

При сопоставлении с градуировочной кривой видим, что влажность первого контрольного образца без уплотнения и с уплотнением составляет 10%, а второго образца без уплотнения 14,7%, с уплотнением 14,9%.

#### 6. Контрольная проверка влажности семян подсолнечника.

После высушивания навесок модельных образцов семян подсолнечника в сушильном шкафу СЭШ-3М были получены следующие значения их влажности: первый образец - 10%, второй образец - 15%.

При контрольном вычислении показаний вольтметра макета устройства, соответствующих влажности модельных образцов, по уравнению градуировочной кривой на ЭВМ "Наири-2" были получены следующие значения измерений / в соответствии с влажностями 10 и 15% с использованием для вычислений выражения /3-31/:

а/ без уплотнения семян подсолнечника в измерительной камере;

при 10% влажности - 0,41 вольта, что по градуировочной кривой соответствует 9,8%;

при 15% влажности - 0,706 вольта, что по градуировочной кривой соответствует 14,95%;

б/ с уплотнением семян в измерительной камере;

при 10% влажности - 0,44 вольта, что соответствует влажности 9,75%;

при 15% влажности - 0,75 вольта, что соответствует по градуировочной кривой 15,2%.

Максимальная ошибка измерения равна модулю выражения

$$dW = \frac{\partial W}{\partial N} \Delta N,$$

где  $\Delta N$  - ошибка показаний по отсчету вольтметра и берется из табл. 3-8 и 3-9.

В точке 5% влажности значение производной равно  $\frac{27\%}{\text{ВОЛЬТ}}$   
а ошибка в определении влажности равна

$$dw = \frac{27}{I} \cdot 0,013 = 0,35\%$$

Рассчитанные таким же образом ошибки при других значениях влажности составляют: 17,8% влажности – максимальная ошибка 0,32%, а при влажности 21,5% соответственно 0,25%.

### 7. Выводы.

1. Погрешность измерения лабораторного макета устройства для измерения влажности определяется в данном случае допустимой погрешностью отсчета вольтметра и при соответствующих условиях может быть понижена.

2. Нелинейный характер градуировочной кривой лабораторного макета обусловлен использованием в схеме устройства нелинейных элементов, которые в дальнейшем могут быть заменены линейными.

3. По полученным экспериментальным данным видна зависимость результатов измерения от степени уплотнения семян.

4. Значение максимальной абсолютной ошибки измерения влажности, рассчитанное по аналитическому выражению, уменьшается с ростом влажности и не превышает 0,35%, а вычисленное из экспериментальных данных не превышает значения 0,25% влажности.

3.8. Экспертное заключение о проверке на патентную чистоту автоматического устройства определения влажности пробы семян подсолнечника методом СВЧ-техники.

Экспертное заключение составлено в соответствии с Указаниями ЗП-1-70 Комитета по делам изобретений и открытий при СМ СССР.

### 3.8.1. Вводная часть.

Макет автоматического устройства определения влажности пробы семян подсолнечника методом СВЧ-техники разработан и изготовлен на кафедре автоматизации Киевского технологического института пищевой промышленности.

Начало работ I кв. 1975г.

Окончание работ IV кв. 1976г.

Поскольку устройств такого же назначения, как и разработанное в настоящее время в СССР не существует, возникла необходимость провести экспертизу в отношении таких стран, как США, Франция, ФРГ и Англия.

### 3.8.2. Краткая характеристика объекта.

Разработанное устройство предназначено для экспрессного определения влажности семян подсолнечника на хлебоприемных пунктах и сырьевых лабораториях масложировых комбинатов а также может быть использовано при определении влажности полупродуктов и отходов производства растительного масла.

Устройство представляет собой автономный прибор, однако предназначено для работы в комплексе с другими аналитическими устройствами, управляемыми вычислительной машиной в линии определения показателей качества семян.

Проба семян под действием гравитационных сил поступает в измерительную камеру устройства, расположенную вертикально оптической оси передающей и приемной рупорных антенн между ними.

При поступлении семян в измерительную камеру происходит их уплотнение в течение заданного времени с помощью виброустройства, управляемого генератором электрических импульсов

После виброуплотнения происходит определение влажности семян подсолнечника, а затем их удаление из измерительной камеры и подготовка прибора к следующему определению.

При разработке устройства были использованы общеизвестные методы определения поглощения мощности СВЧ-колебаний.

диэлектрическими влажными материалами, которые описаны в литературе.

Также использовался ряд отечественных и зарубежных изобретений.

Из отечественных изобретений были использованы следующие:

1. "Устройство для измерения влажности сыпучих материалов" № 246154, МПК G 01 n , кл. 42e, 9/51, авторы В.Ф. Рулева и А.М. Храпко.

2. "Устройство для измерения влажности" № 216368, МПК, G 01 n /G 01 k/, кл. 42e, 9/51 /42i, I9/04/ авторов Р.А. Беренцвейга, Ю.Д. Кошелева и А.Ф. Терещенко.

3. "Электрический способ определения влажности непроводящих материалов и устройство для осуществления этого способа", № 107977 , кл. 42e, 9/51 /42i, I9/04/, заявлено Ю.Э. Недзвецким в 1955 году .

4. "Устройство для измерения влажности материалов" № 276507, МПК, G 01 n , 23/24 /G 01 n 23/I2//, кл. 42e, 9/51 авторов Т.У. Атаметова, В.Н. Дроздова, Г.А. Кириллова и В.Е. Мальцев

5. "Способ измерения влажности материалов, неоднородных по электрическим свойствам", № 271104, МПК, G 01 n , 23/24, кл. 42e, 9/51 авторов Т.У. Атаметова, В.Н. Дроздова, Г.В. Кириллова и В.Е. Мальцев

6. "Устройство для измерения влажности" № 243253, МПК, G 01 n кл. 42 e , 9/51, автора Г.А. Солоп.

7. "Электронный влагомер", № 257113, МПК G 01 n , кл. 42 e , 9/51 авторов А.Я. Левчинского и О.Д. Орлова.

8. "Устройство для измерения влажности", № 232596, МПК G 01 n / G 01 k/, автора В.Г.

9. "Устройство для измерения влажности материалов" № 226899, МПК G 01 n , автора Р.А. Беренцвейг.

10. "Устройство для бескомпактного контроля интегральной влажности материалов в процессе камерной сушки", № 233286, МПК G 01 n , авторов П.В. Соколова и Н.В. Ловкиса.

11. "Устройство для автоматического измерения влажности материалов", №191890, МПК 60I, автора М.А.Берлянда.

12. "Устройство для измерения влажности почвы и других материалов", № 287396, МПК G 01n, 27/I2, автора С.Г.Парсаяна.

13. "Автоматический влагомер СВЧ", №315996, МПК, G 01 n, 23/I4, авторов М.А.Берлинера, Б.И.

Из зарубежных изобретений были использованы такие патенты:

1. "Аппарат для непрерывного измерения влажности", №1.547.457, МПК G 01n / ~~№1.547.457~~ французский патент.

2. "Установка для измерения влажности твердых материалов № 1238243, МПК, G 01n, кл. 42 e , 9/5I, немецкое патентное бюро.

3. "Прибор для микроволнового измерения влаги, имеющий автоматические средства контроля уровня и потока", № 3.535.629 Св G 01 z 27/04, -608в 2I/00, патент США.

4. "Метод и прибор для измерения содержания влаги в листовых материалах с применением частотно-модулированного свободного микроволнового луча", №3,534.260, МПК G 01c , 27/04, патент США.

5. "Метод для обнаружения одной из тяжелых вод - обыкновенной воды в присутствии других тяжелых вод и обыкновенной воды", № 3.538.434, МПК G 01c 27/04, патент США.

6. "Способ и устройство для селекции растительных семян для посева", № 2.530.732, МПК G 01n 27/78, патент США.

7. "Прибор для широкополосного микроволнового определения некоторых характеристик вещества", №3.541.434, МПК, G 01 27/04, патент США.

8. "Устройство микроволнового измерения влажности с подвижным зеркальным сканирующим устройством", №3.639.834, МПК, G 01 z , 27/04, патент США.

9. "Определение и контроль влажности пшеницы", журнал  
" *Measurement and Control*", 1970 г. том 3., № II

### 3.8.3. Перечень технических решений, проверяемых по патентным фондам.

Таблица I.

№/п	Наименование составных частей объекта или его элементов/в том числе элементов механической эстетики/	Обозначение чертежей/стандарты, технологии, приказов и т.п.	Классификационные индексы МПК	Советско-германская классификация.	Американская классификация.	Японская классификация.
I.	Автоматическое устройство определения влажности пробы семян подсолнечника методом СВЧ-техники.		42e -9/5I 324-58 II3II2			
					23/08	27/0
					23/12	27/1
					23/14	27/1
					23/16	27/2
					23/24	27/2
					27/00	
					27/02	

3.8.4. Результаты проверки отдельно по каждой из стран, начиная с СССР.

А. СССР - просмотрена следующая патентная документация: описание изобретений по классам /подклассам, группам, подгруппам указанным в таблице I раздела I с 1924 по 1974 г.г.

Всего просмотрено 82 патента /свидетельства/, в том числе 20 полных патентных описаний.

Патентов /свидетельств/ на изобретения, имеющих отношение к проверяемому объекту не обнаружено.

Б. США - просмотрена следующая патентная документация: описание изобретений по классам /подклассам, группам, подгруппам

указанным в таблице I раздела I, с 1966 по 1974 годы.

Всего просмотрено 132 патента, в том числе 30 полных патентных описаний.

Патентов на изобретения, имеющих отношение к проверяемому объекту, не обнаружено.

В. Франция - просмотрена следующая патентная документация: описание изобретений по классам /подклассам, группам, подгруппам/, указанным в табл. I, раздела I, с 1968 по 1974 годы.

Всего просмотрено 18 патентов.

Патентов на изобретения, имеющих отношение к проверяемому объекту, не обнаружено.

Г. ФРГ - просмотрена следующая патентная документация: описание изобретений по классам /подклассам, группам, подгруппам/, указанным в таблице I, раздела I с 1966 по 1974 годы.

Всего просмотрено 52 патента. Патентов на изобретение, имеющих отношение к проверяемому объекту не обнаружено.

Д. Япония - просмотрена следующая патентная документация: описание изобретений по классам /подклассам, группам, подгруппам/, указанным в таблице I, раздела I, с 1968 по 1974 годы.

Всего просмотрено 12 патентов.

Патентов на изобретения, имеющих отношение к проверяемому объекту, не обнаружено.

3.8.5. Общие выводы: "Автоматическое устройство определения влажности пробы семян подсолнечника методом СВЧ-техники" обладает патентной чистотой в отношении СССР, США, ФРГ, Франции, Японии.

Руководитель темы 326/71, доц.

ЛУЦЫК В. И.

Руководитель разработки АСЭАК СП  
доц. Б. Н. ГОНЧАРЕНКО

Ответственный исполнитель

с. н. с.

Г. К. РЫБАЛКО

" \_\_\_\_\_ " \_\_\_\_\_ 1974 г.

С выводами согласен:

Руководитель патентного отдела КТИПП

РУБАН.

### 3.9 Литература к разделу.

- 3-1 Федоткин И.М., Ключков В.П. Физико-технические основы влагометрии в пищевой промышленности, К., "Техніка", 1974
- 3-2 Берлинер М.А. Электрические приборы для измерения влажности зерна, М., Оборониздат, 1949
- 3-3 Берлинер М.А. Электрические измерения, контроль и регулирование влажности, М., "Энергоиздат", 1965
- 3-4 Берлинер М.А. Методы измерения и регулирования влажности бетона. М., ГИТЛ, 1970
- 3-5 Конференция по совершенствованию методов определения влагосодержания в различных средах на основе применения новых влагомерных приборов, К., 1970
- 3-6 Кравченко В.Г. Исследование СВЧ-методов измерения и влажности пищевых продуктов в частично заполненных прямоугольных волноводах, Л., ЛТИ, 1972
- 3-7 Патенты СССР № 232596, №257143, №280052, №315996
- 3-8 Адлер Ю.П., Маркова Е.В., Грановская Ю.В. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий, 1971г.
- 3-9 Рузинов Л.П., Статистические методы оптимизации химических процессов, 1972.
- 3-10 Тихомиров Б.Б. Планирование и анализ эксперимента /при проведении исследований в легкой и текстильной промышленности/, 1974
- 3-11 ГОСТ 10856-64 Семена масличные. Методы определения влажности.

### 3.10. Обобщение результатов исследований и выводы по разделу 3.

По работам 1974г. по разделу разработки устройства для измерения влажности получены следующие результаты:

проведено эскизное проектирование лабораторного макета устройства с использованием результатов исследований СВЧ-метода измерения влажности, выполненных ранее и в 1974г.;

изготовлен лабораторный макет устройства, отвечающий тематической карточке на разработку такого устройства и техническому заданию на НИР по разработке его;

проведено испытание лабораторного макета устройства по специально разработанной методике и программы;

проведены экспертиза и составление заключения о патентной чистоте разрабатываемого устройства;

ориентировочно определена ~~наибольшая~~ стоимость разработки и возможный экономический эффект от внедрения устройства.

На основании перечисленных результатов можно сделать следующие выводы:

1. Разработанный лабораторный макет устройства отвечает основным требованиям ТЗ на НИР на его разработку и применение его в АСЭАК по экспрессности, диапазону измерений и обеспечиваемой точности;

2. Испытания лабораторного макета выявили пути его усовершенствования в части получения линейных характеристик;

3. Получены резервы повышения точности измерения влажности семян указанным методом и намечены пути их использования введением поправок по температуре и плотности семян /вполне реально снижение погрешности измерения до  $\pm 0,3\%$  влажности/.

4. Разрабатываемое устройство обладает патентной чистотой в части ведущих стран: СССР, США, Франции, Японии и ФРГ;

5. Экономический эффект разработки и внедрения устройства может составить ориентировочно 48,0 тыс.руб.в год.

В разработке устройства участвовали следующие специалисты: инженер-электрик [имя], инженер-механик [имя], инженер-конструктор [имя].

Устройство разработано в соответствии с техническим заданием от [дата] и предназначено для [описание назначения].

Кроме того, в процессе разработки были выполнены следующие работы: [список работ].

В процессе разработки были выполнены следующие работы: [список работ].

1.1. Разработка [название раздела] в соответствии с техническим заданием.

В процессе разработки были выполнены следующие работы: [список работ].

В процессе разработки были выполнены следующие работы: [список работ].

В процессе разработки были выполнены следующие работы: [список работ].

