

РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ УЛЬТРАЗВУКОВОГО КАПЕЛЬНОГО ПОЛИВА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ФЕРТИГАЦИИ ПИТАТЕЛЬНОГО РАСТВОРА

Рассмотрены системы капельного полива с использованием фертигации, явления ультразвуковой кавитации. Проведены эксперименты по растворению веществ с применением ультразвука.

Ключевые слова: кавитация, фертигация, капельный полив, сириклерное орошение.

V.A. Kozhukhov, A.V. Sebin

THE DEVELOPMENT OF THE ULTRASONIC DRIP IRRIGATION SYSTEM WITH THE NUTRIENT SOLUTION FERTIGATION USE

The systems of drip irrigation with the fertigation use, the phenomena of ultrasonic cavitation are considered. The experiments on the substance dissolution with the ultrasound use are conducted.

Key words: cavitation, fertigation, drip irrigation, sprinkle irrigation.

В настоящее время в странах с развитым сельскохозяйственным производством около 3,5 млн га земель используют капельный полив и спринклерное орошение листовой поверхности с фертигацией питательного раствора. Фертигация – внесение в почву растворимых в воде минеральных удобрений. Данный метод в сравнении с основным и междуурядным методами внесения удобрений в сухом виде характеризуется более высокой урожайностью и экономической эффективностью.

Например, в Израиле на 75 % всех орошаемых сельскохозяйственных площадей используют фертигацию, с помощью которой в почву вносят более половины всего азота и фосфора и до 70 % калия под текущий урожай. В США – стране с самым большим объемом капельного орошения – на площади более 1 млн га коэффициент площадей с фертигацией очень высок и продолжает увеличиваться ежегодно.

Основной причиной роста фертигации является более эффективное усвоение растениями удобрений. Так, при расчетах норм внесения элементов питания делают расчет норм выноса элементов питания с урожаем, при этом используют коэффициенты, учитывающие степень усвоения растениями удобрений. Для азотных удобрений в основном внесении используют коэффициент на норму удобрений под вынос с урожаем, равный 1,2, при фертигации – 1,1. Для фосфорных соответственно 1,9–2,25 и 1,6. Для калийных – 1,6–1,8 и 1,2–1,4. Это первая экономия удобрений. В свою очередь, фертигация повышает эффективность водопользования, так как при одинаковом водопользовании на 1га урожайность при фертигации значительно выше, а себестоимость единицы продукции ниже.

Средние показатели урожайности при фертигации в сравнении с традиционными методами внесения удобрений (основное внесение и подкормки в междуурядья) в условиях интенсивной культуры приведены в таблице [1].

Урожайность культур при использовании систем микроорошения в комплексе с фертигацией и при традиционных методах внесения удобрений, т/га

Культура	Капельное орошение с фертигацией	Традиционные методы внесения сухих удобрений
Картофель	70	37
Морковь	54	42
Томаты (тепличные)	350	150
Томаты (открытый грунт)	180	55
Огурцы (тепличные)	300	140
Арбуз (открытый грунт)	115	60
Клубника (пленочная)	48	20

Акустическое распыление жидкости для капельного и спринклерного орошения растений. Эффективность капельного полива состоит в получении мелкодисперсной структуры фертигационного раствора. Из традиционных способов диспергирования жидкостей: гидравлического, механического и электростатического – ультразвуковое распыление обладает следующими преимуществами:

- низкая энергоемкость;
- высокая производительность процесса;
- возможность получать мелкодисперсное распыление;
- возможность получать монодисперсное распыление;
- наличие в каплях жидкости циркуляционных токов, способствующих ускорению процессов теплообмена, массопереноса на поверхности капли;
- возможность автоматического управления энергией ультразвука [2].

При ультразвуковом способе распыления жидкость переходит в аэрозольное состояние за счет увеличения поверхностной энергии пленки жидкости, которое достигается путем наложения на нее механических колебаний высокой интенсивности ультразвуковой частоты.

