

Автореферат  
3-13

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ  
У С С Р

ОДЕССКИЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ ПИЩЕВОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ  
им. М. В. ЛОМОНОСОВА

цех № 62  
5/12 75

~~Вх. № 14 от 13/12 75~~

Для служебного пользования

экз. № 000040

Инженер ЗАВГОРОДНИЙ Валентин Севастьянович

ИССЛЕДОВАНИЕ СПОСОБА КОНТРОЛЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО  
ПРОЦЕССА ПОДГОТОВКИ ПРОДУКТОВ ПИТАНИЯ К ХРАНЕ-  
НИЮ С ПОМОЩЬЮ РАДИОАКТИВНЫХ ИСТОЧНИКОВ

~~О Т И П И  
№ 2173 от 10/12 75~~

Специальность 05.13.07 — автоматическое управ-  
ление технологическими процессами в пищевой  
и легкой промышленности

~~ДСП. И 821  
" 9 " 04 85~~

А в т о р е ф е р а т  
диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Одесса — 1974

ав

Авторефер  
З-13

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ  
У С С Р

ОДЕССКИЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ ПИЩЕВОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ  
им. М. В. ЛОМОНОСОВА

Для служебного пользования

экз. № 000040

Инженер ЗАВГОРОДНИЙ Валентин Севастьянович

ИССЛЕДОВАНИЕ СПОСОБА КОНТРОЛЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО  
ПРОЦЕССА ПОДГОТОВКИ ПРОДУКТОВ ПИТАНИЯ К ХРАНЕ-  
НИЮ С ПОМОЩЬЮ РАДИОАКТИВНЫХ ИСТОЧНИКОВ

Специальность 05.13.07 - автоматическое управ-  
ление технологическими процессами в пищевой  
и легкой промышленности

ОНАХТ 14.10.10

Исследование способа



v017840

А в т о р е ф е р а т  
диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Одесса - 1974

Работа выполнена на военно-морской кафедре Одесского  
технологического института пищевой промышленности им.М.В.Ло-  
моносова

Научный руководитель - кандидат технических наук, доцент  
А.П.СУСЛОВ

Официальные оппоненты :

Доктор технических наук, профессор О.А.МЯЗДРИКОВ

Кандидат технических наук, доцент Н.К.НАРЕМСКИЙ

Ведущее предприятие : Всесоюзный научно-исследо-  
вательский институт консервной и овощесушильной  
промышленности

Автореферат разослан "7" 01 1975 года

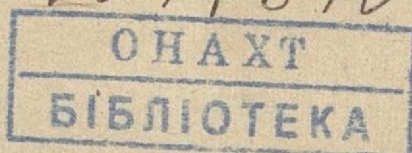
Защита диссертации состоится "21" 02 1975 года  
в 10 час на заседании Ученого Совета Одесского технологи-  
ческого института пищевой промышленности им.М.В.Ломоносова  
(г.Одесса, ул.Свердлова, 112, Зал заседаний Ученого Совета).

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке института.

УЧЕНЫЙ СЕКРЕТАРЬ СОВЕТА

кандидат технических наук

/Л.А.ЗАПОРОЖЕЦ/



В директивах XXIV съезда КПСС по девятому пятилетнему плану развития народного хозяйства СССР на 1971-1975 год предусматривается значительное увеличение объема производства сельскохозяйственной продукции. Это, в свою очередь, требует внедрения в пищевую промышленность и сельское хозяйство прогрессивных технологических процессов, обеспечивающих, наряду с улучшением качества продукции, повышением производительности труда, снижением экономических затрат, улучшением условий труда, минимальные потери продукции на всех стадиях производства, уборки, транспортировки, хранения и реализации.

Среди прогрессивных технологических процессов подготовки продуктов питания к длительному хранению одно из важных мест занимает обработка их с помощью радиоактивных источников.

При радиационной обработке, как и любом другом технологическом процессе переработки пищевых ресурсов, стоит задача контроля режимов обработки, способствующих, наряду с удлинением сроков хранения продуктов, максимальному сохранению их питательной ценности.

Важнейшей характеристикой режима обработки с помощью радиоактивных источников является доза ионизирующего излучения, поглощаемая в биологической ткани продукта.

Применяемые в настоящее время в пищевой промышленности и сельском хозяйстве химический метод контроля и основанные на нем химические дозиметры, хотя измеряют поглощенную дозу, но имеют целый ряд недостатков, создающих большие неудобства при промышленном применении.

Темой настоящей диссертации является разработка нового способа измерения поглощенных доз излучений в биологически эквивалентных средах, и исследование дозиметрических характеристик газообразного измерительного устройства для контроля режимов радиационной обработки продуктов питания.

Диссертация состоит из введения, четырех глав и заключения.

В первой главе рассматривается значение радиационной обработки в общем комплексе проблем удлинения сроков хранения пищевых продуктов, режимы радиационной обработки различных продуктов питания, дается анализ методов контроля режимов обработки и ставится задача исследования.

Способ подготовки пищевых продуктов к длительному хранению с помощью радиоактивных источников выгодно отличается от теплового и других способов тем, что наряду со снижением экономических затрат, (особенно в перспективе со снижением стоимости радиоактивных источников), практически не изменяет натуральных свойств пищевых продуктов. Радиационная обработка создает условия для внедрения непрерывного и полностью автоматизированного процесса подготовки продуктов питания к длительному хранению, открывает перспективы интенсификации технологических процессов пищевой промышленности и, в отдельных случаях, перспективы повышения качества получаемой продукции. Там, где радиационная обработка пищевых продуктов идет на смену химической, улучшаются условия труда, техника безопасности и создаются предпосылки для увеличения производительности труда.

В настоящее время определились следующие наиболее перспективные направления использования радиоактивных изотопов для облучения пищевых продуктов :

- Облучение картофеля и овощей для полного предотвращения их прорастания;
- Радиационная дезинсекция зерна, сушеных фруктов, сухих пищевых концентратов для борьбы с порчей их амбарными вредителями;
- Облучение ягод, плодов, мяса, битой птицы, рыбы и продуктов их переработки с целью удлинения сроков хранения;

- Применение ионизирующих излучений для ускорения технологических процессов и улучшения качества продукции при производстве фруктовых соков, вод, коньяков и др.