В процессе разработки были выполнены следующие работы: [список работ].

#### 4. РАЗРАБОТКА АВТОМАТИЧЕСКОГО УСТРОЙСТВА ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ МАСЛИЧНОСТИ СЕМЯН ПОДСОЛНЕЧНИКА УСОВЕРШЕНСТВОВАНИМ МЕТОДОМ ЭКСТРАКЦИИ /РЕФРАКТОМЕТРИЧЕСКИМ/.

В соответствии с программой и планом-графиком работ по разработке устройства в 1974г. выполнялась стадия ЗНИР, в которую были включены следующие этапы: проектирование лабораторного макета устройства и проведение теоретических и экспериментальных исследований возможностей метода.

Кроме того, в 1974г. дорабатывались разделы разработки, не выполненные в полном объеме в предыдущих стадиях разработки.

В 1974отчетном году дорабатывались и уточнялись технологические и технические требования /ТТ/ к устройству и согласовывалось техническое задание /ТЗ/ на НИР по разработке устройства.

4.1. Переработка и уточнение технологических и технических требований /ТТ/ к устройству определения масличности семян.

ТТ, являющиеся исходным техническим документом, в котором устанавливаются назначение и различные требования к разрабатываемому устройству в соответствии с "Положением" [4-1] должны разрабатываться головным отраслевым НИИ /ВНИИЖ/. Однако, с согласия ВНИИЖ ТТ к устройству для определения масличности усовершенствованным методом экстракции были разработаны в 1973г. КТИПП - разработчиком устройства /подсистемы АСЭАК/.

Указанные ТТ, содержащие в основном требования к показателям назначения устройства и другие технические, экономические, эксплуатационные, технологические и конструктивные требования, согласованы ВНИИЖ.

Однако, в соответствии с требованиями ОСТ 25.126-72 возникла необходимость уточнения, переработки и повторного согласования ТТ.

Уточненные ТТ, являющиеся приложением /П.10/ настоящего отчета, полностью отвечающие утвержденной ТК на разработку устройства /326/71-3062ТК/ и ранее согласованному варианту ТТ, в настоящее время находятся во ВНИИЖе на согласовании.

ТТ к устройству содержат следующие разделы:

1. Цель и назначение разработки
2. Краткая характеристика устройства и объекта контроля.
3. Характеристика измеряемой среды.
4. Характеристика окружающей среды.
5. Показатели назначения.
6. Прочие требования.

Переработка ТТ коснулась, в основном, п.2, относящегося к технологическим требованиям, свойствам объекта и условиям измерения масличности, а также характеристики окружающей среды. При переработке ТТ полностью учтены замечания ВНИИЖ относительно подобных разделов утвержденных тематических карточек и согласовываемого технического задания /ТЗ/ на НИР.

#### 4.2. Согласование ТЗ на НИР по разработке устройства.

Описание разработанных ТЗ на НИР по разработке устройства имеется в п.4.4 отчета КГИПШ за 1973 год.

ТЗ на НИР соответствует по содержанию и об'ему ОСТ 25.126-72; однако, разработано с использованием первого варианта ТТ к устройству, что вызвало замечания ВНИИЖ при согласовании. Замечания носили технологический характер, касались свойств семян подсолнечника, как объекта измерения масличности, были учтены при разработке второго варианта ТТ и внесены в виде исправления в ТЗ на НИР, повторно направленном во ВНИИЖ на согласование. Дальнейшие возражения при согласовании вызывают значение экономического потенциала разработки устройства 1,3 млн.руб., указанное в прилагаемом к ТЗ на НИР в виде приложения ТЭО разработки устройства. Указанное значение получено долевым распределением экономического потенциала АСЭАК СП /13 млн.руб./ на составляющие его функциональные устройства /подсистемы/, в том числе и на устройство определения масличности.

Ввиду наличия в настоящем отчете уточненного расчета экономической эффективности разработки и внедрения АСЭАК СП /п. I.3 отчета/ и уточненного значения долевого экономического эффекта разработки и внедрения устройства для определения масличности семян подсолнечника в размере около 48,0 тыс. рублей в год следует ожидать в ближайшее время /январь 1975г./ согласования указанного документа по данному пункту возражений.

Кроме того, на январь 1975г. назначено рассмотрение собственно метода определения масличности, предлагаемого КТИПП. Вероятно, согласование ТЗ на НИР будет зависеть от результатов контрольных определений масличности указанным методом и решения о его пригодности к дальнейшей разработке в виде подсистемы АСЭАК СП или автономного прибора.

В случае согласования ТЗ на НИР окажется возможным утверждение акта об окончании стадии I НИР и ее выполнении, т.к. промежуточный отчет по этой стадии разработки представлен заказчику в договоренное договором время.

Указанный акт приемки стадии I НИР разработки устройства, утверждаемый проректором КТИПП по научной работе, является приложением /П. II/ настоящего отчета.

4.3. Теоретические исследования, расчеты и выводы, обосновывающие применение метода рефрактометрии для автоматизированного определения масличности семян подсолнечника.

4.3.1. Анализ погрешности метода на основании теории приближенных вычислений и теории ошибок функций.

Рефрактометрический экспресс-метод определения масличности семян подсолнечника с применением полной экстракции предполагает расчет масличности семян по показателю преломления мисцеллы /смеси экстрагированного из семян масла с монобромнафталином/ по следующим зависимостям, приведенным в отчете КТИПП за 1973г.:

$$X = \frac{C \cdot V_p \cdot \rho_m}{100 \cdot \rho_m - C},$$

/4-I/

где  $X$  — количество масла в мисцелле;

$C$  — концентрация масла;

$V_p$  — об"ем растворителя;

$\rho_m$  — плотность масла.

При этом концентрация масла определяется, как

$$C = 100 - \frac{n - n_m}{n_p - n_m} \cdot 100 \quad /4-2/$$

где  $n_p$  — показатель преломления растворителя;

$n_m$  — показатель преломления масла;

$n$  — показатель преломления мисцеллы.

Масличность пробы семян в процентах выразится соотношением:

$$X_1 = \frac{X \cdot 100}{M_c} \quad /4-3/$$

где  $X_1$  — процентное содержание масла в пробе семян;

$X$  — количество масла в мисцелле;

$M_c$  — масса навески пробы семян.

Подставляя в выражение /4-3/ значения /4-1/ и /4-2/, имеем:

$$X_1 = \frac{100 \left(1 - \frac{n - n_m}{n_p - n_m}\right) V_p \rho_m}{M_c \left[\rho_m - \left(1 - \frac{n - n_m}{n_p - n_m}\right)\right]}, \quad /4-4/$$

Очевидно, погрешность определения  $X_1$  — процентного содержания масла в пробе семян зависит от погрешностей измеряемых /приближенных/ величин  $n, n_p, n_m, V_p, \rho_m, M_c$ , которые технически могут быть измерены со следующими абсолютными ошибками:

$$\varepsilon_1 = \varepsilon_2 = \varepsilon_3 = \Delta n = \Delta n_m = \Delta n_p = 0,0002;$$

$$\varepsilon_4 = \Delta V_p = 0,1 \text{ мл};$$

$$\varepsilon_5 = \Delta \rho_m = 0,0005;$$

При рассмотрении задачи определения погрешности рефрактометрического экспресс-метода измерения масличности семян подсолнечника с точки зрения теории ошибок функций, полагая, что рассчитываемое по выражению /4-4/ значение масличности является функцией измеренных с указанной точностью физических величин  $n, n_m, n_p, V_p, \rho_m, M_c$  /, получаем возможность вычисления ошибки функции, если известны ошибки ее аргументов и вид функциональной зависимости /первая задача теории ошибок/.

$$\text{Пусть } X_I = f(n, n_m, n_p, V_p, \rho_m, M_c)$$

Ошибки аргументов равны указанным ранее.

Тогда, согласно теории ошибок функций предельная абсолютная ошибка функции нескольких переменных определится суммой абсолютных значений всех частных дифференциалов этой функции.

$$(\varepsilon_{X_I})_{np} = \left[ \left| \frac{\partial f(n, n_m, n_p, V_p, \rho_m, M_c)}{\partial n} \right| \varepsilon_n + \right.$$

$$\left. \left| \frac{\partial f(n, n_m, n_p, V_p, \rho_m, M_c)}{\partial n_m} \right| \varepsilon_{n_m} + \left| \frac{\partial f(n, n_m, n_p, V_p, \rho_m, M_c)}{\partial n_p} \right| \varepsilon_{n_p} + \right.$$

$$\left. \left| \frac{\partial f(n, n_m, n_p, V_p, \rho_m, M_c)}{\partial V_p} \right| \varepsilon_{V_p} + \left| \frac{\partial f(n, n_m, n_p, V_p, \rho_m, M_c)}{\partial \rho_m} \right| \varepsilon_{\rho_m} + \right.$$

$$\left. \left| \frac{\partial f(n, n_m, n_p, V_p, \rho_m, M_c)}{\partial M_c} \right| \varepsilon_{M_c} \right]$$

/4-5/

При  $X_I$ , вычисляемом согласно /4-4/ и значениях, приближенных величин, указанных ранее, величина предельной абсолютной ошибки функций составит

$$|\Delta X_I|_{\text{пр}} = 1308,33 \cdot 0,0002 + 654,575 \cdot 0,0002 + 654,575 \cdot 0,0002 + 4,620 \cdot 0,1 + 70,5 \cdot 0,0005 + 2,717 \cdot 0,01 = 1,0477 \% \text{ масличн.}$$

$$\text{Тогда } \delta = \frac{|\Delta X_I|_{\text{пр}} : 100\%}{X_I} = \frac{1,0477 \cdot 100\%}{46,468} = 2,254\%$$

где  $X_I = 46,468\%$  масличн., вычислено согласно /4-4/ при средних значениях приближенных величин.

Значения частных производных функций  $X_i = f(n, n_m, n_p, V_p, p_m, M_c)$  равны:

$$\frac{\partial f(n, n_m, n_p, V_p, p_m, M_c)}{\partial n} = \frac{100 \cdot V_p \cdot p_m^2 (n_m - n)}{M_c (p_m n_p - p_m n_m - n_p + n)^2} = 1308,33$$

$$\frac{\partial f(X_i)}{\partial n_m} = \frac{100 \cdot V_p \cdot p_m^2 (n_p - n)}{M_c (p_m n_p - p_m n_m - n_p + n)^2} = 654,675$$

$$\frac{\partial f(X_i)}{\partial n_p} = \frac{100 \cdot V_p \cdot p_m^2 (n - n_m)}{M_c (p_m n_p - p_m n_m - n_p + n)^2} = 654,675$$

$$\frac{\partial f(X_i)}{\partial V_p} = \frac{100 \cdot p_m (p_m n_p^2 - p_m n_m n_p - n_p^2 + 2n n_p - p_m n_p + p_m n_m)}{M_c (p_m n_p - p_m n_m - n_p + n)^2}$$

4,620

$$\frac{\partial f(X_i)}{\partial p_m} = \frac{100 \cdot V_p \cdot (n_p - n)^2}{M_c (p_m n_p - p_m n_m - n_p + n)^2} = 70,5$$

$$\frac{\partial f(x_1)}{\partial M_c} = \frac{100 \cdot V_p \cdot \rho_m (n_p - n)}{M_c (\rho_m n_p - \rho_m n_m - n_p + n)} = 2,717$$

Очевидно, получение результатов определения масличности с погрешностью, превосходящей допустимое значение абсолютной ошибки 0,5%, не может считаться удовлетворительным.

Теория ошибок функций дает возможность решить также обратную задачу – определение ошибок аргументов по известной ошибке функции, что может представлять интерес с точки зрения повышения точности метода путем повышения точности измерения тех приближенных величин, которые потребуют этого в результате решения обратной задачи.

Принимаем ошибку функции  $\Delta X$ , равной 0,5% масличности /абсолютная ошибка, согласно тематической карточке 326/7I-3062 ТР при этом относительная ошибка составляет  $\delta = 0,0166$  /не выражена в %/, при диапазоне измерения 30-60% масличности.

Предельная /наибольшая/ относительная ошибка измерения найдется, как функция ошибок аргументов:

$$(\delta x_1)_{np} = d [\ln f(n, n_m, n_p, V_p, \rho_m, M_c)] \quad /4-6/$$

Полагая, что все, входящие в выражение "4-6/ приближенные величины измеряются с одинаковой точностью, и что вносимый ими вклад в общую предельную погрешность функции одинаков, получим:

$$\begin{aligned} (\delta x_1)_{np} &= d \left[ \ln \frac{100 \cdot V_p \cdot \rho_m (n_p - n)}{M_c (\rho_m n_p - \rho_m n_m - n_p + n)} \right] = \\ &= d [\ln 100 + \ln V_p + \ln \rho_m + \ln (n_p - n) - \ln M_c - \\ &- \ln (\rho_m n_p - \rho_m n_m - n_p + n)] = \end{aligned}$$

$$= \frac{\Delta V_p}{V_p} + \left( \frac{1}{\rho_m} - \frac{n_p - n_m}{\rho_m n_p - \rho_m n_m - n_p + n} \right) \Delta \rho_m + \left( \frac{1}{n_p - n} - \frac{\rho_m - 1}{\rho_m n_p - \rho_m n_m - n_p + n} \right) \Delta n_p + \frac{\Delta n}{n_p - n} + \frac{\Delta M_c}{M_c} + \frac{\rho_m - 1}{\rho_m n_p - \rho_m n_m - n_p + n} \Delta n = 0,0166$$

Тогда, так как число слагаемых равно 6, имеем относительную предельную погрешность каждого слагаемого:

$$\frac{\Delta V_p}{V_p} = \left( \frac{1}{\rho_m} - \frac{n_p - n_m}{\rho_m n_p - \rho_m n_m - n_p + n} \right) \Delta \rho_m = \frac{\Delta n}{n_p - n} =$$

$$\frac{\Delta M_c}{M_c} = \left( \frac{1}{n_p - n} - \frac{\rho_m - 1}{\rho_m n_p - \rho_m n_m - n_p + n} \right) \Delta n_p =$$

$$\frac{\rho_m - 1}{\rho_m n_p - \rho_m n_m - n_p + n} \Delta n_m = \frac{0,0166}{6} = 0,00277$$

Откуда абсолютные ошибки аргументов:

$$\Delta V_p = 0,00277 \cdot V_p = 0,0277 \quad /4-7a/$$

$$\Delta \rho_m = \frac{0,00277 \cdot \rho_m (\rho_m n_p - \rho_m n_m - n_p + n)}{n_m - n_p} = 0,00018 \quad /4-7б/$$

$$\Delta n_p = \frac{0,00277 (n_p - n) (\rho_m n_p - \rho_m n_m - n_p + n)}{(1 - \rho_m) (n_m - n)} = 0,00039 \quad /4-7в/$$

$$\Delta n = 0,00277 /n_p - n/ = 0,00025 \quad /4-7г/$$

$$\Delta M_c = 0,00277 \cdot M_c = 0,0554 \quad /4-7д/$$

$$\Delta n_m = \frac{0,00277 (\rho_m n_p - \rho_m n_m - n_p + n)}{\rho_m - 1} = 0,00051 \quad /4-7е/$$

Сравнивая полученные расчетные значения абсолютных ошибок измеренных величин с приведенными ранее абсолютными ошибками измерений, имеющих место при осуществлении метода, приходим к выводу, что большинство приближенных величин  $\{n_p, n, M_c, n_m\}$  измеряется с требуемой точностью, точность измерения  $\rho_m$  достаточно близка к требуемой, ошибка же измерения  $V_p$  /объема растворителя/ значительно // в 3,6 раза/ превышает требуемую, что в значительной мере сказывается на суммарной ошибке измерения т.е. на точности измерения масличности семян подсолнечника.