В настоящем нет четких представлений о механизме воздействия колебаний газовой среды на распад жидкой пленки или струи, вытекающей из акустической форсунки (в случае подвода акустической энергии из воздушной среды), как и в случае подвода акустической энергии из жидкости. Одни исследователи объясняют распыление возникновением на поверхности жидкости капиллярных волн, вершины которых при достижении определенной амплитуды отделяются от поверхности жидкости в виде капель. По мнению других авторов, распыление обусловлено возникновением кавитации с периодическим образованием во время полуцикла разряжения в пленке небольших полостей, заполненных парами жидкости. Разрушение этих полостей во время полуцикла сжатия вызывает сильные ударные волны, разрушающие поверхность жидкости и приводящие к распылению. При ультразвуковом распылении увеличение поверхностной энергии достигается путем наложения на нее акустических колебаний ультразвуковой частоты. При диспергировании жидкости в таких форсунках существенную роль играет кавитация. Для усиления эффекта ультразвукового воздействия рекомендуется понизить статическое давление в жидкостях так, чтобы суммарное значение статического давления и сил поверхностного натяжения было меньше приложенного звукового давления. Путем подбора оптимального соотношения между указанными величинами можно усилить эффект кавитационного воздействия на один–два порядка [3].

Физический механизм распыления жидкости акустическими колебаниями описан Ю.Я Богуславским и О.К. Экнадиоянцем [4].

Согласно кавитационно-волновой гипотезе о механизме распыления жидкости в ультразвуковом фонтане, капли аэрозоля отделяются вследствие их неустойчивости образованием капель жидкости от гребней капиллярных волн конечной амплитуды на поверхности струи фонтана. Капиллярные волны возникают под действием периодических ударных волн, генерируемых кавитационными пузырьками внутри струи.

Пороговое значение амплитуды A_p возбуждаемых колебаний, необходимое для возникновения капиллярных волн на поверхности жидкости, определяется выражением

$$A_p = 4\nu / f\lambda_K, \quad (1)$$

где ν – коэффициент кинematicкой вязкости; f – частота возбуждающих колебаний; λ_K – длина капиллярной волны

$$\lambda_K = \sqrt[3]{8\pi\sigma / \rho f^2}, \quad (2)$$

где σ – коэффициент поверхностного натяжения; ρ – плотность жидкости.

Даже при незначительном превышении амплитуды колебаний A порогового значения A_p должно происходить экспоненциальное нарастание амплитуды капиллярных волн, заканчивающееся разрушением гребней вследствие их неустойчивости, образованием капель жидкости. На самом деле образование капель происходит при значительно больших значениях амплитуды колебаний. Так, например, в области инфразвуковых частот капли начинают отделяться при $A > kA_p$, где $k = 7-8$. В области ультразвуковых частот от 10 кГц до 1,5 МГц капли начинают отделяться уже при $k = 4$. Из исследований, проведенных авторами [4], следует существование корреляции между длиной капиллярной волны λ_K и средним диаметром капель аэрозоля D . Существует постоянное соотношение

$$D = \alpha \lambda_K, \quad (3)$$

где α – коэффициент поверхностного натяжения, независящий от частоты акустических колебаний и от способа акустического распыления.

Исследование акустического распыления жидкости. Идея акустического распыления жидкости связана с образованием ультразвукового фонтана при подведении акустической энергии к рабочей зоне корней растений через жидкость. В настоящее время принята кавитационно-волновая гипотеза акустического распыления жидкости.

Полидисперсное множество капель, получающихся при распылении жидкости акустическими колебаниями, может рассматриваться как статистическая совокупность. Наиболее полной характеристикой качества распыления является функция распределения капель аэрозоля, которая может быть выражена в виде аналитической формулы, таблицы или кривой распределения. Функция распределения диаметров капель аэрозоля несет в себе наиболее полную информацию о физической природе процесса распыления жидкости акустическими колебаниями. При этом необходимо, чтобы найденное распределение соответствовало аэрозолю первичного (исходного) состава. По мере распыления, в результате акустической коагуляции состав аэрозоля может изменяться. Интенсивность акустической коагуляции возрастает с увеличением концентрации аэрозоля и с ростом уровня акустической энергии.

На рисунке 1, а приведена столбчатая диаграмма-гистограмма, построенная на основе экспериментальных данных в полулогарифмическом масштабе, представляющая собой совокупность смежных прямоугольников, построенных на одной прямой линии. Площадь каждого прямоугольника пропорциональна частоте нахождения данной величины в изучаемой совокупности. Диаграмма показывает распределение капель воды аэрозоля по диаметрам на частоте 40 кГц. Аналогичный вид имеют гистограммы распределения, найденные из анализа аэрозоля, образующегося при распылении воды акустическими колебаниями малых амплитуд частоты 21 кГц (рис. 1, б.) Из сравнения гистограмм видно, что с увеличением частоты акустических колебаний максимум распределения и весь спектр диаметров сдвигаются в сторону их меньших значений. Симметрия приведенных гистограмм несколько нарушается вследствие небольшого максимума в районе малых диаметров (вблизи 13 мк). Величина среднего диаметра D зависит также от величины амплитуды акустических колебаний. Эксперименты с распылением воды акустическими колебаниями частотой 20,8 кГц показали, что при увеличении амплитуды колебаний A линейно возрастает среднеарифметический диаметр капель аэрозоля, одновременно с этим происходит расширение всего спектра диаметров капель аэрозоля [5].

