряженных ионов. Это объясняется тем, что растения имеют отрицательный заряд Земли. Их устья рассчитаны на прилипание к ним положительных ионов  $\text{CO}_2$  и  $\text{H}_2\text{O}$ . Из этих ионов и питательных элементов почвы при фотосинтезе растение создает органическое вещество.

При фотосинтезе, который является окислительно-восстановительным процессом разложения воды с освобождением кислорода и отдачей водорода на восстановление  $\text{CO}_2$ , система  $\text{CO}_2 - \text{H}_2\text{O}$  при помощи энергии кванта превращается в систему  $\text{CH}_2\text{O} - \text{O}_2$ . Хлорофилл в хлоропластах можно представить как разрядное нелинейное сопротивление, через которое с поверхности листа растения через устья благодаря накопившемуся заряду и появившемуся потенциалу между внутренней и наружной структурами листа происходит разряд, вызывающий прохождение ионов в структуру листа и их рекомбинацию. Но этот разрядник-хлоропласт приобретает необходимую для осуществления разряда нелинейность лишь под воздействием квантов лучистой энергии.

Для того, чтобы интенсифицировать процесс фотосинтеза, необходимо ускорить накопление зарядов на листьях растения ионизацией молекул  $\text{CO}_2$  и  $\text{H}_2\text{O}$  при достаточном освещении. На практике это достигается, например, мелкодисперсным дождеванием, при котором за счет баллоэлектричества происходит ионизация молекул воды и передача этих зарядов молекулам  $\text{CO}_2$ . Значительный эффект на злаковых достигается при

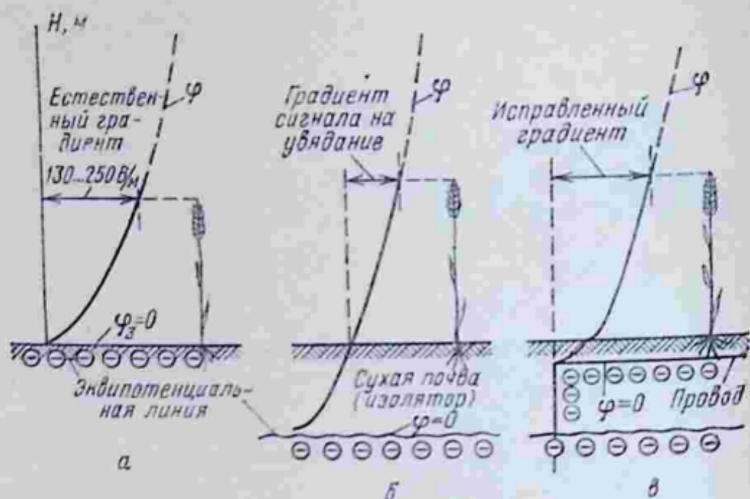


Рис. 9.7. Формирование естественного градиента в зависимости от степени иссыхания почвы.

дождевании электризованной водой с сообщением ее каплям положительного заряда. Это обеспечивает более высокую интенсивность процесса биоэлектрохимических превращений.

Интенсификацию ионного окружения в соответствии с гипотезой электромагнитной релаксации можно представить как фактор, обеспечивающий более быстрое заряджение природного конденсатора в релаксационном генераторе на уровне клетки. Действительно, обращаясь к рисунку 9.3, можно показать, что интенсифицировать работу  $RC$ -генератора можно, увеличив напряжение источника питания  $U$ , емкость  $C$  и регулируя параметры разрядника. А нарушения в этих элементах приведут к сбою в работе генератора. Аналогично должно быть в природе.

Так можно показать, что растение начинает увядать вследствие резкого снижения привычной напряженности, вызванного, например, высыханием почвы (рис. 9.7).

На рисунке 9.7,а показано, как сформирован обычный естественный градиент 130...250 В при влажной почве. При иссыхании почвы эквипотенциальная линия уходит вниз, падает интенсивность образования ионов, растение оказывается под действием значительно меньшего градиента, который и является сигналом на увядание (рис. 9.7,б). Чтобы исключить влияние этого фак-

тора на интенсивность жизнедеятельности растения, необходимо исправить градиент путем, например, прокладки на глубине 30...40 см под растениями провода\*, один конец которого опущен вглубь до влажных слоев грунта, или устраивать на этой глубине каналы путем уплотнения почвы, в которых будет конденсироваться влага, следов которой достаточно для исправления градиента.

Таким образом, задержать увядание растений можно не только поливом, но и воздействием электростатического поля, создавая между корневой системой и вершиной стебля градиент потенциала, близкий к оптимальному. Наилучший результат будет при совместном использовании этих факторов.

### 9.7. Электромагнитные явления на уровне организма

Ученые уже давно определили, что собственные источники электричества имеют все живые организмы. Эти источники проявляются присутствием потенциалов на коже, на отдельных органах. Поля появляются вокруг размножающихся грибов, водорослей, бактерий. Наиболее мощные источники электроэнергии обнаружены у отдельных морских животных и рыб.