При измерениях масличности семян подсолнечника необходимо обеспечить точность, удовлетворяющую условиям /4-7а - 4-7е/.

При условии обеспечения определения объема растворителя при измерении масличности с абсолютной ошибкой 0,027мл абсолютная предельная ошибка измерения масличности изменится следующим образом:

$$\begin{aligned} \sigma_{X_I} / \text{пр} &= 1308,33 \cdot 0,0002 + 654,575 \cdot 0,0002 + 654,575 \cdot \\ &\cdot 0,0002 + 4,620 \cdot 0,0277 + 70,5 \cdot 0,0005 + 2,717 \cdot 0,01 = \\ &= 0,7137\% \text{ масличн.} \end{aligned}$$

При вычислении предельной абсолютной ошибки функции абсолютные ошибки аргументов принимаются наибольшими по величине, что и обуславливает наибольшую /предельную/ при данных условиях абсолютную ошибку измерения. Полагая, что ошибки измерения, как случайные ошибки удовлетворяют нормальному закону распределения, имеем вероятную ошибку измерения  $\tau$  равной

$$\tau = \pm \frac{1}{2} \cdot \sigma_{X_I} / \text{пр} = 0,7137 \cdot 0,5 = 0,3568\% \text{ масличн.}$$

4.3.2. Расчет величины ошибки, вносимой в результаты определений масличности, усреднением значения показателя преломления чистого масла.

При определении масличности семян рефрактометрическим методом расчет масличности, как указывалось, производится по формуле /4-4/.

Для получения достоверных и точных результатов при расчете масличности следует учитывать истинное значение показателя преломления масла  $n_m$  для данной пробы семян.

Однако, при экспрессном и частом определении масличности указанным методом, возникают затруднения в определении  $n_M$  для каждой пробы семян и, поэтому, рациональнее показатель преломления чистого масла задавать в ВУ устройства в виде постоянной величины. Таковой, по-видимому, может быть усредненная величина показателя преломления масла, вычисленная по фактическим многолетним данным, характерным для данного сорта или зоны произрастания семян.

Абсолютная ошибка при расчете масличности по усредненному показателю преломления не должна превышать допустимой погрешности метода  $\pm 0,5\%$  масличности.

По литературным данным показатель преломления для известных сортов семян подсолнечника имеет значение от 1,474 до 1,478, а для промышленных сортов СССР по данным ВНИИЖ - ~~от 1,474 до 1,475~~ от 1,474 до 1,475 /4-2/.

С целью оценки получаемой ошибки при применении средней величины показателя преломления произведены сравнительные расчеты величин масличности исследуемых нами образцов семян при  $n_M = 1,476$  /среднеарифметическая величина  $n_M$  для известных сортов/ и при  $n_M = 1,4748$  /среднеарифметическая величина  $n_M$  для промышленных сортов/.

Полученные величины масличности сравниваются со значениями масличности, полученными указанным методом по фактическому показателю преломления масла в семенах, а также с масличностью семян, определенной стандартным методом.

Результаты сравнительных расчетов для 7 исследуемых образцов сведены в табл. 4-1.

В таблице приняты следующие обозначения масличности:  
 $M$  - масличность по стандартному методу;  
 $M_1$  - масличность по фактическому показателю преломления;  
 $M_2$  - масличность, вычисленная при  $n_M = 1,476$ ;  
 $M_3$  - масличность, вычисленная при  $n_M = 1,4748$ ;

В таблице приведены также величины ошибок при вычислении масличности для каждого опыта, а также ошибок средних значений масличности по образцам.

Таблица 4-1.

И	Фактический $\mu_M$	$M_1$	$M_2$	$M_3$	О ш и б к и				
					$M-M_1$	$M-M_2$	$M-M_3$	$M_1-M_2$	$M_1-M_3$
3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
37,14	I, 4755	37,43	37,59	37,18	+0,29	+0,45	+0,04	+0,16	+0,25
37,32	"	37,69	37,89	37,96	+0,67	+0,57	+0,64	+0,20	+0,27
37,41	"	37,43	37,81	37,91	+0,02	+0,40	+0,50	+0,38	+0,48
37,29	"	37,52	37,76	37,68	+0,23	+0,47	+0,39	+0,24	+0,16
44,28	I, 4755	44,51	44,82	44,20	+0,23	+0,54	-0,08	+0,31	-0,31
44,28	"	44,51	44,72	44,20	+0,23	+0,44	-0,08	+0,21	-0,31
44,47	"	44,74	44,93	44,35	+0,27	+0,46	-0,12	+0,19	-0,39
44,47	"	44,51	44,72	44,14	+0,04	+0,25	-0,33	+0,21	-0,37
44,47	"	44,74	44,93	44,35	+0,27	+0,46	-0,12	+0,19	-0,39
44,47	"	44,51	44,72	44,20	+0,04	+0,25	-0,27	+0,21	-0,31
44,58	"	44,64	44,84	44,28	+0,06	+0,26	-0,30	+0,20	-0,36
44,58	"	44,64	44,84	44,28	+0,06	+0,26	-0,30	+0,20	-0,36
44,58	"	44,69	44,94	44,38	+0,11	+0,36	-0,20	+0,25	-0,31
44,58	"	44,64	44,84	44,28	+0,06	+0,26	-0,30	+0,20	-0,36
44,46	"	44,61	44,83	44,27	+0,15	+0,37	-0,19	+0,22	-0,34
49,82	I, 4756	49,65	49,47	48,85	-0,17	-0,35	-0,97	-0,18	-0,80
49,86	I, 4755	50,24	50,45	50,56	+0,38	+0,59	+0,70	+0,21	+0,32
49,86	"	49,94	50,56	50,24	+0,11	+0,70	+0,38	+0,62	+0,27
49,86	"	49,97	50,56	50,24	+0,11	+0,70	+0,38	+0,59	+0,27
49,86	I, 4756	49,77	49,97	49,82	-0,09	+0,11	-0,04	+0,20	+0,05
49,86	"	49,92	50,20	49,94	+0,06	+0,34	+0,08	+0,28	+0,02
51,06	I, 4756	51,41	51,72	51,05	+0,35	+0,66	-0,01	+0,31	-0,36
51,06	"	51,41	51,72	51,05	+0,35	+0,66	-0,01	+0,31	-0,36
51,09	"	51,22	51,46	50,79	+0,13	+0,37	-0,30	+0,24	-0,43
51,07	"	51,34	51,63	50,96	+0,27	+0,56	-0,11	+0,29	-0,38
52,48	I, 4755	52,70	52,93	52,21	+0,22	+0,45	-0,27	+0,23	-0,49
52,48	"	52,52	52,77	52,06	+0,04	+0,29	-0,42	+0,25	-0,46
52,48	"	52,52	52,77	52,06	+0,04	+0,29	-0,42	+0,25	-0,46
52,48	"	52,70	52,93	52,21	+0,22	+0,45	-0,27	+0,23	-0,49
52,70	I, 4750	52,50	53,14	52,21	-0,20	+0,44	-0,49	+0,64	-0,29
52,70	"	52,50	53,14	52,21	-0,20	+0,44	-0,49	+0,64	-0,29
52,55	"	52,57	52,95	52,16	+0,02	+0,40	-0,39	+0,38	-0,41

	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
6	52,27 I, 4756	52,52	52,91	52,18	+0,25	+0,64	-0,09	+0,39	-0,34	
"	52,27 "	52,64	52,91	52,18	+0,37	+0,67	-0,09	+0,30	-0,46	
"	52,27 "	52,52	52,91	52,18	+0,25	+0,64	-0,09	+0,39	-0,34	
"	52,15 "	52,54	52,64	52,59	+0,39	+0,49	+0,44	+0,10	+0,04	
"	52,15 "	52,29	52,44	52,33	+0,14	+0,29	+0,18	+0,15	+0,04	
	52,22	52,50	52,77	52,29	+0,28	+0,55	+0,07	+0,27	-0,21	
7	55,57 I, 4756	55,97	56,08	55,29	+0,40	+0,51	-0,28	+0,11	-0,68	
"	55,37 "	54,93	55,14	54,88	-0,44	-0,23	-0,49	+0,21	-0,05	
	55,47	55,45	55,61	55,09	-0,02	+0,14	-0,38	+0,16	-0,36	

Обзор данных табл.4-I показывает, что при замене фактического показателя преломления средним его значением для известных сортов семян подсолнечника /I,476/ величина ошибки в большинстве опытов не превышает 0,5% и по средним данным находится в пределах +0,08 - +0,56% /графа 9 табл./ Отклонения выше допустимой величины получены в II опытах, причем, наибольшее расхождение по сравнению с результатами стандартного метода составляет 0,7% /опыты I6, I7, 29/.

Что касается ошибок, полученных при сопоставлении величины масличности, вычисленной по среднему и фактическому показателям преломления /графа II табл./, то они во всех опытах, за исключением I6, I7, 26 и 27, находятся в пределах +0,16 - +0,39. Это можно объяснить тем, что фактические величины показателей преломления исследуемых образцов очень близки к средней величине.

При расчете масличности по показателю преломления, среднему для промышленных сортов подсолнечника /I,4748/, как видно из граф IO таблицы, только в трех опытах /2, I4, I5/ величина ошибки превышает допустимую. По средним данным величины ошибок находятся в пределах -0,11 - +0,39%.

При сравнении полученных результатов определения масличности с вычисленными по фактическому показателю преломления /графа I2 таблицы/ оказалось, что ошибки, превышающие допустимую, получены только в двух опытах /I4 и 33/.

Таким образом, можно предполагать, что применение при расчет масличности средних значений показателя преломления чистого масла не должно приводить к увеличению ошибки выше допустимого значения. При этом следует отметить, что средний показатель преломления масла, используемый в подобных расчетах, должен быть среднестатистической величиной, полученной на основании анализа многолетних данных о колебаниях величины показателя преломления масла для данной зоны в сортовом разрезе с учетом объема поставок того или иного сорта.

4.4. Полный факторный эксперимент /ПФЭ/ по обоснованию рефрактометрического метода определения масличности семян.

4.4.I. Описание методики ПФЭ.

Методы планирования и анализа эксперимента - это научные методы подготовки исходных данных для принятия оптимальных ре-

пений в научной работе, связанной с экспериментом. Сущность планирования эксперимента состоит в выборе числа и условий проведения опытов, необходимых и достаточных для решения поставленной задачи с требуемой точностью [4-3] при условии: минимизации числа опытов, одновременного варьирования всеми, влияющими на процесс, переменными, по определенным алгоритмам; использование вероятностного математического аппарата для обработки данных эксперимента.

План эксперимента и его реализация осуществляются согласно принятой методике [4-3 ÷ 4; 10], которая предусматривает следующий порядок:

#### I. Выбор цели исследования и формулирование задачи.

Целью исследования в данном случае является установление связи между величиной измеряемого показателя преломления мисцеллы и рядом факторов - масличностью семян, их влажностью, количеством растворителя и характера этих связей.

Такие задачи относятся к разряду интерполяционных, для которых процесс измерения может быть представлен, чаще всего, линейной моделью вида

$$y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \dots \quad /4-8/$$

В результате проведения и обработки эксперимента должна подтвердиться гипотеза об адекватности выбранной линейной модели, при этом - оценками коэффициентов  $\beta_0, \beta_1, \beta_2$  и т.д. служат коэффициенты уравнения

$$y = b_0 + b_1 x_1 + b_2 x_2 + \dots \quad /4-9/$$

$b_0, b_1, b_2$  и т.д., которые вычисляются по экспериментально полученным данным выборок и статистически проверяются на точность и надежность.

Параметром эксперимента, характеризующим процесс измерения масличности семян рефрактометрическим методом, может служить показатель преломления мисцеллы, полученный добавлением к измельченным семенам растворителя /монобромнафталина/.

Показатель преломления мисцеллы может меняться в пределах от I,658 /показатель преломления монобромнафталина/ до I,473 /показатель преломления подсолнечного масла/.

Точность измерения параметра эксперимента лабораторным рефрактометром -  $0,5 \cdot 10^{-3}$ .

2. Выбор варьируемых факторов, основного уровня и интервалов варьирования.

Построение линейных моделей [4-3, 4-6, 4-8, 4-10] связано с проведением полного факторного эксперимента /ПФЭ/, в котором реализуются все возможные комбинации уровней, рассматриваемых факторов, а результаты оцениваются с помощью статистического анализа. Число опытов определяют из соотношения [4-3, 4-10]

$$N = p^k$$

/4-10/

где  $N$  - число опытов

$p$  - число уровней факторов

$k$  - число факторов.

Фактор варьируют на двух уровнях, чем обусловлено использование ~~проц~~ при планировании ПФЭ факторных планов типа  $2^k$ .