Как показывают экспериментальные исследования, дисперсионный состав аэрозоля, образованного акустическим распылением, зависит как от величин, характеризующих акустическое поле (частота и амплитуда), так и от свойств распыляемой жидкости [6].

При переходе к распылению воды акустическими колебаниями большой амплитуды гистограммы претерпевают существенные изменения. С возрастанием амплитуды колебаний спектр диаметров капель заметно расширяется и вместе с максимумом смещается в сторону больших значений диаметров.

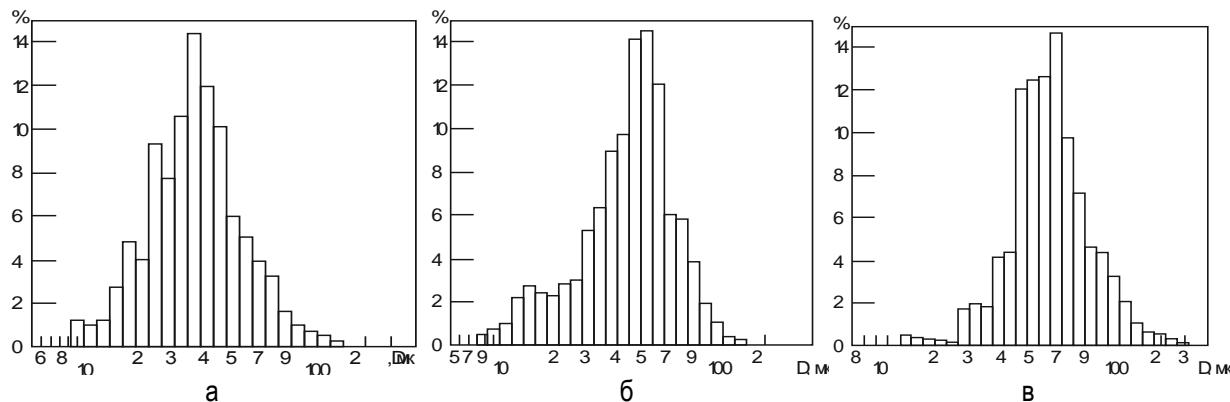


Рис. 1. Гистограммы распределения капель: а – распыление воды акустическими колебаниями малой амплитуды на частоте 40 кГц; б – распыление воды акустическими колебаниями малых амплитуд частоты 21 кГц; в – распределение по диаметру капель аэрозоля, полученное при распылении газированной (CO_2) минеральной воды акустическими колебаниями частоты 21 кГц

Присутствие газовых пузырьков в жидкости, распыляемой акустическими колебаниями, тоже влияет на распределение капель аэрозоля. На рисунке 1, в представлена гистограмма распределения по диаметру капель аэрозоля, полученного при распылении газированной (CO_2) минеральной воды акустическими колебаниями частоты 21 кГц в режиме малых амплитуд. Хотя вся гистограмма на рисунке 1,в, в сторону больших значений диаметра, присутствие газовых пузырьков в жидкости почти не сказывается на форме кривой распределения.

Нами проведены исследования производительности установки увлажнителя воздуха мощностью 25 Вт, частотой ультразвуковых колебаний 21 кГц для различных составов исследуемой жидкости (вода, рис. 2).



Рис. 2. Ультразвуковая кавитация жидкости: 1 – вода, насыщенная углекислым газом; 2 – водопроводная вода; 3 – раствор удобрений перманганата калия

На рисунке 3 приведены кривые изменения объема конденсированной жидкости в зависимости от температуры и физико-химического состава воды.