Основными характеристиками, определяющими режим радиационной обработки пищевых продуктов являются поглощенная доза и мощность поглощенной дозы ионизирующих излучений. Доза должна быть достаточно велика для гарантированного получения желаемого эффекта и достаточно мала, чтобы не вызывать химических изменений, ухудшающих качество продукта.

Как показало промышленное облучение картофеля, овощей с целью задержки прорастания, а также экспериментальные исследования, величина поглощенной дозы должна быть дифференцирована в зависимости от сроков хранения и не выходит за пределы: 5-6 крад для лука; 5-10 крад для картофеля; 10-12 крад для чеснока.

Радиационная дезинсекция зерна, сушеных фруктов, сухих пищевых концентратов может проводиться летальными или стерилизующими дозами ионизирующих излучений. Как показали исследования, летальные дозы для амбарных вредителей, составляют от 70 до 300 крад. Стерилизующие дозы для большинства насекомых составляют 18-20 крад, для клещей 70 крад. Увеличение мощности поглощенной дозы ускоряет отмирание насекомых очень незначительно.

Исследованиями, проведенными в нашей стране и за рубежом, установлено, что для нашедшей в настоящее время практическое применение радиуризации сырого мяса, мясных продуктов, мясных кулинарных изделий, колбасных продуктов, а также битой птицы необходимы поглощенные дозы ионизирующих излучений в интервале от 0,3 до 0,9 Мрад. Для подавления возбудителей инфекционных болезней плодов, ягод с целью удлинения сроков их хранения, необходимы дозы от 250 до 300 крад.

Промышленная радиационная обработка пищевых продуктов будет

проводиться при максимально возможных мощностях доз гамма-излучения с целью сокращения времени на обработку. Это будет иметь место и при применении радиоактивных источников для ускорения технологических процессов пищевой промышленности.

Необходимые режимы радиационной обработки продуктов питания (от 5 крад до 1 Мрад) не выходят за пределы возможностей существующих и проектируемых опытно-производственных и производственных облучательных установок.

Важнейшим требованием к методу дозиметрии, применяемому при радиационной обработке является измерение непосредственно поглощенной дозой ионизирующих излучений в облучаемом продукте. Для этой цели детектирующая среда дозиметра должна иметь одинаковую плотность и состав с облучаемым продуктом, или же их эффективные атомные номера должны быть близкими друг к другу. Поскольку все продукты питания это объекты биологического происхождения, основной составной частью которых является вода, то удобной была бы жидкая детектирующая среда дозиметра, близкая по эффективному атомному номеру и плотности к воде, а в идеальном случае, к биологической ткани облучаемого продукта.

Из известных методов дозиметрии этому требованию удовлетворяет химический метод (жидкостные химические дозиметры), который нашел широкое применение при эксплуатации мощных облучательных установок в пищевой промышленности.

Однако, жидкостные химические дозиметры обладают целым рядом недостатков, создающих большие неудобства при промышленном применении. Основные из них следующие: невозможность определения интегральной дозы; отсутствие постоянной и быстрой информации о поглощенной дозе и невозможность вывода ее из зоны облучения; разовость действия, обуславливающая необходимость готовить раствор перед каждым изме-

рением и, следовательно, - большую трудоемкость в случае определения поглощенной дозы в большом количестве точек; неприменимость для определения малых доз и др.

Нами осуществлялся поиск способа регистрации ионизирующих излучений, который наряду с измерением поглощенных доз в средах, близких к биологическим (как химический дозиметр), совмещал бы в себе положительные качества ионизационного метода (ионизационных детекторов). По нашему мнению, этим требованиям отвечает способ измерения дозы, основанный на использовании пьезоэлектрических сил (п.м.с.) электрического поля.

В связи с этим сформулированы следующие задачи исследования:

1. Теоретически рассмотреть процессы, происходящие в детектирующей системе "жидкость-газ", помещенной в электрическое поле и разработать способ измерения поглощенных доз, основанный на изменении п.м.с. при облучении;

2. Экспериментально исследовать свойства и поведение газо-жидкостной детектирующей среды в электрическом поле при облучении;

3. Проанализировать электрические параметры и получить дозиметрические характеристики газо-жидкостного устройства, измеряющего поглощенную дозу по перемещению жидкости в электрическом поле воздушного конденсатора, пластины которого частично погружены в жидкий диэлектрик;

4. Произвести оценку перспективности использования газо-жидкостной детектирующей системы, основанной на использовании п.м.с. в пищевой промышленности, сельском хозяйстве и научных целях.

Во второй главе даны теоретические основы работы детектирующей системы "жидкость-газ", при облучении которой в электрическом поле межэлектродного пространства перемещается диэлектрическая жидкость.

Если к пластинам воздушного конденсатора, частично погружен-

ним в жидкий диэлектрик, приложить высокое электрическое напряжение, то произойдет перемещение жидкости между электродами. Это перемещение направлено в сторону газовой фазы и обусловлено действием п.м.с., возникающих в жидком диэлектрике, находящемся в электрическом поле.

В литературе известно общее выражение, описывающее п.м.с.:

$$\vec{f} = \omega \vec{E} - \frac{1}{2} \epsilon_0 E^2 g \text{grad} \epsilon + \frac{1}{2} g \text{grad} \left( E^2 \frac{\partial \epsilon}{\partial \rho} \rho \right) \quad (1)$$

где:  $\vec{f}$  - объемная плотность п.м.с.;  $\omega$  - объемная плотность свободных зарядов в диэлектрике;  $\vec{E}$  - вектор напряженности электрического поля;  $\epsilon_0$  - электрическая постоянная;  $\epsilon$  - относительная диэлектрическая проницаемость диэлектрика;  $\rho$  - плотность жидкого диэлектрика.