Факторами, определяющими процесс измерения показателя при данном рефрактометрическом методе определения масличности, являются:

$\tilde{X}_1$  - масличность семян /в %/;

$\tilde{X}_2$  - - влажность семян /в %/;

$\tilde{X}_3$  - время, необходимое для экстракции масла из семян /в мин/;

$\tilde{X}_4$  - количество растворителя /в мл/;

$\tilde{X}_5$  - время, необходимое для отфильтровывания мисцеллы /в мин/;

$\tilde{X}_6$  - температура смеси /в  $^{\circ}\text{C}$ /;

$\tilde{X}_7$  - величина навески семян /в г/;

При таком количестве факторов ПФЭ будет состоять из  $2^k = 2^7 = 128$  опытов, что приводит с одной стороны к существенному увеличению сроков эксперимента, а также увеличению трудоемкости, как самого эксперимента, так и его статистического анализа. С другой стороны ряд факторов может быть установлен на постоянном уровне. Так, фактор  $\tilde{X}_5$  - время, необходимое для отфильтровывания мисцеллы, не варьируется, а устанавливается на уровне, равном 3 мин.,  $\tilde{X}_6$  - температура смеси принимается постоянной, равной  $20^{\circ}\text{C}$ , т.к. применение рефрактометра требует термостатирования образца при указанной температуре;  $\tilde{X}_7$  - величина навески семян принимается равно

20г, согласно прописи определения масличности.

Варьируемыми факторами, для которых необходим выбор основного уровня и интервалов варьирования являются масличность семян  $\tilde{X}_1$ , влажность семян  $\tilde{X}_2$ , время экстракции масла из семян  $\tilde{X}_3$ , количество растворителя  $\tilde{X}_4$ .

Масличность семян изменяется от 30% до 60%; влажность от 6% до 22%, время экстракции 1 или 2 мин; количество растворителя в среднем равно 10мл.

В задачах интерполяции в качестве диапазона варьирования принимается вся область определения фактора, за нулевой уровень принимается среднее значение диапазона изменения фактора. В таком случае:

для  $\tilde{X}_1$  интервал варьирования выбран в пределах варьирования от малого до большого уровня, а нулевой уровень определяется средним значением;

для  $\tilde{X}_2$  интервал варьирования  $J_2 = 8\%$ , нулевой уровень  $X_2 = 14\%$ ;

для  $\tilde{X}_3$  интервал варьирования  $J_3 = 0,5$  мин; нулевой уровень  $X_3 = 1,5$  мин;

для  $\tilde{X}_4$  интервал варьирования  $J_4 = 5$  мл; нулевой уровень  $X_4 = 10$  мл.

Данные о выборе уровней факторов, интервалов варьирования и их кодированные значения приведены в табл. 4-2.

Таблица 4-2.

Факторы	-I	0	+I	J	Размерность.
$\tilde{X}_1$	М	-	б	-	%
$\tilde{X}_2$	6	14	22	8	%
$\tilde{X}_3$	1	1,5	2	0,5	МИН
$\tilde{X}_4$	5	10	15	5	МЛ

### 3. Выбор технологии измерения:

Навеска семян определенной /в соответствии с планом эксперимента/ влажности и масличности дезинтегрируется, смешивается с **растворителем**, в присутствии которого продолжается дезинтеграция, полученная смесь центрифугируется, определяется по рефрактометру показатель преломления мисцеллы, который соответствует концентрации масла в смеси.

### 4. Необходимые анализы:

Определение масличности навески семян, ее влажности, определение коэффициента преломления растворителя и масла в семенах.

### Описание экспериментальной установки:

Использовались сушильный шкаф, измельчитель, центрифуга, рефрактометр.

Определение влажности образцов проводилось в лабораторном сушильном шкафу СЭШ-3М по стандартной методике. Для определения масличности по стандартному методу осуществляли полную экстракцию масла из семян в аппарате Сокслета. При проведении ПФЭ были использованы:

а/ дезинтегратор, изготовленный по типу кофемолки с измененной конструкцией ножей, смонтированной на двигателе размельчителя тканей РТ-1. Число оборотов двигателя - 8000 об/мин;

б/ центрифуга ЦЛС-3 при 5000 об/мин. Для определения мисцеллы мзгу помещали в стальные стаканы с сетчатым дном, на которое помещали металлическую перфорированную сетку и плотный фильтр;

в/ рефрактометр УРЛ для определения показателей преломления мисцеллы, масла и растворителя.

### 6. Рандомизация эксперимента.

Последним звеном в планировании эксперимента является рандомизация его, т.е. обеспечение таких условий проведения эксперимента, при которых систематические ошибки эксперимента, вызванные внешними условиями, можно было бы учитывать, как случайные. Для этого, пронумеровав все опыты, порядок их выполнения принимаем согласно числам таблицы случайных чисел [4-3] /31, 7, 18, 14, 6, 17, 27, 21, 20, 19, 22, 3, 29, 13, 2, 15, 10, 25, 11, 23, 30, 16, 26, 8, 32, 12, 24, 28, 4, ~~20~~, 9, 5, 1/.

В результате планирования ПФЭ определяются числа экспериментальных точек, а также такое расположение в факторном пространстве, которое обеспечивает при минимальном числе опытов получение наиболее полной информации о процессе измерений параметра эксперимента, что наряду с условиями проведения опытов отражено в стандартной матрице планирования табл. 4-2, в которую затем вписываются также и результаты эксперимента, что облегчает пользование ими при статистическом анализе.

#### 4.4.2. Описание методов обработки данных ПФЭ.

В большинстве случаев для обработки экспериментальных данных с целью извлечения из них наиболее полной информации, применяется регрессионный анализ [4-3, 4-6, 4-8, 4-10, 4-11, 4-12, 4-13]. Как метод статистического анализа результатов эксперимента регрессионный анализ состоит из 3-х этапов:

Таблица 4-3.

№ опы- тов в матрице.	Случай- ный по- рядок реализа- ции опы- тов.	Дата, время прове- дения опытов.	X <sub>1</sub>		X <sub>2</sub>		X <sub>3</sub>		X <sub>4</sub>		Показатель преломления.
			код	%	код	%	код	мин	код	мин	
I	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1 /17/	32 6	9.XII 30.XI	-	-	6	-	1	-	5	I,5482 I,5486	
2 /18/	15 3	7.XII 30.XI	+	-	6	-	1	-	1	I,5469 I,5470	
3 /19/	12 10	7.XII 7.XII	-	+	22	-	1	-	5	I,60249 I,6028	
4 /20/	29 9	9.XII 7.XII	+	+	22	-	1	-	5	I,5780 I,157 83	
5 /21/	31 8	9.XII 30.XI	-	-	6	+	2	-	5	I,5428 I,5432	
6 /22/	5 11	30.XI 7.XII	+	-	6	+	2	-	5	I,5485 I,5480	
7 /23/	2 20	23.XI 9.XII	-	+	22	+	2	-	5	I,5937 I,5939	
8 /24/	24 27	9.XII 9.XII	+	+	22	+	2	-	5	I,5743 I,5742	
9 /25/	30 18	9.XII 7.XII	-	-	6	-	1	+	15	I,5864 I,5868	
10 /26/	17 23	7.XII 9.XII	+	-	6	-	1	+	15	I,5852 I,5854	
11 /27/	19 7	7.XII 30.XI	-	+	22	-	1	+	15	I,6267 I,6269	

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
I2 /28/	26 28	9.XII 9.XII	+		+	22	-	1	+	I5	I,6267 I,6268
I3 /29/	I4 I3	7.XII 7.XII	-		-	6	+	2	+	I5	I,5972 I,5873
I4 /30/	4 2I	30.XI	+		-	6	+	2	+	I5	I,5853 I,5852
I5 /31/	I6 I	7.XII 23.XI	-		+	22	+	2	+	I5	I,6243 I,6243
I6 /32/	22 25	9.XII 9.XII	+		+	22	+	2	+	I5	I,6193 I,6193

1. Определения ошибки опытов и эксперимента.

2. Проверки значимости коэффициентов уравнения регрессии.

3. Проверки адекватности уравнения регрессии.

При этом полагаем, что параметр эксперимента есть случайная величина с нормальным законом распределения.

I. Обработка экспериментальных данных связана с определением нескольких видов ошибок, каждая из которых связана с определенной стадией работы.

Эксперимент по обоснованию рефрактометрического метода определения маслячности состоит из  $M=16$  опытов. Повторность отдельных опытов наблюдений  $n=2$ .

Оценкой ошибки опытов является дисперсия опытов, которая определяется по формуле:

$$S_{\text{ош}}^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (Y_{in} - \bar{Y}_{in})^2}{n-1} \quad /4-II/$$

где  $S_{\text{ош}}^2$  - дисперсия ошибок опытов;  
 $n$  - число наблюдений /повторений опыта/;  
 $Y_{in}$  - параметра эксперимента для отдельных наблюдений;  
 $\bar{Y}_{in}$  - среднее арифметическое значение параметра эксперимента /результатов и отдельных опытов/.

При этом

$$\bar{Y}_{in} = \frac{\sum_{i=1}^n Y_{in}}{n} \quad /4-I2/$$

Результаты расчетов дисперсий опытов  $S_{\text{ош}}^2$  сведены в табл. 4-4.

Таблица 4-4

Результаты наблюдений.		$\bar{Y}_n$	$Y_n - \bar{Y}_n$	$(Y_n - \bar{Y}_n)^2$	$S_{\text{ош}}^2$
$Y_{n1}$	$Y_{n2}$				
1,5482	1,5486	1,5484	0,0002	$0,4 \cdot 10^{-7}$	$0,8 \cdot 10^{-7}$
1,5469	1,5473	1,5471	0,0002	$0,4 \cdot 10^{-7}$	$0,8 \cdot 10^{-7}$
1,60249	1,6028	1,60264	0,00015	$0,225 \cdot 10^{-7}$	$0,45 \cdot 10^{-7}$
1,5780	1,5783	1,57815	0,00015	$0,225 \cdot 10^{-7}$	$0,45 \cdot 10^{-7}$
1,5428	1,5432	1,5430	0,0002	$0,4 \cdot 10^{-7}$	$0,8 \cdot 10^{-7}$
1,5485	1,5480	1,54825	0,00025	$0,625 \cdot 10^{-7}$	$1,35 \cdot 10^{-7}$
1,5937	1,5939	1,5938	0,0001	$0,1 \cdot 10^{-7}$	$0,2 \cdot 10^{-7}$
1,5743	1,5748	1,57455	0,00025	$0,625 \cdot 10^{-7}$	$1,35 \cdot 10^{-7}$
1,5864	1,5868	1,5866	0,0002	$0,4 \cdot 10^{-7}$	$0,8 \cdot 10^{-7}$
1,5852	1,5854	1,5853	0,0002	$0,4 \cdot 10^{-7}$	$0,8 \cdot 10^{-7}$
1,6267	1,6269	1,6268	0,0001	$0,1 \cdot 10^{-7}$	$0,2 \cdot 10^{-7}$
1,6267	1,6270	1,62685	0,00015	$0,225 \cdot 10^{-7}$	$0,45 \cdot 10^{-7}$
1,5872	1,5876	1,5874	0,0002	$0,4 \cdot 10^{-7}$	$0,8 \cdot 10^{-7}$
1,5857	1,5852	1,58545	0,00025	$0,625 \cdot 10^{-7}$	$1,35 \cdot 10^{-7}$
1,6243	1,6243	1,6243	0	0	0
1,6193	1,6193	1,6193	0	0	0
				$\bar{\Sigma} = 5,3 \cdot 10^{-7}$	$\Sigma S_{\text{ош}}^2 = 10,6 \cdot 10^{-7}$

Допустимые отклонения величины  $\bar{Y}_n$  от истинного значения параметра эксперимента  $y$  при принятой доверительной вероятности  $\alpha = 0,95$  определяются соотношением [4-8] :

$$Y_n - \frac{t S_{\text{ош}}}{\sqrt{n}} \leq y \leq \bar{Y}_n + \frac{t S_{\text{ош}}}{\sqrt{n}} \quad /4-13/$$

где  $t$  - критерий Стьюдента определяем по табл./4-8/ в зависимости от принятого уровня значимости  $/1-\alpha/$  и числа степеней свободы  $f = n - 1$ .

При уровне значимости 0,05 и  $f = 1$   $t = 12,71$ .

При этом средняя квадратичная ошибка:

$$S_{\text{ош}} = \sqrt{S_{\text{ош}}^2}$$

Результаты вычисления  $S_{\text{ош}}$  и граничных значений  $y$  сводим в табл. 4-5.

Таблица 4-5.

№ опы- та.	$S_{\text{ош}}$	$t S_{\text{ош}}$	$\frac{t S_{\text{ош}}}{\sqrt{n}}$	$\bar{y}_n - \frac{t S_{\text{ош}}}{\sqrt{n}}$	$\bar{y}_n + \frac{t S_{\text{ош}}}{\sqrt{n}}$
1	0,2828.10 <sup>-3</sup>	3,594.10 <sup>-3</sup>	2,541.10 <sup>-3</sup>	1,54586	1,55094
2	0,2828.10 <sup>-3</sup>	3,594.10 <sup>-3</sup>	2,541.10 <sup>-3</sup>	1,54456	1,54964
3	0,2121.10 <sup>-3</sup>	2,696.10 <sup>-3</sup>	1,857.10 <sup>-3</sup>	1,60078	1,6045
4	0,2121.10 <sup>-3</sup>	2,696.10 <sup>-3</sup>	1,857.10 <sup>-3</sup>	1,57630	1,5800
5	0,2828.10 <sup>-3</sup>	3,594.10 <sup>-3</sup>	2,541.10 <sup>-3</sup>	1,54046	1,54554
6	0,3674.10 <sup>-3</sup>	4,670.10 <sup>-3</sup>	3,302.10 <sup>-3</sup>	1,54495	1,55155
7	0,1414.10 <sup>-3</sup>	1,797.10 <sup>-3</sup>	1,27.10 <sup>-3</sup>	1,59253	1,59507
8	0,3674.10 <sup>-3</sup>	4,670.10 <sup>-3</sup>	3,302.10 <sup>-3</sup>	1,57075	1,57735
9	0,2828.10 <sup>-3</sup>	3,594.10 <sup>-3</sup>	2,541.10 <sup>-3</sup>	1,58406	1,58914
10	0,2828.10 <sup>-3</sup>	3,594.10 <sup>-3</sup>	2,541.10 <sup>-3</sup>	1,58276	1,59784
11	0,1414.10 <sup>-3</sup>	1,797.10 <sup>-3</sup>	1,27.10 <sup>-3</sup>	1,62553	1,62807
12	0,2121.10 <sup>-3</sup>	2,696.10 <sup>-3</sup>	1,857.10 <sup>-3</sup>	1,6250	1,6287
13	0,2828.10 <sup>-3</sup>	3,594.10 <sup>-3</sup>	2,541.10 <sup>-3</sup>	1,58486	1,58994
14	0,3674.10 <sup>-3</sup>	4,670.10 <sup>-3</sup>	3,302.10 <sup>-3</sup>	1,58215	1,58875
15	0	0	0	1,6243	1,6243
16	0	0	0	1,6193	1,6193

Для перехода к оценке ошибки эксперимента необходимо проверить однородность дисперсий опытов по критерию Кохрена. Дисперсии однородны в случае, если расчетное значение критерия меньше табличного. При получении дисперсий опытов учитывалось одинаковое число наблюдений в каждом опыте  $n = \text{const}$ , поэтому значение критерия Кохрена определяем по формуле [6]:

$$G = \frac{S_{\text{max}}^2}{\sum_1^n S_i^2}$$

/4-14/

где

- $S_{\text{max}}^2$  — максимальная дисперсия;  
 $\sum_1^n S_i^2$  — сумма всех дисперсий;  
 $n$  — число опытов / количество дисперсий/

$$G_{\text{расч.}} = \frac{1,35 \cdot 10^{-7}}{10,6 \cdot 10^{-7}} = 0,127$$

Сравниваем полученное расчетное значение критерия Кохрена с табличным. Табличное значение критерия Кохрена выбирается в зависимости от числа опытов  $N$  и числа их повторений  $n$  / в таблице /4-8/ соответственно  $m$  и  $t$  /, в нашем случае  $N=16$ ,  $n=2$ ; Ближайшие значения  $G_{\text{табл.}} = 0,3346$  для  $N=15$  и  $n=2$  и  $G_{\text{табл.}} = 0,2705$  для  $N=20$  и  $n=2$ , тогда для  $N=16$  и  $n=2$   $G_{\text{табл.}} = 0,3218$ . Ф.к.  $0,127 < 0,3218$ , то  $G_{\text{расч.}} < G_{\text{табл.}}$  и дисперсии можно считать однородными.