В поведении простейших ведущую роль играют окружающие их электрические и магнитные поля. Обнаружены бактерии, которые движутся вдоль силовых линий в магнитном поле по направлению к полюсу.

Планирии, моллюски, многие простейшие благодаря наличию собственного электричества могут ориентироваться в магнитном поле, то есть в пространстве. Собственные поля имеют строго заданные параметры для данного типа живого объекта. Именно этим можно объяснить тот факт, что инфузории, находящиеся в постоянном быстром хаотическом движении, никогда не сталкиваются друг с другом.

Магнитное поле влияет на интенсивность развития простейших. Хлорелла интенсивнее делится при магнитной напряженности 400...500 Э, а при дальнейшем увеличении магнитной напряженности эта активность снижается. Воздействие магнитным полем на ферменты приводит к некоторому повышению их активности.

\* Н. А. Артемьев. Проблемы энергвоздействия на рост растений, М.: ВАСХНИЛ, 1936.

Ученые давно заметили и с помощью косвенных опытов показали, что насекомые общаются между собой с помощью электромагнитных сигналов\*. Самка бабочки помещалась в клетку ночью на балконе. Слетающих к ней самцов отлавливали и, пометив краской, уносили на 6...8 км от самки. У части самцов при этом удаляли усики. Через 40...45 мин самцы с неповрежденными усиками вновь слетались к клетке с самкой. Самцов, лишенных усиков, у самки не обнаруживали. Отмечается, что длина волны этих излучений у бабочек находится в пределах 8...14 мк. При анализе возможных механизмов излучения электромагнитных сигналов предпочтение следует отдать принципу действия на основе диполей Герца, которые могут быть образованы элементами члеников усиков и получать подпитку за счет трибоэлектричества, генерируемого на хитиновых крылышках насекомых в полете при трении о воздух. Благодаря этому насекомые могут и ориентироваться при полете или посадке относительно поля Земли.

Не оставляет сомнения тот факт, что пчелы-разведчики передают информацию о месте расположения взятка рабочим пчелам в ульях путем перезаписи информации о полете на их ферромагнитные системы, способные хранить память. При взмахах крыльев вырабатывается необходимое для этого трибоэлектричество.

Следует отметить, что электрические заряды, которые возникают на теле насекомого, могут использоваться им и для ускорения или замедления полета. Например, заряженные частицы, осевшие на теле насекомого, могут истекать в виде реактивных струек при распрямлении тонких волосков, покрывающих тело насекомого. Эти частицы — атомарные или молекулярные ионы, пылинки, капельки — подвергаются действию ускоряющих сил за счет высокого уровня напряженности на границе тельца насекомого с воздухом, приобретают определенную скорость истечения и приводят к резкому увеличению или снижению скорости полета насекомого. Именно на аналогичном принципе устроены ионные двигатели для космических полетов. Скорость истечения заряженных частиц определяется по формуле

$$v = \sqrt{2 \frac{e}{\mu} U},$$

\* В. В. Кажинский. Биологическая радиосвязь? Киев: АН Укр. ССР, 1963.

где  $e$  — заряд частиц;  $m$  — масса частиц;  $U$  — ускоряющее напряжение.

Таким образом, здесь открываются возможности разработки методов управления лётом насекомых, привлечения вредных насекомых к местам их сбора и уничтожения, а полезных — для опыления сельскохозяйственных культур.

Следует отметить, что наиболее полно исследовано взаимодействие электромагнитных полей и морских животных. Многочисленными исследованиями доказано, что всякий организм в водной среде обитания способен генерировать электромагнитные излучения, воспринимать и расшифровывать их. Это необходимо с целью добычи пищи, связи с сородичами и защиты от врагов. Рыбы, в частности, разделяются на сильноэлектрических, создающих вокруг себя электрические поля с градиентом в несколько десятков вольт на сантиметр, слабоэлектрических и неэлектрических. У последних специализированные (заметные) электрогенеративные органы отсутствуют и их поля образуются от нервно-мышечных токов (100...200 мкВ, 0,1...1 кГц). Замечено, что рыбы собираются в стайки под воздействием электромагнитного поля. Биополя отдельных рыб в стае суммируются, и общее поле является индикатором движения. Электрические сигналы в воде воспринимаются с помощью электрорецепторов. Такие рецепторы имеют и наземные животные. Очень высока чувствительность, например, электрорецепторов на теле рыб — около 0,01 мкВ при входном сопротивлении порядка 1 МОм. Это значительно выше чувствительности, которую можно обеспечить в гальванометрах. Многие рыбы обнаруживают электрическое поле приближающегося землетрясения. Эти землетрясения провоцируются мощными разрядами накопившегося на отдельных слоях Земли электричества.