При допущении о плоской границе раздела фаз в конденсаторе, о том, что жидкий диэлектрик является изотропным и подчиняющимся уравнению Клаузиуса-Мосотти и в нем отсутствуют свободные электрические заряды, в литературе получено уравнение (2), связывающее высоту столба поднятой диэлектрической жидкости  $h$  с приложенным электрическим напряжением  $U$ .

$$h = \frac{\epsilon_0 (\epsilon_x - \epsilon_r) U^2}{2 \rho g d^2 \cdot \cos \varphi} \quad (2)$$

Здесь:  $d$  - расстояние между электродами;  $\varphi$  - угол между продольной осью электродов и направлением силы тяжести;  $g$  - ускорение свободного падения.

При облучении заряженного газожидкостного конденсатора с поднятым жидким диэлектриком ионизирующим излучением наблюдается уменьшение высоты столба жидкости, обусловленное увеличением электропроводности как газовой, так и жидкого диэлектрика, а, следовательно, уменьшением напряженности электрического поля и величины п.м.с. в межэлектродном пространстве.

Жидкий и газовый диэлектрики имеют свои особенности, поэтому рассмотрено поглощение ионизирующих излучений отдельно в каждой из фаз чувствительного объема конденсатора.

Жидкость обладает плотностью во много раз (на несколько порядков) большей, чем газ и ионизация ее характеризуется крайней неравномерностью. При движении заряженных частиц в жидкости вдоль пути их движения образуются сгустки ионов (специфические объемы), внутри которых протекает предпочтительная рекомбинация, затрудняющая получение тока насыщения в жидкостях даже при напряжениях, близких к пробойным. Поэтому эффективность собирания ионов в диэлектрической жидкости при ионизации всегда меньше единицы. Согласно теории неравномерной ионизации жидкостей, развитой Яффе, эффективность собирания ионов является функцией напряженности электрического поля и физических свойств жидкости. При крайне неравномерной ионизации эффективность собирания ионов определяется только процессами, происходящими в специфических объемах и не зависит от их числа, определяемого интенсивностью ионизирующего излучения. Это дало основание задаться для эффективности собирания ионов зависимостью вида

$$f = f_{\infty} e^{-K \frac{1}{E}} \quad (3)$$

Здесь:  $f$  — эффективность собирания ионов в жидкости при напряженности электрического поля  $E$ ;  $f_{\infty} = 1$  — эффективность собирания ионов при  $E \rightarrow \infty$ ;  $K$  — константа, учитывающая зависимость эффективности от физических свойств жидкости.

В газе при нормальном и невысоких давлениях протекает равномерная ионизация. Однако, в условиях высоких электрических полей, характерных для рассматриваемой системы, при ионизации в газе возникает самостоятельный газовый разряд. Поглощение ионизирующих излучений сопровождается газовым усилением. Для данного разрядного

промежутка, наполненного газом при постоянном давлении, коэффициент газового усиления изменяется только при изменении напряженности электрического поля.

$$K_{г.ч} = \frac{I}{I_0} = e^{\lambda E} \quad (4)$$

Здесь:  $I$  - газоусиленный ток;  $I_0$  - ток, обусловленный первичной ионизацией;  $\lambda$  - постоянная, зависящая от природы, давления газа, величины межэлектродного расстояния.

Изменение напряженности электрического поля в газожидкостной системе в результате облучения описывается выражением

$$dE = \frac{A \cdot Ne \cdot V \cdot dt}{d \cdot C} = \frac{A \cdot D_{эф} \cdot h \cdot dt}{C} \quad (5)$$

Здесь:  $dE$  - изменение напряженности электрического поля конденсатора за промежуток времени  $dt$  при облучении отдельно жидкости и газа;  $A$  - эффективность собирания ионов в случае жидкости, или коэффициент газового усиления в случае газа;  $P = n \cdot Ne$  - мощность поглощенной дозы в жидкости или газе;  $N$  - число пар ионов возникающих в единицу времени в единице объема жидкости или газа;

$e$  - заряд иона;  $n$  - коэффициент, учитывающий размерность величин;  $V = a \cdot h \cdot d$  - объем облучаемого газа или жидкости;  $h$  - высота столба жидкости или газа в межэлектродном пространстве;  $a$  - ширина электродов;  $C$  - электрическая емкость конденсатора.

Облучаемый объем газа, или жидкости и электрическая емкость конденсатора непостоянны в связи с изменением высоты столба жидкости между электродами при облучении. С учетом этого, а также уравнений (2,3,4) после интегрирования получены:

- напряженность электрического поля конденсатора при ионизации жидкого диэлектрика в любой момент времени с начала облучения

$$E = \frac{K}{\ln \left[ k m P a \frac{\epsilon}{2 C_H} \ln \frac{C_H e^{2t/\epsilon} + \Delta C}{C_H + \Delta C} + e^{K/\epsilon_0} \right]} \quad (6)$$

- изменение напряженности электрического поля конденсатора за счет ионизации газа

$$\Delta E_r = \frac{1}{\lambda} \ln \left\{ 1 + P a r \lambda e^{\lambda E_0} \left[ \frac{\epsilon (h_{or} + h_0)}{2 C_H} \ln \frac{C_H e^{2t/\epsilon} + \Delta C}{C_H + \Delta C} + \frac{\epsilon h_0}{2 \Delta C} \ln \frac{C_H + \Delta C e^{-2t/\epsilon}}{C_H + \Delta C} \right] \right\} \quad (7)$$

В соответствии с (2) и с учетом саморазряда получена зависимость высоты столба жидкого диэлектрика в межэлектродном пространстве от мощности поглощенной дозы и времени облучения

$$h = \frac{m K^2}{\left[ \ln \left( k m P a r \frac{\epsilon}{2 C_H} \ln \frac{C_H e^{2t/\epsilon} + \Delta C}{C_H + \Delta C} + e^{K/\epsilon_0} \right) \right]^2} - \frac{m}{\lambda^2} \left\{ \ln \left[ 1 + \right. \right. \\ \left. \left. + P a r \lambda e^{\lambda E_0} \left( \frac{\epsilon (h_{or} + h_0)}{2 C_H} \ln \frac{C_H e^{2t/\epsilon} + \Delta C}{C_H + \Delta C} + \frac{\epsilon h_0}{2 \Delta C} \ln \frac{C_H + \Delta C e^{-2t/\epsilon}}{C_H + \Delta C} \right) \right] \right\}^2 - \\ - \frac{2 h_0 t}{\epsilon_0} e^{-2t/\epsilon_0} \quad (8)$$