Поскольку дисперсии отдельных опытов однородны и дублирование равномерное /одинаковое число наблюдений в каждом опыте, результаты которого принимаются во внимание при оценке дисперсии воспроизводимости [4-10] / для расчета  $S_{(y)}^2$  дисперсии эксперимента, или дисперсии воспроизводимости используем уравнение /4-10/ :

$$S_{(y)}^2 = \frac{\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^n (Y_{ij} - \bar{Y}_i)^2}{N(n-1)}, \quad /4-15/$$

где  $N$  - число опытов /строк матрицы планирования/;

$n$  - число наблюдений в отдельном опыте;

$Y_{ij}$  - результат отдельного наблюдения /параметра эксперимента/;

$\bar{Y}_i$  - среднее арифметическое значение параметра /результато опыта/;

При  $n=2$  формула принимает вид:

$$S_{(y)}^2 = \frac{\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^n (Y_{ij} - \bar{Y}_i)^2}{N} \quad /4-15a/$$

Дисперсия воспроизводимости для ПФЭ по обоснованию рефрактометрического метода определения маслячности семян составит:

$$S_{(y)}^2 = \frac{10,6 \cdot 10^{-7}}{16} = 0,66 \cdot 10^{-7}$$

2. Знание дисперсии  $S^2(y)$ , характеризующей ошибку воспроизводимости, дает возможность перейти к следующему этапу статистического анализа – проверка значимости коэффициентов.

Уравнение регрессии при учете варьируемых факторов  $X_1 - X_4$  и пренебрежении их взаимовлияниями имеет вид

$$y = b_0 + b_1 x_1 + b_2 x_2 + b_3 x_3 + b_4 x_4 \quad /4-16/$$

Необходимо вычислить пять коэффициентов согласно формуле [4-6] :

$$b_i = \frac{\sum_{i=1}^N y_i x_{ji}}{N} \quad /4-17/$$

где  $j = 0, 1, 2, 3, 4$

тогда 
$$b_0 = \frac{\sum_{i=1}^N y_i}{N} = \frac{25,377}{16} = 1,5868$$

Подставляя в формулу /4-17/ кодированные значения  $X_I$  /см. матрицу планирования/, получаем значения коэффициентов регрессии:  $b_1 = 0,00289$ ,  $b_2 = 0,01983$ ,  $b_3 = 0,00161$ ,  $b_4 = 0,01927$ .

Тогда уравнение регрессии, полученное в результате данного ПЭЗ по обоснованию рефрактометрического метода определения масличности семян имеет вид:

$$y = 1,58608 - 0,00259X_1 + 0,01983X_2 - 0,00161X_3 + 0,01927X_4 \quad /4-18/$$

Наличие информации о значимости коэффициентов облегчает интерпретацию математической модели процесса измерения, а также дает возможность отсеять при дальнейших исследованиях часть незначимых факторов, что упрощает работу экспериментатора [4-10]

Коэффициент уравнения регрессии значим, если его абсолютная величина больше доверительного интервала. Поэтому

$$P(b_i - \Delta b_i \leq \beta_i \leq b_i + \Delta b_i) = \alpha \quad /4-19/$$

где  $\alpha$  - доверительная вероятность того, что найденное расчетное значение коэффициентов  $\beta_i$  отличается от истинного значения коэффициента  $\beta_i$  на величину, которая не превышает погрешности в оценке коэффициента  $\Delta\beta_i$ .

Для линейных моделей можно принять [4-10]

$$\Delta\beta_i = \pm 2S_{(\beta_i)}^2 \quad /4-20/$$

где  $S_{(\beta_i)}^2$  - квадратичная ошибка, связанная с ошибками в определении коэффициентов регрессии

$$S_{\beta_i}^2 = \frac{S(y)}{Nn} \quad /4-21/$$

Подставляя ранее найденное значение  $S(y)$  и значения  $N$  и  $n$  имеем

$$S_{(\beta_i)}^2 = \frac{0,66 \cdot 10^{-7}}{16 \cdot 2} = 0,2 \cdot 10^{-7}$$

тогда средняя квадратичная ошибка  $S_{(\beta_i)} = \sqrt{S_{(\beta_i)}^2} = 0,1414 \cdot 10^{-3}$

После чего находим погрешности в оценке коэффициентов:

$$\Delta\beta_i = \pm 2 \cdot 0,1414 \cdot 10^{-3} = 0,2828 \cdot 10^{-3} = 0,000283, \text{ следовательно}$$

$$1,5858 \leq \beta_0 \leq 1,58636$$

$$0,00261 \leq \beta_1 \leq 0,00317$$

$$0,01355 \leq \beta_2 \leq 0,2011$$

$$0,00133 \leq \beta_3 \leq 0,00189$$

$$0,01899 \leq \beta_4 \leq 0,01955$$

Таким образом, все коэффициенты значимы с доверительной вероятностью 95%.

3. Последний этап статистического анализа - проверки адекватности модели. Гипотезу об адекватности модели проверяем с помощью критерия Фишера [4-8]

$$F = \frac{S_{ag}^2}{S(y)^2} \quad /4-22/$$

где  $S_{ag}^2$  - постоянная дисперсия или дисперсия адекватности;  
 $S(y)^2$  - дисперсия воспроизводимости.

Таким образом, оценка адекватности модели связана с анализом различия между разбросом экспериментальных точек относительно линии регрессии и разбросом, который определяется величиной доверительного интервала. Дисперсия воспроизводимости найдена ранее и равна:

$$S(y) = 0,66 \cdot 10^{-7}$$

В случае ПФЭ и при равномерном дублировании

$$S_{\text{ог}}^2 = \frac{\sum_{i=1}^N n (\bar{y}_n - \hat{y}_n^1)^2}{N - k - 1} \quad /4-23/$$

где  $\hat{y}_n^1$  — расчетное значение параметра эксперимента по уравнению регрессии;

$k$  — число факторов

Расчетные значения критерия  $\hat{y}_n^1$  находим по уравнению /4-18/, которое получено после обработки экспериментальных данных ПФЭ.

С учетом условий опыта /согласно матрице планирования эксперимента табл. 4-3 /:

$$\begin{aligned} \hat{y}_{1,1}^1 &= 1,55148 \\ \hat{y}_{2,1}^1 &= 1,54570 \\ \hat{y}_{3,1}^1 &= 1,59114 \\ \hat{y}_{4,1}^1 &= 1,58536 \\ \hat{y}_{5,1}^1 &= 1,54826 \\ \hat{y}_{6,1}^1 &= 1,54244 \\ \hat{y}_{7,1}^1 &= 1,58792 \\ \hat{y}_{8,1}^1 &= 1,58214 \\ \hat{y}_{9,1}^1 &= 1,59002 \\ \hat{y}_{10,1}^1 &= 1,58424 \\ \hat{y}_{11,1}^1 &= 1,62968 \\ \hat{y}_{12,1}^1 &= 1,62390 \\ \hat{y}_{13,1}^1 &= 1,58680 \\ \hat{y}_{14,1}^1 &= 1,58102 \\ \hat{y}_{15,1}^1 &= 1,62646 \\ \hat{y}_{16,1}^1 &= 1,62068 \end{aligned}$$

Для расчета  $S_{ag}^2$  составляем расчетную таблицу 4-6:

Таблица 4-6.

$\bar{y}_n$	$\hat{y}_n$	$\bar{y}_n - \hat{y}_n$	$(\bar{y}_n - \hat{y}_n)^2$	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>3</sub>	X <sub>4</sub>
I,5484	I,55148	0,00308	9,486 · 10 <sup>-6</sup>	-	-	-	-
I,5471	I,54570	0,00140	2,074 · 10 <sup>-6</sup>	+	-	-	-
I,60264	I,59114	0,01150	182,3 · 10 <sup>-6</sup>	-	+	-	-
I,57815	I,58536	0,00721	51,88 · 10 <sup>-6</sup>	+	+	-	-
I,5430	I,54826	0,00526	27,67 · 10 <sup>-6</sup>	-	-	+	-
I,54825	I,54244	0,00581	33,76 · 10 <sup>-6</sup>	+	-	+	-
I,5938	I,58792	0,00588	34,57 · 10 <sup>-6</sup>	-	+	+	-
I,57455	I,58214	0,00759	57,61 · 10 <sup>-6</sup>	+	+	+	-
I,5866	I,59002	0,00342	11,7 · 10 <sup>-6</sup>	-	-	-	+
I,5853	I,58424	0,00106	1,124 · 10 <sup>-6</sup>	+	-	-	+
I,6268	I,62968	0,00288	8,294 · 10 <sup>-6</sup>	-	+	-	+
I,62685	I,62390	0,00295	8,703 · 10 <sup>-6</sup>	+	+	-	+
I,5874	I,58680	0,0006	0,36 · 10 <sup>-6</sup>	-	-	+	+
I,58545	I,58102	0,00443	19,62 · 10 <sup>-6</sup>	+	-	+	+
I,6243	I,62646	0,00784	61,47 · 10 <sup>-6</sup>	-	+	+	+
I,6193	I,62068	0,00138	1,904 · 10 <sup>-6</sup>	+	+	+	+

$$\sum (\bar{y}_n - \hat{y}_n)^2 = 462,625 \cdot 10^{-6}$$

Определяем число степеней свободы  $f_{ag} = N - K - 1 = 16 - 4 - 1 = 11$

персия адекватности

$$S_{ag}^2 = \frac{2 \cdot 462,625 \cdot 10^{-6}}{11} = 84,113 \cdot 10^{-6}$$

твое значение критерия Фишера

$$F_{\text{расч.}} = \frac{84,113 \cdot 10^{-6}}{0,66 \cdot 10^{-7}} = 140,88 \cdot 10^{-1}$$

исло степеней свободы для большей  $f_1 = 11$  и для меньшей  $f_2 = 16$  персий.

По таблице 2 /4-8/ определяем значение критерия Фишера и сравниваем его с расчетным.

$$F_{\text{расч.}} \gg F_{\text{табл.}}$$

$$140,88 \cdot 10 \gg 2,45$$

Следовательно, с вероятностью 95% можно считать уравнение регрессии неадекватным.

Следовательно, в данном случае требуются дополнительные исследования характера связи параметра эксперимента и варьируемых факторов. Первым шагом в этом направлении может служить изменение перечня варьируемых факторов.

С этой целью, согласно приведенной выше методике полного факторного эксперимента был спланирован и осуществлен следующий эксперимент по обоснованию рефрактометрического метода определения масличности семян, в котором при той же цели исследования, технологии измерения и экспериментальной установке, факторами, варьируемыми в процессе эксперимента, являются:

$X_1$  - влажность семян /%/;  $X_2$  - количество растворителя /мл  
 $X_3$  - степень измельчения семян /мин/;  $X_4$  - время экстракции масла из семян /мин/.

ПФЭ содержит  $N = 2^k = 2^4 = 16$  опытов.

Уровни факторов и интервалы варьирования приведены в табл. 4-7:

Таблица 4-7.

Факторы	-I	0	+I	$y$	Размерность
$X_1$	6	15	24	9	%
$X_2$	5	10	15	5	мл
$X_3$	3	2	1	1	мин
$X_4$	1	3	5	2	мин

Параметром эксперимента  $y$  в этом случае выбрана масличность семян /в % масличности/.

Функцию отклика /уравнение регрессии/ и в этом случае полагаем линейной.

Записываем ряд случайных чисел и составляем матрицу планирования ПФЭ /табл. 4-8/, в которую также заносим результаты эксперимента - значения показателя преломления и значения масличности семян для этих показателей преломления, вычисленные по формуле:

$$M = \frac{X \cdot 100}{P}$$

/4-24/

где М - масличность семян подсолнечника в %;

Р - навеска семян в г;

Х - количество масла в пробе семян в г, вычисляется по приводимой ранее методике.

Параметр эксперимента М начисляется согласно /4-24/ при  
 $P = 20\text{г}; V_p = 10\text{ мл}; \rho_M = 0,920 \frac{\text{г}}{\text{см}^3}; \rho_M = 1,476, \rho_p = 1,66$

Матрица планирования и результаты эксперимента Табл. 4-8.