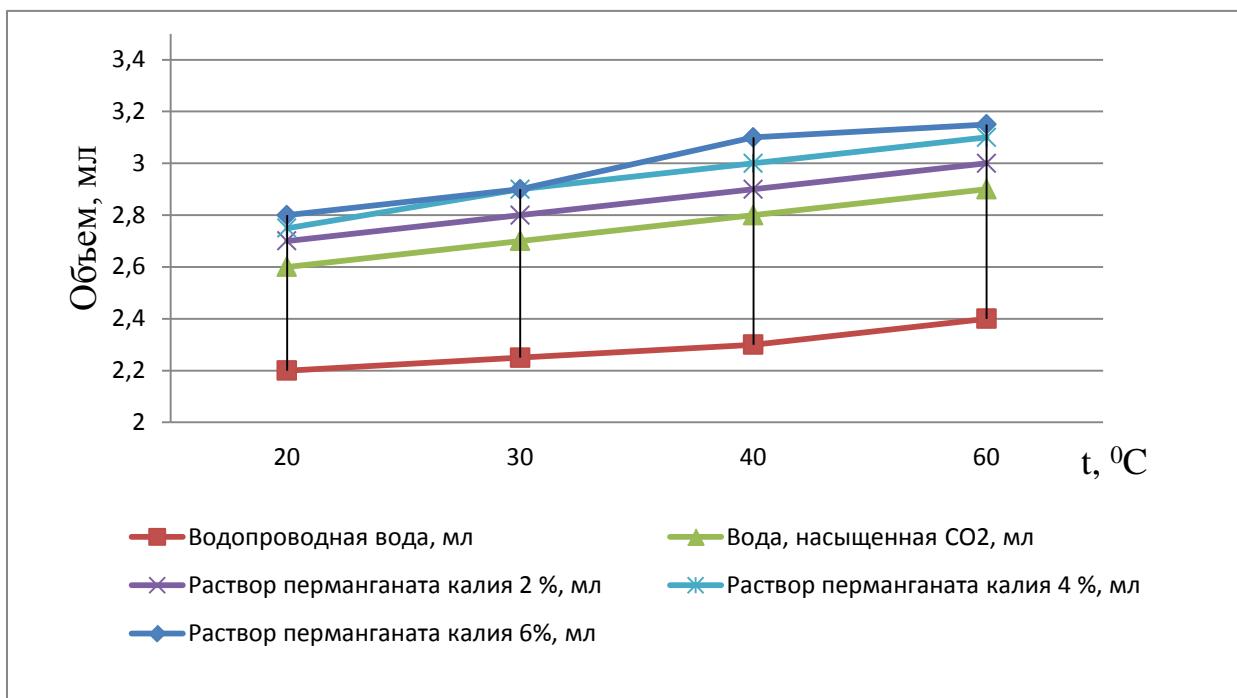


Рис. 3. Кривые изменения объема конденсированной жидкости в зависимости от температуры и физико-химического состава воды

Физико-химические свойства фертигационного раствора. Фертигационный раствор относится к гидратам и представляет гомогенную систему переменного состава, состоящую из двух и более веществ. В растворе растворенное вещество диспергировано до атомного или молекулярного уровня, частицы растворенного вещества не видны ни визуально, ни под микроскопом, свободно передвигаются в среде раствори-

теля. Растворы являются термодинамическими и устойчивыми системами, неограниченно стабильными во времени. Движущими силами образования растворов являются энтропийный и энталпийный факторы. При растворении газов в жидкости энтропия всегда уменьшается ($\Delta S < 0$), а при растворении кристаллов возрастает ($\Delta S > 0$).

Чем сильнее взаимодействие растворенного вещества и растворителя, тем больше роль энталпийного фактора в образовании растворов. Знак изменения энталпии растворения определяется знаком суммы всех тепловых эффектов процессов, сопровождающих растворение, из которых основной вклад вносят разрушение кристаллической решетки на свободные ионы ($\Delta H > 0$) и взаимодействие образовавшихся ионов с молекулами растворителя (сольватация, $\Delta H < 0$). При этом, независимо от знака энталпии, при растворении всегда происходит приращение энергии Гиббса $\Delta G = \Delta H - T \Delta S < 0$, так как переход вещества в раствор сопровождается значительным возрастанием энтропии вследствие стремления системы к разупорядочиванию. Растворимость для различных веществ колеблется в значительных пределах и зависит от их природы, взаимодействия частиц растворенного вещества между собой и с молекулами растворителя, а также от внешних условий (давления, температуры и т.д.) [7].

Как показали проведенные исследования по диспергированию исследуемого фертигационного раствора перманганата калия ультразвуком, процентное содержание растворенного вещества мало меняется при диспергировании ультразвуковой энергией (рис. 4).