Здесь:  $m = \frac{\epsilon_0 (\epsilon - 1)}{2 \rho g \cos \varphi}$ ,  $\epsilon, \epsilon_0$  - постоянная времени конденсатора при облучении и в отсутствии излучения;

$C_H$  - электрическая емкость разряженного конденсатора;

$\Delta C$  - изменение электрической емкости конденсатора, соответствующее зарядной высоте столба жидкости  $h_0$  (газа  $h_{or}$ );  $\Delta h_c = \frac{2 h_0 t}{\epsilon_0} e^{-2t/\epsilon_0}$  - изменение высоты столба жидкости за счет саморазряда конденсатора.

Выведено уравнение для системы с параллельно подключенным дополнительным конденсатором ( $C_g \gg C$ ), обеспечивающей измерение большего диапазона поглощенных доз

$$h = \frac{mk^2}{\left[ \ln\left(\frac{km_0 r_0 D}{c_0} + e^{\frac{1}{E_0}}\right) \right]} - \frac{m}{\lambda^2} \left[ \ln\left(1 + \frac{P_0 \rho \lambda E^{\lambda E_0}}{c_0} \left[ (h_{0r} + h_0)t + \right. \right. \right. \\ \left. \left. \left. + \frac{h_0 E}{2} \left( e^{-2t/\tau} - 1 \right) \right] \right) \right]^2 - \frac{2h_0 t}{E_0} e^{-2t/\tau_0} \quad (9)$$

где  $D$  — поглощенная доза в жидком диэлектрике.

Расчетом поглощенных энергий в воздухе и предельном углеводороде (декане) в широком спектре фотонного излучения показано, что при использовании в качестве источника излучения  $Co^{60}$  ( $E=1,17MeV$ ,  $E=1,33MeV$ ) разность в поглощенных энергиях для этих сред по отношению к поглощенной энергии в жидкости не превышает 13%. Следовательно, в формулы (8,9) можно подставлять одно значение дозы (мощности дозы), поглощенное в предельном углеводороде. При этом ошибка составит не более 13%.

Кроме того, основные соотношения для газожидкостной системы получены путем рассматривания переходных процессов в эквивалентной схеме газожидкостного конденсатора, представленного в виде нелинейного контура, состоящего из электрической емкости, разряжающейся при облучении через электрическое сопротивление (жидкий и газовый диэлектрик).

Переходы в процессе в заряженном нелинейном контуре при облучении и в отсутствии излучения могут быть описаны нелинейно — параметрическим дифференциальным уравнением вида

$$-R(h,P) \frac{dq}{dt} + \frac{q}{C(h)} = 0 \quad (10)$$

Здесь:  $q$  — электрический заряд газожидкостного конденсатора в момент времени  $t$  с начала облучения;  $R, C$  — электрическое сопротивление и емкость конденсатора.

Параметры контура  $R(h, P)$ ,  $C(h)$  непостоянны, в связи с изменением высоты столба жидкого диэлектрика при облучении. Однако, законы изменения их таковы, что постоянная времени  $\tau$  не изменяется при перемещениях жидкого диэлектрика, в межэлектродном пространстве. Поэтому дифференциальное уравнение (10) преобразуется в линейно-параметрическое вида

$$\tau(P) \frac{dq}{dt} + q = 0 \quad (11)$$

С учетом решения уравнения (11) и в соответствии с (2) высота столба жидкости в любой момент времени при облучении определяется по формуле

$$h = \frac{\epsilon_0 (\epsilon_x - 1) q_0^2 e^{-2t/\tau(P)}}{2 \rho g d^2 (C_n + \Delta C e^{-2t/\tau(P)})^2 \cos^2 \varphi} \quad (12)$$

где  $q_0$  - начальный электрический заряд конденсатора  
функция  $\tau(P)$  находится экспериментально.

Экспериментальная часть работы (третья глава) посвящена проверке выдвинутых теоретических предпосылок, исследованию поведения и дозиметрических свойств газожидкостной системы.

В начале главы дано подробное описание газожидкостной детектирующей системы, инженерно-техническое обоснование выбора материала и габаритов отдельных конструктивных элементов, краткое описание экспериментальных установок и устройств, а также методики постановки эксперимента.

В качестве жидкого диэлектрика был выбран очищенный керосин, в качестве газообразного - воздух.

Экспериментально-расчетным путем определена постоянная времени  $\tau$  измерительного устройства и показано, что  $\tau$  неизменно при перемещении жидкости в межэлектродном пространстве. По извест-

ным постоянной времени и электрической емкости определена зависимость электрического сопротивления измерительного устройства от высоты столба жидкости, а также величина удельного электрического сопротивления керосина ( $\rho_3 = 8,58 \cdot 10^{12}$  Ом.м )

$$R = \nu \frac{1}{h} \quad (13)$$

Здесь:  $\nu = \rho_3 \frac{a}{d} = 8,93 \cdot 10^{11}$  Ом.м - эмпирический коэффициент.

Исследование дозиметрических характеристик измерительного устройства проводилось во ВНИИМ им.Д.И.Менделеева на эталонной установке типа УЭД5-60-250.