Служб. поряд. док. репр. физ. опы. тов.	Дата про- ве- ден. опы- тов.	X <sub>1</sub>		X <sub>2</sub>		X <sub>3</sub>		X <sub>4</sub>		Пока- затель прелом- ления.	Маслич- ность.	Сред- нее.
		код	%	код	мл	код	мин	код	мин			
2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
32	-	6	-	5	-	1	-	1	1,5405	50,5	48,35	
22	-	6	-	5	-	1	-	1	1,54119	46,2		
24	+	24	-	5	-	1	-	1	1,579	24,4	26,9	
27	-	6	-	5	-	1	-	1	1,5715	29,4		
8	-	6	+	15	-	1	-	1	1,583	54,5	54,5	
3	-	6	+	15	-	1	-	1	1,583	54,5		
16	+	24	+	15	-	1	-	1	1,6113	33,1	30,45	
4	-	6	-	5	+	3	-	1	1,617	27,8		
9	-	6	-	5	+	3	-	1	1,538	51,6	51,6	
15	-	6	-	5	+	3	-	1	1,5381	51,61		
11	+	24	-	5	+	3	-	1	1,5735	28,2	28,65	
1	-	6	-	5	+	3	-	1	1,572	29,1		
14	-	6	+	15	+	3	-	1	1,581	57,1	55,15	
5	+	24	+	15	+	3	-	1	1,584	53,2		
10	+	24	+	15	+	3	-	1	1,611	33,4	34,15	
20	-	6	-	5	-	1	+	5	1,6095	34,9		
31	-	6	-	5	-	1	+	5	1,5465	41,8	39,70	
19	-	6	-	5	-	1	+	5	1,551	37,6		
12	+	24	-	5	-	1	+	5	1,5734	28,2	30,40	
13	-	6	-	5	-	1	+	5	1,567	32,6		

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
11	2	-	6	+	15	-	1	+	5	I,584	53,2	53,20
/27/	6									I,584	53,2	
12	7	+	20	+	15	-	1	+	5	I,611	33,4	35,40
/28/30										I,6070	37,4	
13	28	-	6	-	5	+	3	+	5	I,538	49,1	48,35
/29/ 26										I,5412	47,6	
14	17	+	24	-	5	+	3	+	5	I,5765	26,3	27,40
/30/ 21										I,5729	28,5	
15	18	-	6	+	15	+	3	+	5	I,581	57,1	57,1
/31/ 25										I,5815	57,1	
16	29	+	24	+	15	+	3	+	5	I,6060	38,4	38,8
/32/ 23										I,6053	39,2	

Для обработки экспериментальных данных применялся также регрессионный анализ, т.к. полагаем, что  $y$  есть случайная величина с нормальным законом распределения.

Вычисляем дисперсию отдельных наблюдений /при числе наблюдений в каждом опыте  $n=2$ / согласно /4-II/, для чего согласно /4-I2/ определяем  $\bar{y}_{in}$ . Результаты расчетов сводим в табл. 4-9.

Таблица 4-9.

Результаты наблюдений		$\bar{y}_n$	$y_{in} - \bar{y}_n$	$(y_{in} - \bar{y}_n)^2$	$S_{00i}$	$\sum (y_{in} - \bar{y}_n)^2$	$\sum S_{00i}^2$
$y_{ni}$	$y_{n2}$						
50,5	46,2	48,35	2,15	4,623	9,246		
24,4	29,4	26,9	2,50	6,250	12,5		
54,5	54,5	54,5	0	0	0		
33,1	27,8	30,45	2,65	7,023	14,046		
51,6	51,61	51,6	0	0	0		
28,2	29,1	28,65	0,45	0,164	0,328		
57,1	53,2	55,15	1,95	3,803	7,606		
33,4	34,9	34,15	0,75	0,5625	1,125		
41,8	37,6	39,7	2,1	4,41	8,82		
28,2	32,6	30,4	2,2	4,84	9,68		
53,2	53,2	53,0	0	0	0		
33,4	37,4	35,4	2,0	4	8,0		
49,1	47,6	48,35	0,75	0,5625	1,125	37,608	75,216

Продолжение табл. 4-9.

14	26,3	28,5	27,4	1,1	1,21	2,42
5	57,1	57,1	57,1	0	0	0
6	38,4	39,2	38,8	0,4	0,16	0,32

Проверяем однородность дисперсий по критерию Кохрена:

$$G_{\text{расч.}} = \frac{14,046}{75,216} = 0,187 < G_{\text{табл.}} = 0,3218$$

При этом принято  $t = 2$ ,  $m = 16$

$G_{\text{расч.}} < G_{\text{табл.}}$ ,

следовательно, дисперсии однородны. Расчет дисперсии эксперимента /дисперсии воспроизводимости/ производим так же, как и ранее:

$$S^2(y) = \frac{2 \cdot 37,608}{16 / 2 - 1} = 4,701$$

Запишем уравнение регрессии для определения масличности семян рефрактометрическим методом:

$$y = v_0 + v_1 x_1 + v_2 x_2 + v_3 x_3 + v_4 x_4$$

Подсчитаем по /4-17/ коэффициенты и проверим их значимость:

$$v_0 = 41,25; v_1 = 9,73; v_2 = 3,58; v_3 = 1,39; v_4 = 0,03.$$

Считаем коэффициенты значимыми в случае, если значения их абсолютной величины, не превышают  $\Delta v_i = \pm 2S/v_i$ , которое вычисляем по /4-20/

$$S(v_i) = \frac{4,601}{16 \cdot 2} = 0,437$$

Коэффициенты  $v_0$ ,  $v_1$ ,  $v_2$ ,  $v_3$  значимы с вероятностью 95%.

Проверяем адекватность уравнения регрессии по критерию Фишера, для чего определяем дисперсию адекватности.

Уравнение регрессии имеет вид:

$$\hat{y} = 41,25 - 9,73x_1 + 3,58x_2 + 1,39x_3$$

Данные для расчета дисперсии адекватности сводим в табл. 4-10.

Таблица 4-10.

№ опыта	$\bar{y}_n$	$\hat{y}_n$	$\bar{y}_n - \hat{y}_n$	$(\bar{y}_n - \hat{y}_n)^2$
1	48,35	49,83	1,48	2,19
2	26,9	22,73	4,17	17,39
3	54,5	52,61	1,89	3,572
4	30,45	34,27	3,82	14,59
5	51,6	54,19	2,59	6,708
6	28,65	26,25	3,4	11,56
7	55,15	51,73	3,42	11,7
8	34,15	40,71	6,56	43,03
9	39,7	46,57	6,87	47,20
10	30,4	25,9	4,41	19,45
11	53,2	49,85	3,85	14,82
12	35,4	38,35	2,95	8,703
13	48,35	53,01	4,66	21,72
14	27,4	25,11	2,29	5,244
15	57,10	51,87	5,23	27,35
16	38,8	40,57	1,77	3,133

$$\sum 258,36$$

$$S_{ог}^2 = \frac{2 \cdot 258,36}{11} = \frac{516,72}{11} = 46,97$$

$$F_{расч} = \frac{46,97}{4,601} = \text{####} 10,2 > F_{табл} = 2,45$$

при  $f_1 = 11$ ,  $f_2 = 16$ .

Судя по критерию Фишера, уравнение регрессии неадекватно, поэтому следует предположить нелинейный характер функций отклика и продолжить исследования.

Статистический анализ результатов эксперимента показал, что, судя по величине коэффициентов регрессии, значительное влияние на исследуемый параметр должны оказывать влажность семян и количество растворителя. Однако, неадекватность полученного уравнения регрессии говорит о невозможности представления модели процесса измерен

полиномом первого порядка и о необходимости продолжения исследований с применением планирования эксперимента с целью получения нелинейной адекватной модели, наиболее точно описывающей процесс измерения.

#### 4.5. Экспериментальные исследования влияния отдельных факторов на результаты определения масличности семян.

В дополнение к выполненным в 1973 году экспериментальным исследованиям по разработке рефрактометрического метода определения масличности семян подсолнечника были проведены опыты на образцах урожая 1974 года. Целью этих опытов было уточнение влияния таких факторов, как влажность семян, продолжительность экстракции масла, количество используемого растворителя на расчетную величину масличности.

При экспериментах в качестве контрольного использован стандартный метод исчерпывающей экстракции в аппарате Сокслета.

Рефрактометрический метод определения масличности, описываемый в данном отчете, в основном, заключается в следующем.

20г семян измельчают на дезинтергаторе в течение 1 минуты без растворителя и еще 2 минуты - с растворителем. Полученную мезгу фильтруют на центрифуге и определяют показатель преломления полученной мисцеллы. Расчет масличности производится по формуле /4-4/ с учетом следующих величин:

- $M_c$  - величина навески семян в г;
- $n$  - показатель преломления мисцеллы ;
- $n_M$  - показатель преломления масла;
- $n_D$  - показатель преломления растворителя
- $V_D$  - объем растворителя в мл;
- $\rho$  - плотность масла .

В опытах по проверке влияния различных факторов на расчетную величину масличности принятые условия проведения анализов изменялись в зависимости от цели эксперимента.

Результаты проведенных экспериментов приведены ниже.

##### 4.5.1. Исследование влияния влажности семян на расчетную величину их масличности.

###### 1. Цель исследования.

Целью исследования являлось определение влияния влажности

семян подсолнечника на показатель преломления мисцеллы, полученной из этих семян и, следовательно, на расчетную величину их масличности.

## 2. Методика исследования.

Для проведения опытов использовались образцы семян с исходной влажностью 5-6%. Для получения низкой влажности образцы подсушивали в течение 10-30 минут при 130°C. При этом достигалась влажность от 4 до 1%. В двух образцах создавалась влажность до 22%.

Для достижения повышенной влажности семена увлажняли дистиллированной водой, количество которой определялось по расчету, исходя из начальной и заданной влажности. Увлажненные семена помещали в стеклянные банки с притертыми пробками и выдерживали в течение 6-7 дней, при периодическом перемешивании. После такой выдержки определяли влажность стандартным методом до получения не менее трех близких результатов. Определение масличности производилось по рекомендуемому методу.

## 3. Результаты исследования.

В табл. 4-II приводятся полученные методом экспресс-рефрактометрии результаты определения масличности  $M_I$  для образцов с различной влажностью и масличность  $M_{II}$ , полученная стандартным методом, а также величины их расхождения /ошибки/.

Таблица 4-II.

№ опы- тов	Номер образца	Влажность %	$M_I$ %	$M_{II}$ %	Абсолютная ошибка - %
1	2	3	4	5	6
1	8	0,83	46,66	46,34	+0,32
2	8	0,83	46,46	46,34	+0,12
3		0,83	46,56	46,34	+0,22
3	2	1,66	44,64	44,58	+0,06
4	2	1,66	44,69	44,58	+0,11
		1,66	44,67	44,58	+0,09
5	5	1,83	52,70	52,48	+0,22
6	5	1,83	52,52	52,48	+0,04
		1,83	52,61	52,48	+0,13

1	2	3	4	5	6
7	8	3,82	46,78	46,47	+0,31
8	8	3,82	46,78	46,47	+0,31
		3,82	46,78	46,47	+0,31
9	2	4,40	44,51	44,28	+0,23
10	2	4,40	44,51	44,28	+0,23
11	2	4,40	44,74	44,28	+0,46
		4,40	44,59	44,28	+0,31
12	5	4,44	52,64	52,38	+0,26
13	5	4,44	52,48	52,38	+0,10
		4,44	52,56	52,38	+0,18
14	8	5,38	46,46	46,28	+0,41
15	8	5,38	47,11	46,47	+0,64
16	8	5,38	46,30	46,47	-0,17
		5,38	46,62	46,41	+0,21
17	2	6,16	44,61	44,28	+0,33
18	2	6,16	44,33	44,28	+0,05
19	2	6,16	44,99	44,47	+0,52
		6,16	44,64	44,34	+0,30
20	5	6,64	52,77	52,27	+0,50
21	5	6,64	52,77	52,48	+0,29
22	5	6,64	52,72	52,48	+0,24
		6,64	52,75	52,41	+0,34
23	2	21,56	35,25	44,47	-9,22
24	2	21,56	19,43	44,47	-25,04
25	2	21,56	21,73	44,47	-22,74
26	2	21,56	19,12	44,58	-25,46
		21,56	23,88	44,50	-20,62
27	8	21,67	28,98	46,56	-17,58
28	8	21,67	28,79	46,42	-17,63
29	8	21,67	28,03	46,42	-18,39
		21,67	28,60	46,47	-17,87

Анализ данных, приведенных в табл. 4-II, показывает, что средняя величина абсолютной ошибки при определении масличности рефрактометрическим экспресс-методом по сравнению с полученной стандартным методом для образцов с влажностью 1-6% находится в пределах от 0,09 до 0,34%. При этом следует отметить, что с понижением влажности пробы уменьшается расхождение результатов определения масличности. Следовательно, определение масличности рефрактометрическим экспресс-методом следует вести в образцах семян после их подсушивания до влажности не выше 4%.

Результаты измерения масличности, полученные в образцах с высокой влажностью, весьма неоднородны и неудовлетворительны по точности.

Снижение расчетных величин масличности можно объяснить двумя причинами: во-первых, измельчение пробы и, следовательно, экстракция масла затруднены из-за эластичности влажных семян и во-вторых, полученная мисцелла является в этом случае трехкомпонентной системой /монобромнафталин-масло-вода/, что сказывается на величине показателя преломления мисцеллы и точности определения масличности.

4.5.2. Исследование влияния количества растворителя на расчетную величину масличности.

#### 1. Цель исследования.

Исследование влияния количества растворителя /монобромнафталина/ на показатель преломления мисцеллы и точность результатов расчета масличности производилось с целью определения минимального его количества, обеспечивающего полную экстракцию масла из навески 20г.

2. Методика исследования экстракции масла из семян 20г использовали 5, 10 и 15 мл монобромнафталина. Время экстракции для всех образцов составляло 2 минуты.

В табл. 4-I2 приведены результаты расчета масличности при использовании 5 мл растворителя -  $M_1$ , 10 мл -  $M_2$ , 15 мл -  $M_3$ , контрольные значения ее  $M_4$ , полученные стандартным методом и величина ошибки определения.

Таблица 4-12.

Но- мер об- раз- ца	M <sub>1</sub>	M <sub>2</sub>	M <sub>3</sub>	M	Абсолютная ошибка		
					M - M <sub>1</sub>	M - M <sub>2</sub>	M - M <sub>3</sub>
8	50,68	46,68	49,15	46,47	+4,21	+0,21	+2,68
8	51,69	46,46	49,56	46,47	+5,22	-0,01	+3,09
8	49,49	46,46	49,52	46,47	+3,0	-0,01	+3,05
	50,61	46,53	49,41	46,47	+4,14	+0,06	+2,94
3	44,71	50,24	56,10	49,86	-5,15	+0,38	+6,24
3	44,50	49,97	55,67	49,86	-5,36	+0,11	+5,70
3	44,50	49,97	55,67	49,86	-5,36	+0,11	+5,70
3	49,87	49,42	49,06	49,86	+0,01	-0,44	-0,80
3	49,52	49,77	49,06	49,86	-0,34	-0,09	-0,80
3	49,30	49,77	49,06	49,86	-0,56	-0,09	-0,80
	47,07	49,94	52,43	49,86	-2,79	+0,08	+2,57
5	49,47	52,70	54,14	52,48	-3,01	+0,22	+1,66
5	49,11	52,52	54,14	52,48	-3,37	+0,04	+1,66
5	49,01	52,52	54,46	52,48	-3,47	+0,04	+1,98
	49,20	52,58	54,25	52,48	-3,28	+0,10	+1,77

Полученные данные показывают, что количество применяемого растворителя имеет большое значение и должно быть таким, чтобы обеспечить полную экстракцию масла из определенной навески и максимальную точность определения масличности.