Индивидуальные и общие поля должны присутствовать у птиц, а также у наземных животных, в том числе и у млекопитающих. Биоинформация у животных, находящихся на значительных расстояниях друг от друга, чаще всего проявляется в связи с теми или иными эмоциональными побуждениями и состояниями. С привлечением способности реагировать и излучать электромагнитные сигналы можно объяснить, как собака или лошадь находят издали путь к хозяину, птица —

к гнезду, самка — к детенышу, самец — к самке и как особи предупреждают друг друга об опасности. Ученые все настойчивее утверждают наличие тесной связи биообъектов с окружающим электромагнитным полем и признают большую роль биоэлектрических полей в поведении живых систем.

В настоящее время, хотя природа генерирования, передачи и приема электромагнитных сигналов у рыб еще не разгадана до конца, уже широко применяются электрические методы лова рыбы, управления движением косяков, отпугивания. В перспективе могут быть найдены и методы воздействия на сухопутных животных электромагнитным полем с целью управления их поведением.

### **9.8. Проявление принципа электромагнитной релаксации у высших животных**

Электрофизиологические процессы, протекающие в организме высших животных, имеют эволюционно сохранившуюся биоэлектромагнитную основу.

Прежде всего приведем ряд фактов, подтверждающих не только единство происхождения растений и животных от простейших, соответственно автотрофных и гетеротрофных, но и показывающих, как в процессе эволюции сохраняются основные элементы строения и физиологии организма. Это прежде всего известный факт схожести крови у высших организмов и морской воды по минеральному составу. Причина здесь в том, что у одноклеточных обмен веществ осуществлялся с привлечением окружающей морской воды через поры оболочки. Затем у многоклеточных животных обмен осуществлялся с помощью гидролимфы, аналогичной по составу морской воде. В процессе эволюции гидролимфа превратилась в кровь, сохранив много общего с той же морской водой.

Другой пример устойчивости в наследовании в процессе эволюции — это родство гема и хлорофилла. Гем — небелковая часть гемоглобина, имеющая одинаковую химическую структуру у различных животных и являющаяся железоорганическим соединением, близок по структуре хлорофиллу — зеленому пигменту растений, сложному магнийорганическому соединению.

Таким образом, вполне закономерно допустить, что

наследовалась и усложнялась и электромагнитная динамика организма. У высших животных эта электродинамика проявляется в различной степени электрополярности и интенсивности зарядов отдельных органов. Например, кровяные тельца — эритроциты заряжены отрицательно, а внеклеточная сыворотка — положительно. Кислород в крови также заряжен отрицательно, причем количество эритроцитов и выделяемого ими кислорода прямо пропорционально разности потенциалов заряда эритроцитов по отношению к заряду органов потребителей.

На клеточном уровне сохраняется и изначальная электромагнитная схема работы. Главными носителями зарядов внутри клетки являются нуклеиновые кислоты, которые склонны принимать отрицательный заряд, и белки, имеющие положительный заряд. Жиры, как правило, нейтральны. Злокачественные образования у растений и животных характеризуются значительными отрицательными потенциалами в тканях и жидкостях, повышенной электрической проводимостью, уменьшенной степенью электрической поляризации. Квазистационарные токи между отдельными участками биообъекта создают изменяющееся магнитное поле. Воздействие на биообъект внешних магнитных полей приводит к изменению картины биотоков.

Простейшие организмы, растения и животные нуждаются в ионосодержащей атмосфере. В частности, животные, помещенные в клетку Фарадея, куда не проникают ионы, гибнут по мере исчерпания их резервов внутри этой клетки. А при избытке легких отрицательных ионов тонус животного повышается: лучше идет газообмен через дыхательные органы, которые заряжены положительно.

Отметим наиболее существенные проявления биоэлектромагнитной природы организма. Так, неоплодотворенная яйцеклетка (0,1 мм) содержит большое количество внутриклеточных элементов группы калия, имеет положительный заряд и неактивна до момента оплодотворения. Сперма (0,005 мм) содержит элементы натриевой группы и электроотрицательна. Оплодотворенная клетка заряжается отрицательно, поэтому в эмбрионном развитии зародыша наблюдается преобладание Na. Сперматозоид движется по направлению увеличения щелочности среды ( $pH \geq 7$ ).

Любая пара органов характеризуется физиологической полярностью: уровень потенциала одного органа всегда превышает уровень другого. Уровни потенциалов постоянно циклически изменяются. Перемещение ионов в организме, как и везде в природе, подчиняется только полярности органа. Органы и ткани, расположенные ближе к периферии, имеют положительную полярность по отношению к органам и тканям, расположенным ближе к центральной части и имеющим отрицательную полярность. Постоянное перемещение отрицательных ионов, образовавшихся во внутренних отделах организма, направлено к поверхности тела, и, наоборот, ионы с поверхности (положительные) стремятся проникнуть внутрь. Так образуются биотоки.