Эксперименты по облучению газожидкостной системы "воздух - керосин" рентгеновским излучением показали, что высота столба жидкости в межэлектродном пространстве уменьшается по мере облучения по экспоненциальному закону (Рис.1). Причем скорость опускания растет с увеличением интенсивности излучения. Получены экспериментальные кривые изменения высоты столба керосина при различных мощностях поглощенных доз и различных электрических емкостях системы, экспериментальные зависимости постоянной времени разряда измерительного устройства различной емкости и скорости опускания столба керосина от мощности поглощенной дозы излучения (Рис.2,3), а также проведен их математическая аппроксимация. Экспериментальная зависимость постоянной времени измерительного устройства различной электрической емкости от мощности поглощенной дозы с ошибкой не более 11% описаны уравнением вида

$$\tau = \frac{\tau_0}{1 + \gamma D} \quad (14)$$

где  $\tau_0$  - постоянная времени в отсутствии излучения, с ;  
 $D$  - мощность поглощенной дозы, рад/мин;

$\chi$  - эмпирический коэффициент, зависящий от емкости системы.

Эмпирические зависимости постоянной времени измерительного устройства от мощности поглощенной дозы совместно с уравнением (12) дают возможность получить законченное уравнение для косвенной оценки поглощенных доз по высоте столба жидкости в межэлектродном пространстве.

Диапазон измерения поглощенных доз измерительного устройства емкостью 17 пФ определен по времени полного опускания столба керосина при облучении с постоянной мощностью дозы и при начальном зарядном напряжении  $U_0 = 4$  кВ, удельном электрическом сопротивлении керосина  $\rho_3 = 8,58 \cdot 10^{12}$  Ом · м составляет от 0 до 1,5 рад. Увеличение электрической емкости устройства путем параллельного подключения дополнительного электрического конденсатора увеличивает постоянную времени разряда и расширяет диапазон измерения поглощенных доз. Эксперимент показал, что подключение электрической емкости в 136 пФ обеспечивает измерение дозы в 7 рад, что в 4-5 раз больше максимальной поглощенной дозы, измеряемой устройством без дополнительного конденсатора. Экстраполяция в область больших электрических емкостей приводит к выводу, что поглощенные дозы до 1 Мрад могут быть замерены газожидкостным измерительным устройством, заполненным керосином, при дополнительном конденсаторе емкостью 0,08 мкФ.

Чувствительность измерительного устройства непостоянна и уменьшается в процессе накопления поглощенной дозы (Рис. 4). Для системы "воздух-керосин" без дополнительного конденсатора чувствительность изменяется в пределах от  $S = 14 \div 2,87 \frac{\text{мм}}{\text{рад}}$ . С увеличением общей емкости устройства чувствительность к излучению уменьшается и изменение ее в процессе облучения приобретает более плавный характер (при  $C_2 = 136$  пФ  $S = 2,86 - 0,51 \frac{\text{мм}}{\text{рад}}$ ).

Проверка зависимости выходного сигнала измерительного уст-

ройства от энергии излучения показала возможность подбора системы "жидкость-газ" без "хода с жесткостью". При этом материал конструктивных элементов измерительного устройства выбирается близким по концентрации электронов к детектирующей жидкости. В эксперименте система "воздух-полисилоксан" с электродами из токопроводящей пластмассы "хода с жесткостью" не обнаружила. В системе "воздух-керосин" с электродами из латуни "ход с жесткостью" наблюдается.

В конце главы даво сравнение теоретических выводов с экспериментальными результатами, а также математическая обработка результатов измерений. Расхождения между экспериментальными данными и зависимостями, рассчитанными по формуле (12) не превышают по абсолютной величине десятых долей миллиметра ( $\Delta h_{\max} = 0,83\text{мм}$ ). На рис.1 пунктиром показаны теоретические кривые.

Средняя квадратичная ошибка результатов измерений (сходимость) в точках в процессе эксперимента составляла 0,2мм. Предельные абсолютная и относительная методические погрешности функции преобразования (12) для одной точки составляли, соответственно,  $\delta h_{\text{пр}} = 1,5 \cdot 10^{-3}\text{ м}$ ,  $\delta h_{\text{пр}} = 27\%$ . Такая большая относительная методическая погрешность объясняется малыми абсолютными значениями высоты столба в нижней части кривой.

В 4-й главе рассмотрены варианты и схемы возможного применения газожидкостной детектирующей системы в пищевой промышленности и сельском хозяйстве, а также в научных целях.

В практическом приложении измерительное устройство можно использовать в качестве интегрирующего дозиметра для измерения поглощенных доз гамма-излучения при радиационной обработке продуктов питания, в качестве преобразовательного элемента в измерительных системах по контролю за радиационной обработкой, а также в качестве аварийного дозиметра при эксплуатации мощной облучательной техники или на объектах с ядерной энергетикой.

Как дозиметр, газо-жидкостная система обладает следующими преимуществами по сравнению с химическим дозиметром:

- измеряет интегральную поглощенную дозу;
- дает оперативную и непрерывную информацию о поглощенной дозе непосредственно со шкалы без использования дополнительной измерительной техники;
- имеет выход на стандартные приборы и позволяет вводить информацию из зоны облучения;
- обладает большей точностью;
- экономически более выгодна.

Это показали испытания газо-жидкостного устройства, проведенные на облучательной установке во ВНИИКОИ (Богучаровский филиал).

Детектирующей жидкостью в дозиметре может быть использован любой жидкий насыщенный углеводород, например, гексан с  $Z_{эф} = 5,3$  (ливая ткань -  $Z_{эф} = 5,92$ ).

В качестве дозиметра для контроля режимов радиационной обработки продуктов питания газо-жидкостное измерительное устройство предложено использовать двумя способами: - размещением стационарно в рабочей камере облучательной установки; - установкой на движущуюся транспортную систему (конвейер) вместе с продуктами питания.

В первом случае требуется вывод из зоны облучения информации со шкалы дозиметра. Это может быть осуществлено с помощью телеустановки, системы зеркал при обязательном наличии лабиринтных проходов в облучательных установках, а также применением серийно выпускаемых промышленностью измерителей емкостей, в том числе с цифровым выходом.

Второй способ более прост по технике выполнения, при этом дозиметр вместе с продуктами питания совершает весь цикл движения вокруг облучателя, а поглощенная доза снимается со шкалы по выходе дозиметра из зоны облучения.