Для полной экстракции масла необходимо достаточное количество растворителя и с этой целью были использованы 15 мл. Однако, как показывают полученные данные при расчете масличности абсолютная ошибка достигает 2,94% по усредненным данным, а в отдельных опытах до 5 ÷ 6%.

Учитывая, что показатель преломления растворителя /монобром-нафталина/ равен 1,66 и значительно превосходит показатель преломления масла /1,476/, то повышенная концентрация его в мисцелле может явиться источником ошибок при определении показателя преломления мисцеллы.

Заниженные результаты, в основном, получены при применении 5 мл растворителя /максимальная величина ошибки - 5,36%/, что по-видимому является результатом неравномерной и неполной экстракции масла. Наиболее точные результаты получены при экстракции масла в

10 мл растворителя / максимальная величина абсолютной ошибки не превышает 0,44%. Очевидно, 10 мл растворителя вполне достаточно для подной экстракции масла из навески 20 г. При этом, как показали расчеты, количество масла и растворителя в мисцелле примерно равны /концентрация растворителя на 1 ÷ 3% выше концентрации масла/ что позволяет избежать ошибок при измерениях показателя преломления мисцеллы и получить результаты при расчете масличности, мало отличающиеся /в пределах допустимого/ от полученных стандартным методом.

4.5.3. Исследование влияния продолжительности экстракции на расчетную величину масличности.

#### 1. Цель исследования.

Определение продолжительности дезинтеграции семян с растворителем, обеспечивающей полную экстракцию масла из исследуемой навески и получение заданной точности результатов при расчете масличности.

#### 2. Методика исследования.

Определение масличности в образцах семян производилось по следующей схеме: пробы семян измельчали в течение 1 минуты без растворителя. После добавления 10 мл монобромнафталина дезинтеграция с одновременной экстракцией продолжалась в отдельных пробах в течение 1, 2 и 3 минут.

#### 3. Результаты исследования.

Расчетные величины масличности, полученные при продолжительности экстракции в течение 1, 2 и 3 минут и обозначенные соответственно  $M_1$ ,  $M_2$  и  $M_3$  приведены в табл. 4-13. В качестве контрольных показаны полученные по стандартному методу значение масличности  $M$  для тех же образцов.

Таблица 4-13.

№	Но- мер обра- зца.	M <sub>I</sub>	M <sub>2</sub>	M <sub>3</sub>	M	Абсолютная ошибка в %		
						M-M <sub>I</sub>	M-M <sub>2</sub>	M-M <sub>3</sub>
	8	47,13	47,03	46,12	46,47	+0,66	+0,56	-0,35
	8	47,43	46,77	46,12	46,47	+0,93	+0,30	-0,35
	8	47,43	46,37	46,77	46,47	+0,96	-0,10	+0,30
	8	46,67	46,49	46,40	46,47	+0,20	+0,02	-0,07
		47,17	46,67	46,35	46,47	+0,70	+0,20	-0,12
	6	53,33	52,54	52,52	52,15	+1,18	+0,39	+0,37
	6	53,18	52,49	52,47	52,15	+1,03	+0,24	+0,22
	6	53,18	52,29	52,47	52,07	+1,11	+0,21	+0,40
		53,23	52,44	52,49	52,12	+1,11	+0,32	+0,37
	5	51,16	52,39	52,39	52,48	-1,32	-0,09	-0,09
	5	50,81	52,54	53,05	52,48	-1,67	+0,06	+0,57
	5	50,91	52,54	52,69	52,27	-1,57	+0,21	+0,42
		50,96	52,49	52,71	52,41	-1,45	+0,08	+0,30

Из табл. 4-13 видно, что опыты с экстракцией в течение 1 минуты не дали положительных результатов /абсолютная ошибка достигает 1,67% масличности/. По-видимому, такое время экстракции не достаточно для обеспечения полной экстракции масла из исследуемой навески.

Значения масличности, полученные при проведении экстракции в течение 2-х и 3-х минут, почти не отличаются и дают отклонения по сравнению с полученными стандартным методом. В пределах от +0,37 до -0,12. Следовательно, время проведения экстракции в течение 2-х минут можно считать оптимальным.

#### 4.6. Техничко-экономические исследования.

4.6.1. Техничко-экономическая целесообразность <sup>создания</sup> устройства согласно выбранному направлению.

Для обеспечения возможности разработки АСЭАК СП, отвечающей своим функциональным требованиям, должна разрабатываться входящая

в нее функциональная подсистема в виде устройства для определения масличности семян пробы и передачи информации о ней на ВУ АСЭАК СП.

В соответствии с выбранным методом /рефрактометрическим/ и разработанной структурной схемой /смотри отчет КТИП за 1973г./ данное устройство должно обеспечивать выполнение следующих основных операций:

- 1/ измерение массы навески пробы;
- 2/ подсушивание навески
- 3/ измельчение пробы и обеспечение ее экстракции порцией растворителя;
- 4/ отделение мисцеллы;
- 5/ определение характерного параметра /показателя преломления мисцеллы/;
- 6/ определение масличности пробы семян.

К особенностям функционирования устройства следует отнести:

- 1/ Режим работы всех элементов устройства циклический со строгой последовательностью операций в одном цикле со сравнительно малой массой обрабатываемого материала;
- 2/ Управление всеми операциями начала и конца элементарных процессов, а также межоперационными транспортными операциями — автоматическое от специального блока управления /БУ/ по заранее заданной программе; /длительность командных сигналов в определенном диапазоне может изменяться/;
- 3/ Все рабочие поверхности узлов устройства должны достаточно надежно очищаться от прилипших остатков и следов предыдущей порции;
- 4/ С целью обеспечения достаточно жестких условий по времени цикла измерения элементарные процессные операции должны быть по возможности максимально интенсифицированы, а транспортные минимизированы в пространстве.

Перечисленные особенности применительно к данному устройству должны обеспечиваться предпочтительно по сравнению с общепринятыми требованиями к подобным разрабатываемым устройствам.

На основании сформулированных предпосылок приведем анализ и выбор конструктивных решений отдельных /основных/ процессных узлов устройства.

Узел подсушивания навески.

В процессе сушки семена подсолнечника должны освободиться от поверхностной и частично от сорбционной влаги.

Основными способами сушки являются:

1. путем непосредственного соприкосновения сушильного *агента* /нагретого воздуха, *топочных газов* / с высушиваемым материалом — конвективная сушка;
2. путем нагревания высушиваемого материала тем или иным теплоносителем *путем* через стенку, проводящую тепло — контактная сушка;
3. путем нагревания высушиваемых материалов токами высокой частоты — диэлектрическая сушка;
4. путем нагревания инфракрасными лучами — радиационная сушка.

К наиболее интенсивным способам относится сушка токами высокой частоты и радиационная сушка.

Сушка токами ВЧ дает значительную интенсификацию в определенных случаях. Ее сущность состоит в следующем. Подсушиваемые семена /диэлектрик/ помещаются между пластинами конденсатора. Под действием электрического поля возникает интенсивное колебание молекул семян, которые определенным образом располагаются в пространстве — происходит так называемая поляризация молекул. Поляризация сопровождается трением между молекулами, на что затрачивается часть электрической энергии поля, которая превращается в тепло. Вследствие выделения тепла материал /семена/ быстро нагревается. Интенсивность нагревания зависит от частоты электрического поля /длины волн/ и его мощности, а также от свойств материала, так как каждый материал наиболее быстро нагревается под действием волн определенной длины. Ускорение сушки происходит за счет термодиффузии и *электроосмоса* в поле ВЧ. Перемещение влаги из ядра семян к его поверхности происходит за счет термодиффузии в связи с тем, что температура на поверхности семени охлаждаемого окружающим воздухом ниже, чем внутри ядра.

Недостатками сушки *токами* ВЧ являются:

1. Сравнительно большой расход электроэнергии;
2. Сравнительная сложность высокочастотной установки.

В радиационной сушке при помощи инфракрасных лучей /длина волн 8-10 мк/ высушиваемому материалу /семенам/ может передаваться большое количество тепла, которое обеспечит также интенсивное испарение влаги.

В качестве источников инфракрасного излучения широко применяются электрические лампы с отражательными рефлекторами, направляющими лучи на поверхность материала, или специальные зеркальные лампы.

Достоинствами этих сушилок являются:

1. быстрое удаление влаги из тонкого слоя материала;
2. компактность сушильного устройства;
3. легкость регулирования температуры нагревания.

Недостатки этого способа сушки:

1. высокий расход энергии;
2. неравномерность нагрева высушиваемого материала, связанная с тем, что наряду с быстрым нагреванием поверхностного слоя, передача тепла во внутрь /за счет теплопроводности/ происходит значительно медленней.

На данном этапе исследований /эскизном проектировании макета/ нами принят метод сушки токами ВЧ, как таковой, который более полно удовлетворяет особенности функционирования узла подсушивания пробы.

Расход 2-3,5 квт.ч. на 1 кг испаренной влаги методом сушки токами ВЧ, по сравнению с 1,5-2,5 квт.ч. на 1 кг влаги методом радиационной сушки, не дает существенных преимуществ.

Что касается относительной сложности и надежности работы, то эти вопросы подлежат сравнительному выяснению на последующих стадиях разработки.

Узел измельчения.

Измельчение характеризуется степенью измельчения

$$i = \frac{d_n}{d_u}, \quad \begin{array}{l} d_n - \text{размер семени до измельчения,} \\ d_u - \text{размер после измельчения.} \end{array}$$

Степень измельчения предопределяет скорость и полноту процесса экстракции.

В зависимости от конечного размера условно различается измельчение тонкое /размол/ -  $d_u = 7,5 \cdot 10^{-2}$  и сверхтонкое -  $d_u = 7,5 \cdot 10^{-2} \div 1 \cdot 10^{-4}$ .

Полагаем, что для наших условий приемлемым является сверхтонкое измельчение /размол/.

Обычно, при измельчении материала комбинируются те или иные усилия механического воздействия рабочего элемента на материал, например, раздавливание и удар, истирание и удар и т.п.

Методы измельчения обычно выбираются в зависимости от *физико-механических свойств материала и степени измельчения*.

Для тонкого и сверхтонкого измельчения материалов вязких и средней твердости рекомендуется метод истирания или истирание с ударом.

Для сверхтонкого измельчения с учетом удовлетворения требования по интенсивности наиболее подходящей является вибрационная мельница. Путем вибрационного /высокочастотного/ воздействия на материал /зерна/ происходит усталостное разрушение. Вместе с тем, упругим деформациям и разрушению /или износу/ при измельчении подвергается не только измельчаемый материал, но и узел размельчителя, т.е. требования надежности в данном измельчителе предопределяются выбранным методом измельчения.

Кроме ухудшения показателей надежности измельчителя нам представляется чрезвычайно сложным конструктивное решение выгрузки измельченных семян и очистка рабочих поверхностей.

Имеющиеся современные конструкции виброизмельчителей лабораторного *типа* предназначены для работы с ручным управлением.

Технологическими исследованиями установлено, что весьма целесообразно измельчение проводить совместно с экстрагированием. В этой связи к конструкции измельчителя добавляются функции гомогенизатора.

С целью обеспечения особенностей устройства и дополнительных требований, а также использования имеющегося опыта измельчения семян в устройстве типа кофемолок на данном этапе исследования нами принят ножевой измельчитель в цилиндрическом стакане. Предусматривается, что привод для измельчителя и разделителя мисцеллы будет общим и высокоскоростным /до 6000 об/мин/.

По нашему мнению, такой вариант конструкции в дальнейшем не должен исключать *вибрационного* или *высокочастотного* измельчителя.

Узел отделения мисцеллы.

В соответствии с технологическим процессом в измельчителе на разделение будет поступать измельченная проба семян гомогенизированной с растворителем в виде мути или тонкой суспензии. Наиболее интенсивным и распространенным способом разделения суспензий является центрифугирование, что и применено на этапе эскизного проектирования лабораторного макета узла устройства.

Недостатком центрифугирования в нашем случае является цикличность работы и сравнительно большая боковая поверхность желоба центрифуги будет подвергаться смачиванию порцией мисцеллы. Учет и изучение действия сил адгезии мисцеллы на рабочих поверхностях центрифуги и других транспортных коммуникаций будет одним из серьезных вопросов при испытаниях макета.

Что касается выбора конструктивного решения центрифуги, то он предопределялся, в основном, соображениями обеспечения минимальных межоперационных транспортных перемещений обрабатываемой порции.

Простотой конструкции, а, следовательно, и более высокой надежностью работы для целей разделения привлекает внимание силовой пресс. Однако, в этом случае просматривается ряд сложных вопросов. А именно: очистка разделяющей поверхности, выбор материала разделяющей поверхности в смысле его прочности и др.

По нашему мнению заслуживает внимания вариант определения характерного параметра /показателя преломления мисцеллы/ без ее отделения от жмыха, что технически вполне реально осуществляется в узле рефрактометрических определений.

Расчленение всего устройства на функциональные узлы оправдано методикой их разработки и испытаний в виде отдельных макетов, а также в дальнейшем при эксплуатации в смысле ремонтоспособности, унификации с другими аналогичными узлами, функционирующими в других подсистемах АСЭАК СП.

4.6.2. Возможная стоимость разработки и предполагаемый экономический эффект от внедрения устройства.

В соответствии с отраслевым координационным планом работ по решению научно-технической проблемы "Разработать АСЭАК СП", составленного ведущей организацией - разработчиком АСЭАК СП, сметная стоимость разработки устройства для определения

м/а/с/л/ичности семян подсолнечника усовершенствованным методом экстракции /рефрактометрическим/ составляет 125,0 тыс.руб., в том числе капвложения 25,0 тыс.руб.

При распределении сметной стоимости по стадиям разработки следует исходить из того, что НИР могут составить до 50% стоимости всей разработки, что составляет около 62,0 тыс.руб.

В соответствии с долевым участием устройства /подсистемы АСЭАК СП/ в получении экономического эффекта разработки и внедрения АСЭАК СП, составляющим на одну систему 480,0 тыс.руб. в год, следует считать экономический эффект разработки и внедрения устройства определения масличности равным предположительно 48,0 тыс.руб. в год без учета возможности его автономного использования.