Эти на первый взгляд хаотические электромагнитные проявления функционирования биологических структур на самом деле имеют филигранную организованность электробиохимических процессов, в основе которых лежит электромагнитная природа обмена веществ, эволюционно постоянно развивающаяся. Подтверждением этой филигранности является в высшей степени упорядоченная картина биопотенциалов на теле животного и человека, регистрируемых с помощью электрограмм, отражающих деятельность головного мозга, сердца, желудка, мышц.

Результатом внутренних электромагнитных процессов является наличие у биообъекта также и значительного квазипостоянного биоэлектрического поля, генерируемого тканями и органами этих биообъектов, что в последние годы доказано экспериментально. Это обстоятельство создает предпосылки к диагностированию состояния организма путем измерения электромагнитного поля объекта.

Для каждого органа живого существа характерен свой уровень запасаемой им энергии. Накопление этой энергии происходит за счет биоэлектрохимических процессов в организме — превращения пищи, дыхания, воздействия солнечной энергии, температуры и влажности среды, гравитационных сил и других факторов.

Таким образом, организм живого существа является по сути дела источником электромагнитной энергии и различные функциональные нарушения влекут за собой определенные нарушения в электромагнитной системе организма. Но теперь следует внести корректировку в

последовательность событий с учетом вышесказанного, а именно последовательность процессов физиологических нарушений в организме животного в результате аномального воздействия на организм окружающей среды, или питания, или стрессовой ситуации в действительности такая: сначала возникает нарушение электромагнитной системы в организме, а затем появляются внешние признаки функционального расстройства (появление болезненности биологически активных точек, например при надавливании, опережает появление внешних признаков расстройств).

Само собой напрашивается вывод: раз речь идет о нарушении электромагнитной системы животного, то для ее восстановления в первую очередь имеет смысл применять внешние токи от постороннего источника, соизмеримые с биоэлектрическими токами организма.

### **9.9. Электропунктура животных как метод воздействия на механизм электромагнитной релаксации\***

Исследования показывают, что биологически активные точки (БАТ) проявляют электромагнитные свойства и это позволяет использовать их для внешнего приложения электрического тока с целью предотвращения развития функциональных расстройств.

В классической акупунктуре, использующей для воздействия на БАТ давление (прессопунктура), прижигание (мокса), иглокальвание (акупунктура) или электрический ток (электропунктура), имеются общепризнанные, полученные в основном эмпирически перечни нарушений и расстройств в организме человека и животных, которые связаны с теми или иными точками. При этом надо отметить, что топография БАТ на теле человека и на теле животных аналогична. БАТ объединены в двенадцать билатеральных (двухсторонних) и два центральных (срединных) меридиана.

В соответствии с современными представлениями все меридианы связаны между собой и обмениваются энергией, которая также проявляет электромагнитный характер. Максимум этой энергии перемещается из органа в орган циклически, обходя все 12 меридианов в

\* Параграф написан при участии кандидата ветеринарных наук Е. И. Любимова.

течение суток. Причем максимум меридиана сердца приходится на полдень — от 11 до 13 ч, что с позиций ретроспективного анализа указывает на влияние Солнца в возникновении процесса метаболической циркуляции жидкой среды в первичных биоструктурах.

В 13 ч максимум энергетического состояния наступает у меридиана тонкого кишечника, а далее через каждые 2 ч последовательно у меридиана мочевого пузыря, почек, перикарда, эндокринной системы, желчного пузыря, печени, легких, толстого кишечника, желудка и, наконец, с 9 до 11 ч у меридиана селезенки и поджелудочной железы. Затем снова цикл повторяется.

От ряда причин, например усталости, функциональных расстройств, цикл энергии в большей или меньшей мере нарушается. В ряде случаев он может быстро восстановиться уже при отдыхе.

При значительных функциональных нарушениях восстановлению цикла энергообмена способствует рефлексотерапия, прежде всего воздействие на БАТ.

В настоящее время в ряде стран электропунктурные воздействия на организм животных находят все большее распространение. Это связано в первую очередь с бурным развитием средств радиоэлектроники, возникновением новых научных направлений, таких, как теория сложных систем с ее нетрадиционным подходом к рассмотрению иерархии структур и функций сложнейших технических и биологических объектов, развитием математического аппарата теории случайных функций.