V D 17840  
ОНАХТ  
БИБЛИОТЕКА

Обнаружено на испытаниях в Богучаровском филиале ВНИИКОП явление реального падения столба диэлектрической жидкости (гексана) в газо-жидкостном измерительном устройстве с изолированными электродами, сопровождающееся изменением электрической емкости устройства, дает основание использовать его в качестве преобразовательного элемента в индикаторе-сигнализаторе изменения радиационной обстановки. Реальное падение столба жидкости в устройстве с приложенным высоким электрическим напряжением обусловлено электретирированием слоев твердого изолятора (шеллака) на электродах в плазме газового разряда при высоких интенсивностях излучения. Произведен расчет локального поля, наводимого в межэлектродном пространстве вследствие электретирирования слоя шеллака на электродах измерительного устройства. Предложено использовать газо-жидкостное измерительное устройство с изолированными электродами в комплекте с серийно выпускаемым промышленностью емкостным датчиком т. ДР-2 в качестве индикатора-сигнализатора изменения радиационной обстановки при эксплуатации мощной радиационной техники (начала или конца радиационной обработки).

Рассмотрена возможность использования газо-жидкостной системы в качестве аварийного дозиметра при ухудшении радиационной обстановки на объектах с мощной облучательной техникой и ядерной энергетикой. Представлена структурная схема устройства одновременного автоматического заряда всех аварийных дозиметров, установленных в местах вероятного пребывания обслуживающего персонала при повседневной эксплуатации в момент ухудшения радиационной обстановки.

В конце главы описана методика определения с помощью газо-жидкостной системы таких характеристик, как эффективность собирания ионов в диэлектрической жидкости, естественная и наведенная излучением удельная электропроводность диэлектрических жидкостей, коэффициент газового усиления, необходимых в экспериментальной практике

исследования жидкостных и газовых ионизационных детекторов.

Основные результаты диссертационной работы сводятся к следующему:

1. Разработан новый способ измерения поглощенных доз ионизирующих излучений, основанный на изменении п.м.с., действующих на жидкий диэлектрик в электрическом поле. Рассмотрены теоретические основы газожидкостной детектирующей системы, регистрирующей ионизирующие излучения по перемещению диэлектрической жидкости в межэлектродном пространстве воздушного конденсатора; пластины которого частично погружены в жидкий диэлектрик. Приоритет автора защищен авторскими свидетельствами.

2. Выведено уравнение, связывающее высоту столба диэлектрической жидкости в межэлектродном пространстве с мощностью поглощенной дозы и временем облучения. В этом уравнении учтено изменение высоты столба жидкости за счет ионизации газа, полученное с учетом газового усиления, и явление саморазряда. Получены уравнения для детектирующих систем с различной электрической емкостью, охватывающих измерением широкий диапазон поглощенных доз ионизирующих излучений, в том числе в пределах от 5 крад до 1 Мрад, используемых при радиационной обработке пищевого сырья и продуктов питания.

3. Проанализированы электрические параметры сконструированного и изготовленного газожидкостного устройства, заполненного очищенным керосином. Установлено, что электрическая емкость и сопротивление устройства непостоянны, но изменяются так, что постоянная времени разряда не зависит от высоты столба жидкости в межэлектродном пространстве. Предложена методика определения электрических параметров систем с жидкими диэлектриками.

4. Исследованы детектирующие свойства газожидкостных измерительных устройств различной электрической емкости с различными жидкими диэлектриками и получены основные дозиметрические характе-

ристики. Зависимость высоты столба жидкости между электродами от поглощенной дозы имеет экспоненциальный характер. Постоянная времени устройства уменьшается с ростом интенсивности излучения. По времени (скорости) опускания столба жидкости можно судить о мощности поглощенной дозы.

5. Диапазон измерения поглощенных доз газожидкостного устройства при зарядном напряжении  $U_0 = 4$  кВ и удельном электрическом сопротивлении жидкого диэлектрика  $\rho_3 = 3,58 \cdot 10^{12}$  Ом·м составляет от 0 до 1,5 рад. Увеличение электрической емкости устройства расширяет диапазон измерения поглощенных доз (при  $C = 85$  пФ  $D = 0 \div 3,7$  рад, при  $C = 153$  пФ  $D = 0 \div 6,8$  рад). Диапазон поглощенных доз от 0 до 1 Мрад перекрывается измерительным устройством емкостью  $C = 0,08$  мкФ, заряженным до  $U_0 = 4$  кВ и  $\rho_3 = 3,58 \cdot 10^{12}$  Ом·м. Повышение удельного объемного сопротивления жидкости специальными методами очистки расширяет диапазон измеряемых доз при неизменной емкости устройства.

6. Чувствительность газожидкостного устройства при облучении непостоянна и уменьшается нелинейно в пределах  $S = 1,4 \div 3$  мм/рад с набором поглощенной дозы. Увеличение емкости устройства уменьшает чувствительность и сглаживает нелинейность ее изменения (при  $C = 85$  пФ  $S = 4 \div 1,36 \frac{\text{мм}}{\text{рад}}$ , при  $C = 153$  пФ  $S = 2,9 \div 0,5 \frac{\text{мм}}{\text{рад}}$ ). При больших емкостях измерительного устройства с изменением его чувствительности в процессе облучения практически можно не считаться.

7. Проверкой зависимости выходного сигнала устройства от энергии излучения установлена возможность создания газожидкостного измерительного устройства, практически не имеющего "хода с жесткостью".

8. На основании опытно-производственных испытаний предложены варианты и схема применения газожидкостной системы в пищевой

промышленности и сельском хозяйстве в качестве интегрирующего дозиметра и преобразовательного элемента в измерительных системах для контроля режимов радиационной обработки и в качестве аварийного дозиметра на объектах с облучательными установками и ядерной энергетикой.

9. Показана возможность и предложена методика использования газожидкостной системы для определения эффективности собирания ионов, удельной электропроводности диэлектрических жидкостей и коэффициента газового усиления.

Результаты работы докладывались на трех итоговых внутривузовских конференциях Одесского технологического института пищевой промышленности им. М.В. Ломоносова.