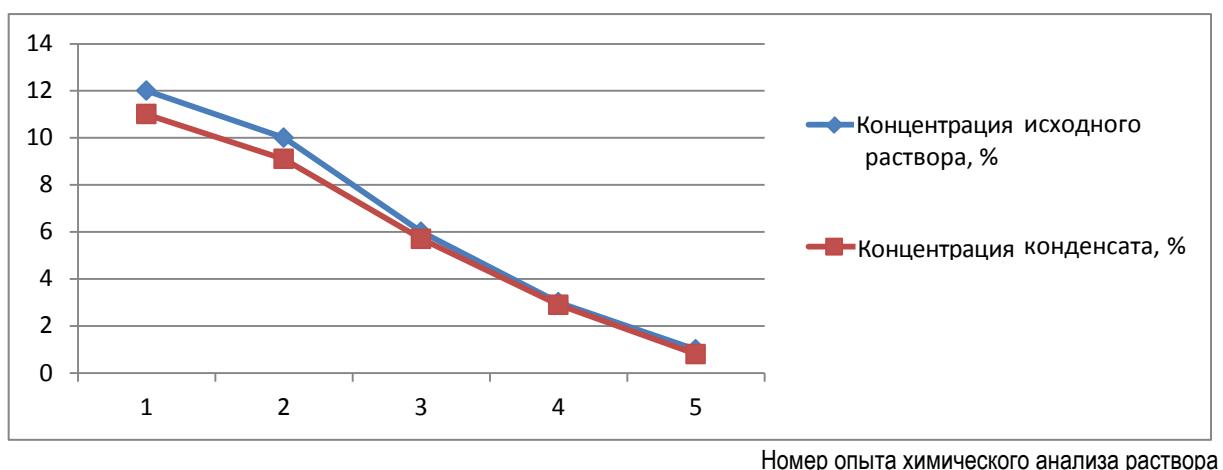


Рис. 4. Исследования по диспергированию исследуемого фертигационного раствора перманганата калия ультразвуком

Действие ультразвуковых колебаний на фертигационный раствор вызывает акустическую кавитацию, что приводит к диспергированию жидкости. Характер кривых на рисунке 4 можно объяснить следующей моделью физико-химических процессов, происходящих в кавитационном пузырьке и прилегающем к нему объеме жидкости [8]. В кавитационную полость проникают пары воды, растворенные газы, молекулы нелетучих растворенных веществ, при этом выделяющейся в процессе схлопывания пузырька энергии достаточно для возбуждения, ионизации и диссоциации молекул воды. При схлопывании кавитационного пузырька в раствор переходят радикалы H , OH , ионы и электроны малой энергии, образовавшиеся в газовой среде при расщеплении молекулы H_2O и веществ с высокой упругостью пара, продукты их взаимодействия и частичные рекомбинации, а также метастабильные возбужденные молекулы H_2O .

В конечном счете, воздействие кавитации на водные растворы сводится к единственному процессу – расщеплению молекул воды в кавитационных пузырьках. Независимо от природы растворенных веществ, звук действует на одно вещество – воду, что приводит к изменению её физико-химических свойств: увеличению pH, электропроводности воды, числа свободных ионов и активных радикалов, структуризации и активации молекул [8].

На рисунке 5 показан внешний вид климатической камеры для исследования капельного и спринклерного орошения при выращивании пекинской капусты. Установка включает: 1 – емкости с рассадой; 2 – ультразвуковые распылители для капельного диспергированного почвенного полива фертигационным раствором; 3 – двухканальное микропроцессорное программируемое реле времени для управления освещением и поливом; 4 – гидрометеорологический измерительный прибор (температура, давление, влажность), 5 – си-

стема спринклерного орошения, включающая струйное распыление диспергированного фертигационного раствора на листовую поверхность растений и ультразвуковую систему диспергирования фертигационного раствора (неуказанную на рисунке); 6 – комбинированная система освещения.



Рис. 5. Внешний вид климатической камеры

Спринклерное орошение дает возможность иметь низкую интенсивность орошения, что позволяет оптимизировать абсорбцию воды и питательных веществ листовой поверхностью растений.

В разработанной ресурсосберегающей климатической камере применено ультразвуковое диспергирование фертигационного раствора для капельного полива почвы и спринклерного орошения листовой поверхности.