Электропунктура обладает преимуществами по сравнению с иглотерапией. Во-первых, в диагностическом отношении БАТ живого организма легко регистрируются на кожном покрове животного по электрическому сопротивлению, отличающемуся от сопротивления окружающих участков кожи: проводимость в БАТ намного превышает проводимость соседних участков. Это обстоятельство может быть легко зафиксировано современными средствами индикации — светящимся светодиодом, звуковым зуммером или стрелкой регистрирующего прибора. Во-вторых, терапевтическое воздействие на БАТ происходит не вслепую, как при иглоукалывании, а в строгом соответствии с показаниями прибора. При этом активный точечный электрод отрицательной полярности располагается в БАТ, а пассивный, обладающий большой площадью соприкосновения с кожей,

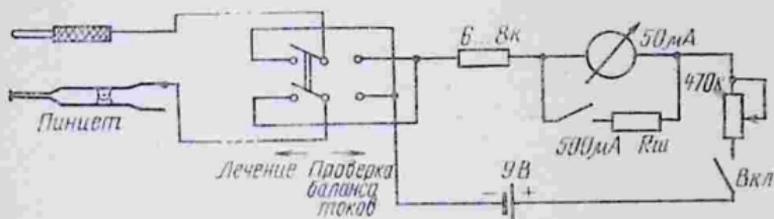


Рис. 9.8. Схема простейшего прибора для электропунктуры животных:

Пинцет — пассивный электрод.

как правило, помещается в зонах, где отсутствуют биологически активные точки, например у коровы на кожной складке у хвоста. Терапевтическое воздействие продолжается до тех пор, пока не будет достигнут эффект «баланса токов», то есть при переключении на положительную полярность стрелка микроамперметра даст приблизительно одни и те же показания ( $\sim 200$  мкА). Простейшая схема прибора, основанного на воздействии постоянным током от источника напряжения 9В, приведена на рисунке 9.8.

Для воздействия на БАТ используются также приборы с различного вида частотными модификациями типа импульсных сигналов, релаксационных, пилообразных, а также импульсных с высокочастотным заполнением. Наиболее безопасно, пока механизм воздействия электрического тока на БАТ у животных полностью не раскрыт, применять слабый постоянный ток, поскольку его можно рассматривать как шумовой сигнал, поступающий на вход сложной колебательной системы. Здесь электрический ток действует в качестве естественного физиотерапевтического способа лечения, поскольку все биохимические и обменные процессы в организме сопровождаются в той или иной мере изменением электрических характеристик.

Физиотерапевтические методы и средства успешно могут вписываться в поточную технологию ветеринарной обработки животных, не влияя отрицательно на животноводческую продукцию. Решая задачу повышения физиологичности доильных машин, профилактики и лечения мастита и бесплодия на основе электротехнологии и механизации, ВИЭСХ предложил к внедрению в про-

изводство способы и устройства УВЧ-терапии и электропунктуры, доильный аппарат с электродами в доильных стаканах, подводящими поле УВЧ, и генератор УВЧ, скомпонованные в единое устройство ЛПДА-УВЧ.

Лечебный эффект от УВЧ-поля, подаваемого на вымя для лечения мастита во время машинного доения, обусловлен главным образом тепловым и осцилляторным (вызывающим колебания молекул в тканях) действием. Эти факторы проявляют свое лечебное действие непосредственно в зоне патологического очага. Применение ЛПДА-УВЧ позволяет излечивать до 70% коров от мастита непосредственно в процессе машинного доения без применения медикаментов.

Наряду с маститом большой проблемой в промышленном молочном животноводстве является борьба с бесплодием коров. Обычные фармакологические средства, применяемые для лечения органов воспроизводства, часто оказываются малоэффективными. Установленный многочисленными исследованиями факт связи определенных точек кожной поверхности с нарушением функций воспроизводства послужил основанием для широкого и эффективного применения электропунктуры для нормализации послеотельных осложнений у коров.

Биологически активные точки яичников, двух рогов матки, шейки матки можно достаточно легко обнаружить путем измерения электрической проводимости кожи. В БАТ, соответствующих тем или иным частям органов воспроизводства, она будет на один и более порядков ниже.

Точки яичников расположены между первым и вторым поясничными отростками приблизительно на ширину ладони в сторону от срединной линии. В некоторых случаях как дополнительную можно использовать точку между вторым и третьим поясничными отростками. Эти точки, кроме яичников, влияют и на почки. Точки справа влияют на правый яичник, слева — на левый. Точки матки расположены также билатерально на подвздошном гребне посередине между бугром крестца и бугром тазобедренного сустава.

Точки шейки матки находятся на пересечении двух воображаемых линий: одна из них идет параллельно средней линии, проходящей через крестец, на ширину ладони от нее, другая — на ширину ладони каудально и

параллельно крестцовому гребню. Атлас биологически активных точек животных приведен в книге М. В. Плахотина «Иглотерапия в ветеринарии», вышедшей в издательстве «Колос» в 1966 г.