Основные результаты исследований, изложенных в диссертации, опубликованы в работах:

1. В.С. Завгородний, А.П. Суслов, Г.Н. Патрушев. Регистрация ионизирующих излучений с помощью диэлектрической жидкости, находящейся в электрическом поле. "Атомная энергия", т.35, вып.2, 1973.
2. В.С. Завгородний, А.П. Суслов. Способ измерения дозы ионизирующих излучений. Авторское свидетельство № 366769, М.Кл. СИ-1 1/14.
3. В.С. Завгородний, А.П. Суслов, Г.Н. Патрушев. Жидкостный дозиметр ионизирующих излучений. Авторское свидетельство № 426570, М.Кл. СИ-1 1/14.

Рис. 1. Изменение высоты столба жидкости в межэлектродном пространстве при различных мощностях поглощенных доз для устройства емкостью 85 пр. акпериментальная  
----- теоретическая

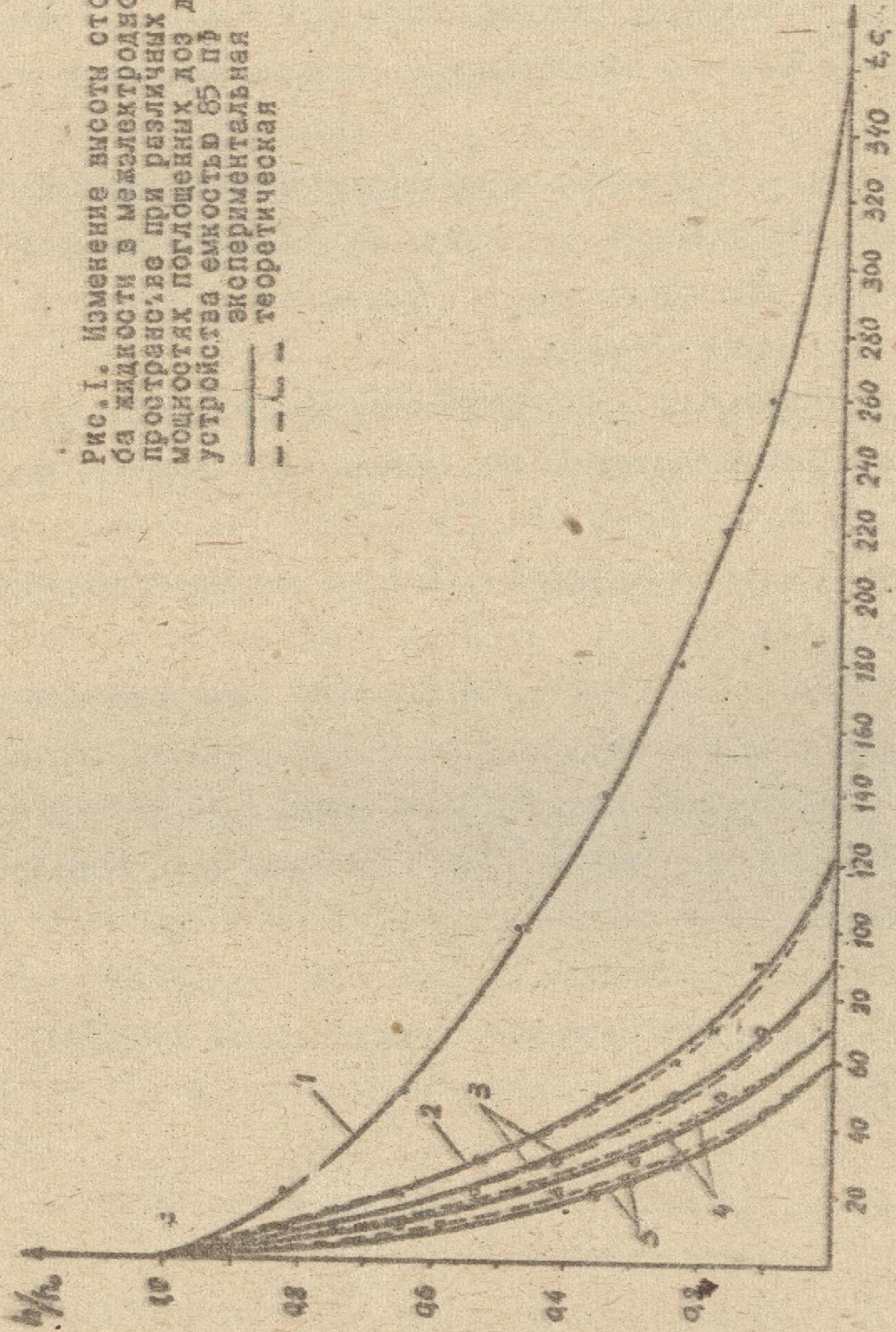
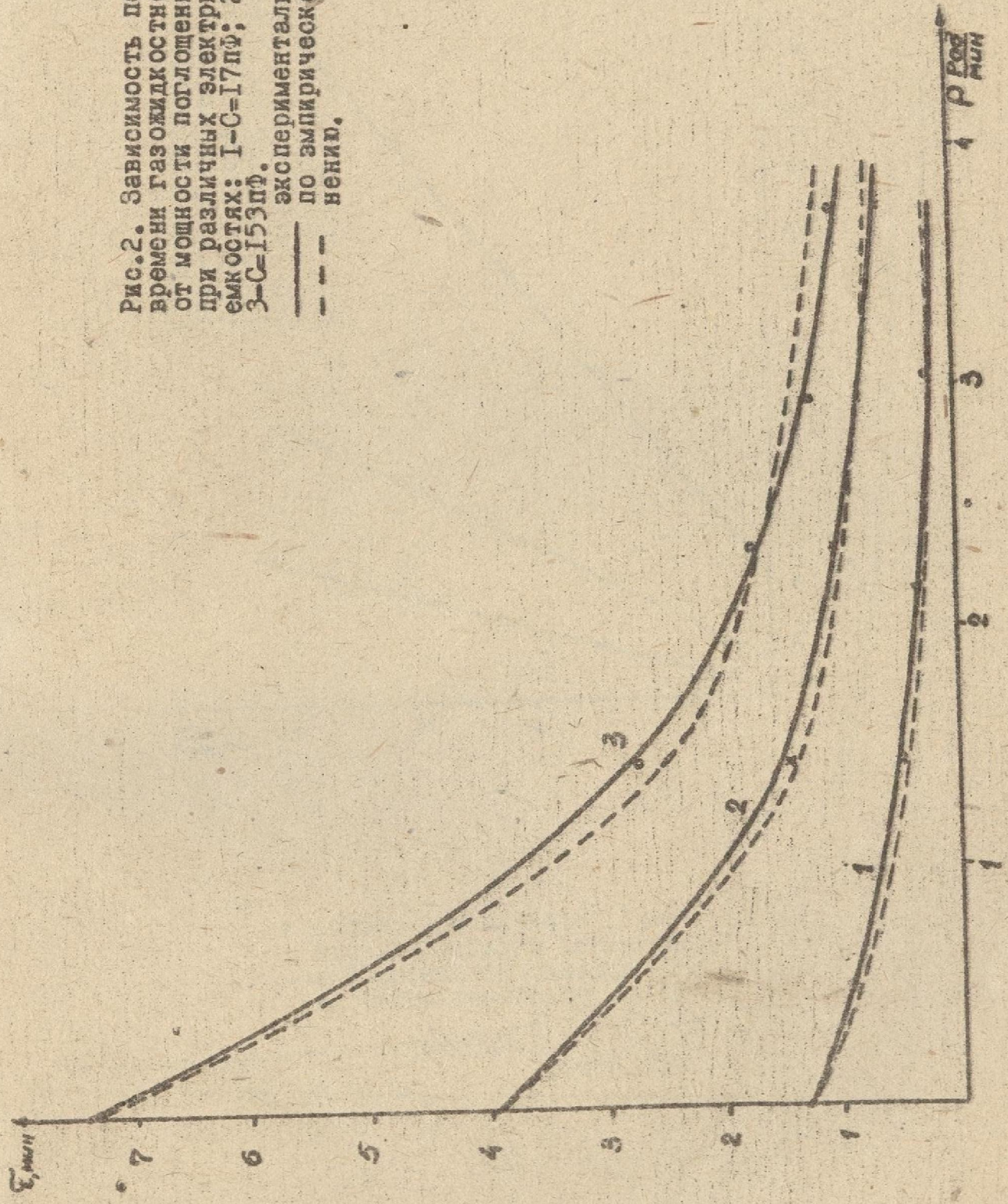