Применение данной технологии выращивания овощей позволяет подавать раствор удобрений непосредственно в корневую зону растений, повышает коэффициент использования удобрений до 20 %, создаёт условия оптимального режима влажности почвы и исключает возможные заболевания листьев растений.

Литература

1. Гиль Л.С., Пашковский А.И., Сулима Л.Т. Современное овощеводство закрытого и открытого грунта: практ. руководство. – Житомир: Рута, 2012. – 468 с.
2. Шалунов А.В. Исследования процесса и разработка аппаратов ультразвукового диспергирования жидкостей: автореф. дис. ... канд. техн. наук. – Бийск, 2006. – 159 с.
3. Пажи Д.Г., Галустов В.Г. Основы техники распыления жидкостей. – М.: Химия, 1984. – 254 с.
4. Богуславский Ю.Я., Экнадиосянц О.К. О физическом механизме распыления жидкости акустическими колебаниями // Акустический журнал. – 1969. – Т. 15. – Вып. 1.
5. Экнадиосянц О.К. Получение аэрозолей // Физические основы ультразвуковой технологии / под ред. Л.Д. Розенберга. – М.: Наука, 1970. – С. 337–395.
6. Розенберг Л.Д. Мощный ультразвук. – М.: Наука, 1970. – Т. 3. – 689 с.

7. Стромберг А.Г., Семченко Д.П. Физическая химия / под ред. А.Г. Стромберга. – М.: Высш. шк., 2006. – 527 с.
8. Маргулис М.А. Основы звукохимии: учеб. пособие. – М.: Высш. шк., 1984. – 272 с.



УДК 621.327(075)

Я.А. Кунгс, И.А. Угренинов

СОСТОЯНИЕ ТЕПЛИЧНОГО ОВОЩЕВОДСТВА. ОСНОВНЫЕ ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ

Рассмотрено действующее положение тепличного хозяйства, соотношение импортной продукции и отечественной. Сделаны выводы о настоящем положении и о возможных мерах воздействия для развития тепличного хозяйства.

Ключевые слова: фермерское хозяйство, рентабельность хозяйства, федеральный лизинг.

Ya.A. Kungs, I.A. Ugreninov

THE CONDITION OF THE HOTHOUSE VEGETABLE GROWING. THE MAIN DEVELOPMENT TENDENCIES

The present condition of the hothouse economy, the ratio of the import and domestic production are considered. The conclusions on the present condition and the possible measures of influence for the hothouse economy development are drawn.

Key words: farm, farm profitability, federal leasing.

Введение. Во всем мире тепличное производство – это динамично развивающаяся отрасль современного сельского хозяйства. Использование теплиц для выращивания овощей и зелени в период межсезонья, когда продукция из открытого грунта не поступает, делает этот вид производства сельхозпродукции привлекательным для холодных и снежных регионов.

Зарубежные фермерские тепличные хозяйства интегрированы в крупные агрофирмы по закупке овощей, маркетингу, приемке, расфасовке, упаковке, хранению и продаже продукции оптовым покупателям. В этих странах, с целью обеспечения продовольственной безопасности и экспансии продукции на мировом рынке, фермерские хозяйства, как правило, имеют господдержку. В нашей стране значительная часть овощной продукции производится на индивидуальных участках (дачных, приусадебных). Однако в течение последних 15 лет положение в садово-огороднических товариществах сложилось неблагополучно и привело к уходу населения из этого рода деятельности.

Не лучшим образом выглядит положение овощеводства в промышленных тепличных хозяйствах. Действующие тепличные хозяйства из-за постоянного роста тарифов на энергоносители и выработанного физического и морального ресурса теплиц имеют низкую рентабельность. Например, тарифы с 2000 по 2003 г. на электроэнергию выросли в 4 раза, что снизило рентабельность хозяйств соответственно так же в 4 раза. За период с 1990 года по этим причинам тепличные площади сократились более чем на 40 %. В таблице 1 указаны средние цены на электроэнергию за четыре последних года, в целом цены на электроэнергию растут на 15 % в год.

Средняя рыночная цена на электроэнергию в РФ

Год	Регулируемая цена, руб/кВт·ч.	Нерегулируемая цена, руб/кВт·ч.
2010	1,82	2,17
2011	2,23	2,26
2012	2,30	2,32
2013	2,70	2,72

В связи с дефицитом продовольствия в 90-е годы в страну хлынул поток дешевой импортной продукции – сотни тысяч тонн. Качество всей этой продукции физически невозможно проконтролировать.