Наши исследования выявили весьма эффективную точку, расположенную по средней линии позвоночника за последним крестцовым позвонком, воздействие на которую электропунктурой в послеродовой период оказывает общее тонизирующее влияние на созревание фолликула, способствует эффективному лечению спаечных процессов и персистентных желтых тел. Кроме того, использовались точки, указанные на рисунке 9.9. Отрицательный (активный) электрод помещался в одну из этих точек, а положительный — на подхвостовую складку. Лечение проводилось до баланса токов и не превышало в тяжелых случаях 50 мин. Комиссионная проверка в 1981...1982 гг. нового метода лечения гинекологических заболеваний коров электропунктурой, проведенная специалистами Московской областной ветеринарной станции, ВИЭСХ и ВСХИЗО, установила, что применение электропунктуры на новотельных коровах приводит к выраженному противовоспалительному эффекту, вызывает тонизирующее действие на миометрии и оказывает определенное стимулирующее влияние на гениталии. Исследования последних лет (1979...1982 гг.) свидетельствуют о перспективности использования электропунктуры в животноводстве как с точки зрения простоты и доступности метода, так и по соотношениям его невысокой стоимости в сравнении с фармацевтическими средствами, а также по отсутствию побочных отрицательных последствий.

Следует отметить, что ветеринарные приборы для электропунктуры нельзя применять на людях.

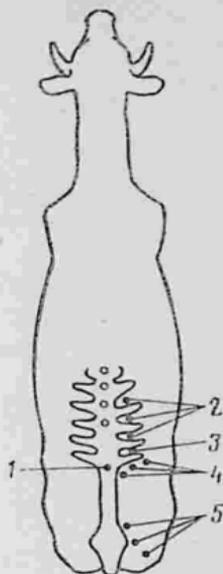


Рис. 9.9. Топография некоторых биологически активных точек у коровы:

1 — точка матки; 2 — точки яичников; 3 — точка яйцевода; 4 — точки рогов матки; 5 — точки вымени.

## УКАЗАТЕЛЬ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Продовольственная программа СССР на период до 1990 г., одобренная майским (1982 г.) Пленумом ЦК КПСС. — М.: Политиздат, 1982.
2. В. К. Аблеков и др. Приборы для определения местоположения активных точек, диагностики их состояния и терапии. — Электронная промышленность, 1976, вып. 4.
3. В. И. Анурьев. Справочник конструктора-машиностроителя. Т. 2. — М.: Машиностроение, 1979.
4. В. Баадер, Е. Доне, М. Бренндерфер. Биогаз. Теория и практика. Пер. с немецкого. — М.: Колос, 1982.
5. Н. Ф. Батыгин и др. Перспективы использования факторов воздействия в растениеводстве. — М.: ВАСХНИЛ, 1978.
6. А. В. Болгарский и др. Сборник задач по термодинамике и теплопередаче. — М.: Наука, 1974.
7. И. А. Будзко, В. Ю. Гессен, М. С. Левин. Электроснабжение сельскохозяйственных предприятий и населенных пунктов. — М.: Колос, 1975.
8. В. К. Варварин, В. Я. Койлер, П. А. Пахов. Справочник по наладке электрооборудования. — М.: Россельхозиздат, 1979.
9. М. В. Волькенштейн, Л. А. Грибов, М. А. Ельяшкевич, Б. И. Степанов. Колебания молекул. — М.: Наука, 1972.
10. А. Г. Егназаров. Отопление и вентиляция зданий и сооружений сельскохозяйственных комплексов. — М.: Стройиздат, 1981.
11. А. А. Захаров. Применение тепла в сельском хозяйстве. — М.: Колос, 1974.
12. Л. Р. Кокс, У. Л. Смит. Теория очередей. — М.: Мир, 1966.
13. С. В. Конев, С. Л. Аксенцев, Е. А. Черницкий. Кооперативные переходы белков в клетке. — Минск: Наука и техника, 1970.
14. А. В. Луковников. Охрана труда. — М.: Колос, 1978.
15. ОНТИВНИПКОМЖ. Выбор электродвигателей для сельскохозяйственных машин по условиям внешней среды.
16. Перечень действующих общесоюзных нормативных документов по строительству и государственных стандартов, утвержденных Госстроем СССР (по состоянию на 1 января 1981 г.) — М.: Стройиздат, 1981.
17. М. В. Плахотин. Иглотерапия в ветеринарии. — М.: Колос, 1966.
18. Правила производства и приемки работ. Электротехнические устройства. СНиП-Ш-33—76. — М.: Стройиздат, 1982.
19. Правила устройства электроустановок. — М.: Атомиздат, 1978... 1982.