Рис. 2. Зависимость постоянной времени газожидкостной системы от мощности поглощенной дозы при различных электрических емкостях: 1-С=17пф; 2-С=85пф; 3-С=153пф.  
— экспериментальная  
--- по эмпирическому уравнению.



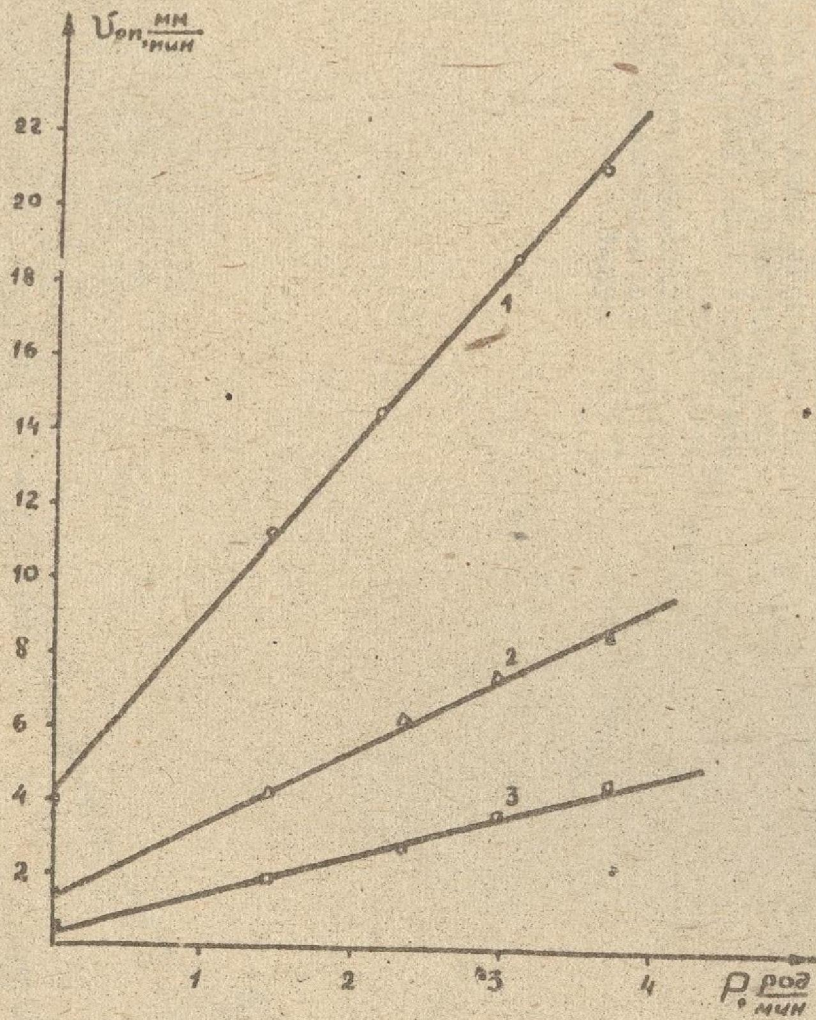


Рис. 3. Зависимость скорости опускания столба жидкости от мощности поглощенной дозы при различных емкостях системы.  
1-С=17лб; 2-С=85лб;  
3-С=153лб.

Рис. 4. Зависимость чувствительности газожидкостной системы во времени при облучении для различных емкостей подключенного конденсатора :  
1- $C_2 = 0$ ; 2- $C_2 = 68 \text{ пф}$ ;  
3- $C_2 = 136 \text{ пф}$ .