20. А. С. Пресман. Электромагнитные поля и живая природа. — М.: Наука, 1968.
21. Л. Г. Прищеп. Эффективная электрификация защищенного грунта. — М.: Колос, 1980.
22. Л. Г. Прищеп. Учебник сельского электрика. — М.: Колос, 1982.
23. Л. Г. Прищеп, И. И. Подтынков. Электромагнитная релаксация и жизнедеятельность растений и животных. — Механизация и электрификация сельского хозяйства, 1982, № 1.
24. В. Я. Розенберг, А. И. Прохоров. Что такое теория массового обслуживания. — М.: Советское радио, 1962.
25. Руководящие материалы по проектированию электроснабжения сельского хозяйства. — М.: Сельэнергопроект, 1972...1982.
26. Сборник нормативных документов по строительному проектированию сельскохозяйственных предприятий, зданий и сооружений. — М.: Стройиздат, 1979.
27. Свен Уделл. Солнечная энергия и другие альтернативные источники энергии. Пер. со шведского. — М.: Знание, 1980.
28. Справочная книга для проектирования электрического освещения. Под ред. Г. М. Кнорринга. — Л.: Энергия, 1976.
29. Строительные нормы и правила (СНиП) по разделу «Сельскохозяйственные здания и сооружения»: СНиП-П-100—75, СНиП-П-97—76, СНиП-П-98—77.
30. М. А. Стырикович, Э. Э. Шпильрайн. Энергетика. Проблемы и перспективы. — М.: Энергия, 1981.
31. С. А. Черновский и др. Курсовое проектирование деталей машин. — М.: Машиностроение, 1979.
32. А. Г. Чижевский. Земное эхо солнечных бурь. — М.: Мысль, 1976.
33. М. Г. Чиликин и др. Основы автоматизированного электропривода. — М.: Энергия, 1981.

# ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение . . . . .	3
<b>Глава 1. Современные и перспективные формы энергообеспечения сельского хозяйства. Возобновляемые источники энергии как энергетическое подспорье</b> . . . . .	<b>7</b>
1.1. Система машин и автоматизация как главные факторы научно-технического прогресса в растениеводстве и животноводстве . . . . .	7
1.2. Формы обеспечения сельского хозяйства энергией . . . . .	10
1.3. Основные задачи в области электроснабжения сельского хозяйства . . . . .	13
1.4. Оценка перспективных методов энергообеспечения мелких потребителей . . . . .	15
1.5. Перспективы использования солнечной энергии . . . . .	20
1.6. Устройство биогазогумусных установок . . . . .	25
<b>Глава 2. Основные понятия и определения комплексной электрификации</b> . . . . .	<b>31</b>
2.1. Основные категории комплексной электрификации . . . . .	31
2.2. Общие требования к проекту. Стадийность реального проектирования . . . . .	34
2.3. Состав рабочего проекта . . . . .	36
2.4. Исходные материалы для проектирования . . . . .	41
2.5. Оценка эффективности вариантов проекта . . . . .	42
2.6. Типовые проекты. Порядок согласования и утверждения проектов . . . . .	45
2.7. Структура электротехнической части проекта . . . . .	47
<b>Глава 3. Методика проектирования комплексной электрификации хозяйства-макета</b> . . . . .	<b>48</b>
3.1. Задачи и объем макетного проектирования. Основные показатели по хозяйству-макету для данного района . . . . .	48
3.2. Примерный объем исходных данных для проектирования электрификации хозяйства-макета . . . . .	54
3.3. Методика подсчета нагрузок на освещение . . . . .	55
3.4. Методика подсчета нагрузки для обеспечения бытовых нужд и жилищно-коммунального хозяйства . . . . .	57

3.5. Методика расчета нагрузки по силовым энергоприемникам	59
3.6. Выбор аппаратуры управления к электродвигателям	60
3.7. Составление графиков нагрузки по отдельным потребителям, объектам и по хозяйству	62
3.8. Использование графиков нагрузки	63
<b>Глава 4. Методика проектирования рационального электропривода</b>	<b>65</b>
4.1. Основные характеристики рационального электропривода	65
4.2. Выбор рода тока и параметров напряжения	66
4.3. Выбор рациональной структуры электропривода	67
4.4. Выбор мощности двигателя по условиям нагрева	69
4.5. Оценка приводного двигателя на устойчивость в работе	73
4.6. Выбор степени защиты двигателя, конструктивного исполнения. Порядок сметно-финансового расчета	76
4.7. Краткая характеристика некоторых двигателей, применяемых в сельском хозяйстве	78
<b>Глава 5. Методика проектирования безаварийной работы электродвигателей</b>	<b>79</b>
5.1. Причины выхода электродвигателей из строя и диагностика предаварийных состояний	79
5.2. Выбор защиты от перегрева изоляции обмоток	82
5.3. Предупреждение увлажнения и химического разрушения изоляции обмоток электродвигателей	94
5.4. О выборе мощности электродвигателей. Компенсация реактивной мощности в сельских электроустановках	102
5.5. Эффективность индивидуальной компенсации при несимметрии напряжения и неполнофазных режимах. Выбор емкости конденсаторов	106
5.6. Предупреждение увлажнения изоляции двигателей подогревом обмоток	114
<b>Глава 6. Методика проектирования традиционных и перспективных форм электрифицированного овощеводства в защищенном грунте</b>	<b>117</b>
6.1. Характеристика сооружений защищенного грунта — вегетационных сооружений	117
6.2. Общие требования к электрификации и автоматизации защищенного грунта	120
6.3. Выбор метода обогрева сооружений защищенного грунта	122
6.4. Выбор систем электрического обогрева	124
6.5. Определение затрат на дополнительный обогрев солнечных парников и укрытий	128
6.6. Определение мощности на обогрев капитальных сооружений защищенного грунта	131
6.7. Перспективные беззаконные культивационные сооружения	134
6.8. Выбор системы дополнительного облучения (освещения) растений	138

6.9.	Выращивание растений на питательных растворах . . .	141
6.10.	Способы предупреждения губительных последствий от заморозков . . . . .	143
6.11.	Обоснование структуры и обеспечения приборами системы управления климатом культивационных сооружений с применением микроЭВМ . . . . .	146
6.12.	Основные принципы управления технологическими процессами культивационного сооружения закрытого грунта с применением ЭВМ (на примере теплиц) . . . . .	151
6.13.	Использование электрического и магнитного полей для стимуляции прорастания семян. Новый принцип действия семян, их дозированием и сепарацией . . . . .	158
Глава 7.	Проектирование экономичных систем вентиляции сельскохозяйственных . . . . .	168
7.1.	Оптимизации энергетических затрат на вентиляцию . . . . .	168
7.2.	Оптимизация термического сопротивления животноводческих . . . . .	169
7.3.	Методика расчета затрат на систему электротеплоснабжения (на примере молочных ферм КРС) . . . . .	175
7.4.	Оценка резервов экономии энергии на фильтрацию и тепловые шунты (на примере теплиц) . . . . .	181
7.5.	Оценка перспектив применения нетрадиционных источников теплоты в системах отопления сельскохозяйственных помещений . . . . .	187
Глава 8.	Методика проектирования оптимальной электро-технической службы . . . . .	193
8.1.	Общие требования и методы формирования энергетической службы в хозяйствах . . . . .	193
8.2.	Методика определения численного состава электрослужбы в хозяйствах . . . . .	195
8.3.	Пример расчета численного состава электрослужбы в подразделениях хозяйства . . . . .	209
8.4.	Методика определения оптимального числа источников приоритетных требований и подлежащего дублированию оборудования с учетом рационального варианта совмещения операций . . . . .	216
8.5.	Алгоритмы оптимизации численного состава электрослужбы . . . . .	223
8.6.	Методика уточненного расчета заработной платы электриков . . . . .	229
Глава 9.	Методические основы для анализа результатов воздействия на растения и животных электромагнитной энергии . . . . .	232
9.1.	Об электромагнитной первооснове эволюции в природе. Электромагнитные модели биогенных молекул . . . . .	232

9.2. Принцип электромагнитной релаксации и его роль в зарождении жизни и формировании процесса обмена веществ	239
9.3. Роль электромагнитного движения при росте клетки. Деление клетки как следствие ее электромагнитного симметрирования	243
9.4. Структурированное электромагнитное поле как одна из основных особенностей биологических систем	245
9.5. О природе воздействия на семена различными формами электромагнитной энергии	250
9.6. Стимулирование электромагнитной релаксации у растений. Возможные последствия электромагнитного воздействия	253
9.7. Электромагнитные явления на уровне организма	255
9.8. Проявление принципа электромагнитной релаксации у высших животных	258
9.9. Электропунктура животных как метод воздействия на механизм электромагнитной релаксации	261
Указатель литературы	266

Леонид Георгиевич Прищеп, Владимир Матвеевич Гарбуз,  
Василий Васильевич Голобородько, Башир Нурмагометович Китлад  
Александр Владимирович Малюгин, Игорь Иванович Подтынков  
Яков Яковлевич Соловьев, Василий Никитович Судаченко,  
Арташес Исакович Цатурян, Леонид Васильевич Шаповалов,  
Арнольд Павлович Якименко.

### **ПРОЕКТИРОВАНИЕ КОМПЛЕКСНОЙ ЭЛЕКТРИФИКАЦИИ**

Заведующая редакцией А. И. Гераськина  
Редактор В. М. Никитина  
Художественный редактор Н. А. Никонова  
Технический редактор Н. В. Суржева  
Корректор Д. Е. Ткачева

**ИБ № 3314**

Сдано в набор 04.05.83. Подписано к печати 21.07.83. Т-13960. Формат 84×108  
Бумага тип. № 2. Гарнитура литературная. Печать высокая. Усл. печ. л. 14.  
Усл. кр.-отт. 14,6. Уч.-изд. л. 14,85. Изд. № 263. Тираж 15 000 экз. Заказ № 35  
Цена 70 коп.

Ордена Трудового Красного Знамени издательство «Колос»,  
197807, ГСП, Москва, Б-53, ул. Садовая-Спасская, 18.

Областная типография управления издательств, полиграфии и книжной  
торговли Ивановского облсподкома, 153528, г. Иваново, ул. Типографская,