4.7. Обзор и анализ патентных материалов, выявленных в ходе разработки и не нашедших отражения в обосновании постановки НИР.

В ходе разработки устройства на данном этапе проводилось эскизное проектирование следующих элементов лабораторного макета устройства: узла подсушивания навески, узла измельчения пробы, узла дозирования растворителя, узла отделения мисцеллы и узла рефрактометрических определений.

В этой связи целью патентного поиска являлось выявление:

1. способов и устройств дискретного периодического измельчения веществ сравнительно малой порции, работающих в автоматическом управляемом режиме;
2. способов и устройств дискретного дозирования малых количеств жидкости с автоматическим управлением;
3. способов и устройств дискретного разделения малых количеств твердой и жидкой фракций веществ, работающих в автоматическом управляемом режиме;
4. устройств определения концентрации с малой рабочей камерой /рефракторов/, работающей в дискретном управляемом режиме.

Поиск по перечисленным направлениям проводился в объеме фондов патентной библиотеки г.Киева.

В результате поиска обнаружено сравнительно большое количество подходящих устройств для дискретного дозирования растворителя с автоматическим управлением. Описание и анализ выявлен-

ных патентов и авторских свидетельств содержатся в папке рабочих материалов и к данному отчету не прилагаются/.

Большое количество способов и конструкций дозирующих управляемых устройств содержится в 501 выпуске библиотеки по автоматике, авторов А.Л.Гуревича и М.В.Соколова "Импульсные системы автоматического дозирования агрессивных жидкостей", изд."Энергия" М.1973, с.112, библиогр.223 источника.

В качестве дозатора растворителя на стадии проектирования лабораторного макета нами выбран наиболее простой по конструкции *чересной* об'емный дозатор с пневматическим исполнительным устройством дозатора типа ДМП-3. По нашему мнению этот дозатор может быть приемлем на стадии исследований. Последующим стадиям разработки при необходимом повышении точности наиболее комплексно может удовлетворять управляемый мембранный дозатор жидкости, выполненный на основе авторского свидетельства №262408.

Эскизный проект этого дозатора нами переработан и прилагается к отчету.

Поиск способов и устройств дискретного измельчения и разделения фаз, работающих в автоматически управляемом режиме применительно для малых /лабораторных/ порций не выявил подходящих прототипов. В патентных материалах содержатся измельчители с ручной загрузкой и выгрузкой материала, т.е. измельчители типа лабораторных конструкций. Они не подходят для наших условий.

Что касается управляемых разделителей фаз, то имеются разделители типа центрифуг, работающих, как правило, с большой производительностью по продукту /одна загрузка десятки и более кг/.

В результате поиска подходящего прототипа разделителя нами не обнаружено.

Среди патентных материалов имеется несколько устройств самоочищающихся измерительных камер рефрактометра, работающих в проточном непрерывном режиме со сравнительно большими расходами. Нам представляется, что они не являются подходящими ввиду этого.

Таким образом, из обзора и анализа патентных материалов по указанным направлениям следует:

I. В качестве дозатора растворителя, работающего с автоматическим управлением от специального блока управления, может быть принята конструкция, выполняемая на основе авторских свидетельств СССР;

2. Конструкция блока подготовки пробы, включающая измельчитель, центрифугу с устройством автоматически управляемой загрузки и разгрузки, может представлять предмет изобретения;

3. Устройство камеры для дискретного рефрактометрического определения, состоящее из элементов подвода порции измеряемого вещества к призме рефрактометра и последующей очистки рабочих поверхностей, может также представлять предмет изобретения.

#### 4.8. Проектирование лабораторного макета устройства.

Для проектирования лабораторного макета устройства был принят один из вариантов функциональной схемы устройства для определения масличности в соответствии с техническими предложениями на НИР 326/71-3062ПТ, согласованными в 1974г. ВНИИЖ и ВПО "Пищепромавтоматика".

При разработке и проектировании макета устройства на стадии 3 НИР ставилась задача обеспечения требуемого диапазона измерений масличности и требуемой точности измерений при возможности автоматизации процесса измерения.

Прорабатывались большинство функциональных узлов устройства за исключением узла измерения массы пробы семян, блока управления узла /блока/ вычисления масличности по определяющему параметру. Проработка указанных узлов будет осуществлена в последующее время при завершении стадии 3 НИР по разработке устройства.

##### 4.8.1. Узел подсушивания навески семян подсолнечника.

Для обеспечения экспрессности определения масличности семян подсолнечника усовершенствованным методом экстракции необходимо иметь возможность их быстрого высушивания до влажности, при которой они хорошо измельчаются.

Различные тепловые методы мало эффективны для этой цели, так как высушивание происходит в течение длительного времени /до 60 минут/, поскольку испарение влаги быстро происходит только из поверхностных слоев и медленно из центра семян.

Для ускорения процесса был применен метод высокочастотной сушки. Этот метод высушивания основан на том, что любой диэлектрический материал, будучи помещенным в высокочастотное электрическое поле поглощает электромагнитную энергию поля.

Под влиянием электрического поля имеющиеся в материале заряд

связанные межмолекулярными силами, ориентируются или смещаются в направлении поля. Эти заряды называются связанными в отличие от свободных зарядов, которые создают ток проводимости. Под действием переменного электрического поля происходит непрерывное перемещение зарядов, а, следовательно, и связанных с ними межмолекулярными силами молекул, вслед за изменением направления электрического поля.

Это перемещение молекул происходит с некоторым "трением", что и вызывает нагрев материала.

Таким образом, энергия, затраченная на поляризацию молекул, выделяется в виде тепла.

Свойство непроводниковых материалов нагреваться в переменном электрическом поле характеризуется величиной потерь энергии в нем

$$W = \omega c \operatorname{tg} \delta U^2 \tau, \quad /4-25/$$

где  $\omega$  - угловая частота, 1/сек;  
 $c$  - емкость конденсатора,  
 $\operatorname{tg} \delta$  - тангенс угла поглощения;  
 $U$  - напряжение между электродами, В;  
 $\tau$  - время,

Для плоского конденсатора

$$c = \epsilon_0 \epsilon \frac{S}{d}, \quad /4-26/$$

где  $\epsilon$  - относительная диэлектрическая проницаемость материала;  
 $\epsilon_0$  - электрическая постоянная воздуха, Ф/м;  
 $S$  - площадь электрода, м<sup>2</sup>;  
 $d$  - расстояние между пластинами, м;

Мощность, выделяемая в единице объема диэлектрика, определяется выражением

$$P = \frac{W}{V} = 5,56 \cdot 10^{-11} f E^2 \epsilon \operatorname{tg} \delta \frac{Vm}{m^3} \quad /4-27/$$

где  $E$  - напряженность электрического поля  
 $V$  - объем диэлектрика.

По экономическим и техническим соображениям нецелесообразно использовать частоты выше 100 мГц.

Поскольку диэлектрическая постоянная воды на этой частоте имеет значение около 80, а диэлектрическая постоянная материала не более 2-4, то, следовательно, наличие влаги, в основном, и определяет время, необходимое для полного высушивания при постоянных параметрах высокочастотной установки / мощность, частота, напряжение.

На рисунке 4-4 представлена принципиальная схема высокочастотной установки, на которой производилось исследование возможности подсушивания семян подсолнечника в высокочастотном поле.

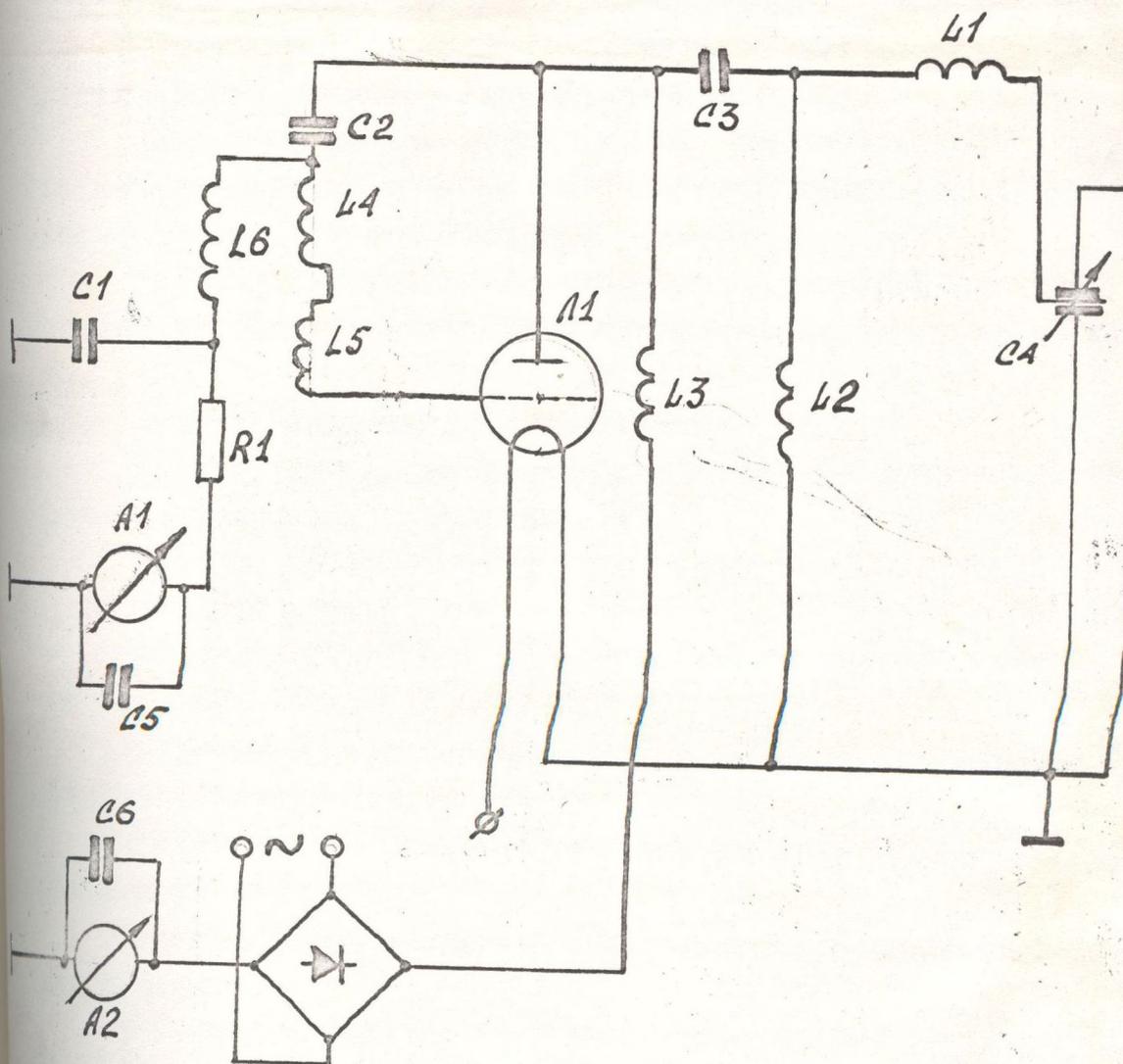


Рис. 4-4. Принципиальная схема высокочастотной сушки.

Режим работы генератора контролируется по показаниям анодного и сеточного амперметров /  $I_c, I_a$  / размещенных на передней панели.

Автогенератор собран по двухконтурной схеме с общим анодом, элементом связи между которыми служат межэлектродная емкость между сеткой и катодом лампы.

Колебательный контур между анодом и катодом лампы образован емкостью рабочего конденсатора СЗ /в котором помещаются семена для высушивания/, межэлектродной емкостью лампы Сак, индуктивностями  $L_1$  и  $L_2$ .

Колебательный контур между анодом и сеткой лампы образован индуктивностями  $L_4, L_5$  и межэлектродной емкостью лампы Сас.

В цепи сетки в качестве элементов автоматического смещения используются резистор  $R_1$  и конденсатор С6.

Прходные конденсаторы С4, С5, С9 предотвращают попадание на низкочастотные цепи высокочастотных колебаний из генераторного отсека, а также излучение радиопомех.

Генератор питается от анодного трансформатора ТрА через полупроводниковый мостовой выпрямитель, выполненный на диодах Д1 Ю.

Анодное напряжение равно 2кВ.

Для питания цепей накала лампы служит трансформатор ТрН, имеющий вторичное напряжение 10В.

Рабочая частота генератора около 40 МГц.

Рабочий конденсатор выполнен в виде кюветы, в которую помещаются семена. Основание кюветы является нижней пластиной конденсатора.

Размеры пластины имеют площадь  $225 \text{ см}^2$ . Расстояние между пластинами конденсатора 20мм.

Исследованиям подвергались семена подсолнечника различной влажности.

Перед началом исследований, установка прогревалась в течение 10 минут.

В кювету помещалась навеска семян 6г, которая устанавливалась в рабочий конденсатор, после чего подавалось высокое напряжение и фиксировалось время начала высушивания. Через каждые 5 минут производилось взвешивание навески семян подсолнечника на лабораторных весах.

При этом взвешивание производилось так, чтобы весы были уравновешены. Таким образом, величина груза, необходимого для уравновешивания весов, соответствовала величине влаги, испарившейся за данный отрезок времени.

Семена выдерживались в рабочем конденсаторе с периодическим взвешиванием до тех пор, пока результаты трех замеров подряд мало отличались по своей величине, т.е. производилось высушивание до постоянного веса.

Результаты замеров сведены в табл. 4-14.

Таблица 4-14.

Время суш- ки/мин/	5	10	15	20	25	30	35	40
	Соде- ржание влаги %	Испаренная вода. [2]						
6	0,7	0,9	0,9	0,9				
10	1,4	1,6	1,8	1,8	1,8			
15	1,6	2,2	2,4	2,7	2,8	2,8	2,8	
20	2,4	2,7	2,9	3,1	3,4	3,65	3,7	3,7

По данным табл. 4-14 построен график /рис. 4-5/.

Поскольку в процессе исследований мощность ВЧ генератора была только около 250 вт и с доведением ее до расчетной составит 600 вт, то время высушивания до постоянного веса существенно уменьшится, не должно противоречить принципу экспрессности всего устройства.

Общий вид макетной установки со снятой передней крышкой изображен на рис. 4-6.

#### 4.8.2. Узел измельчения пробы.

Измельчение подсушенной навески семян подсолнечника предусматривается специальными вращающимися ножами в цилиндрическом стакане измельчителя.

Процесс измельчения осуществляется в указанном стакане до требуемой степени измельчения навески. Таким образом, процесс

Рис. 4-5

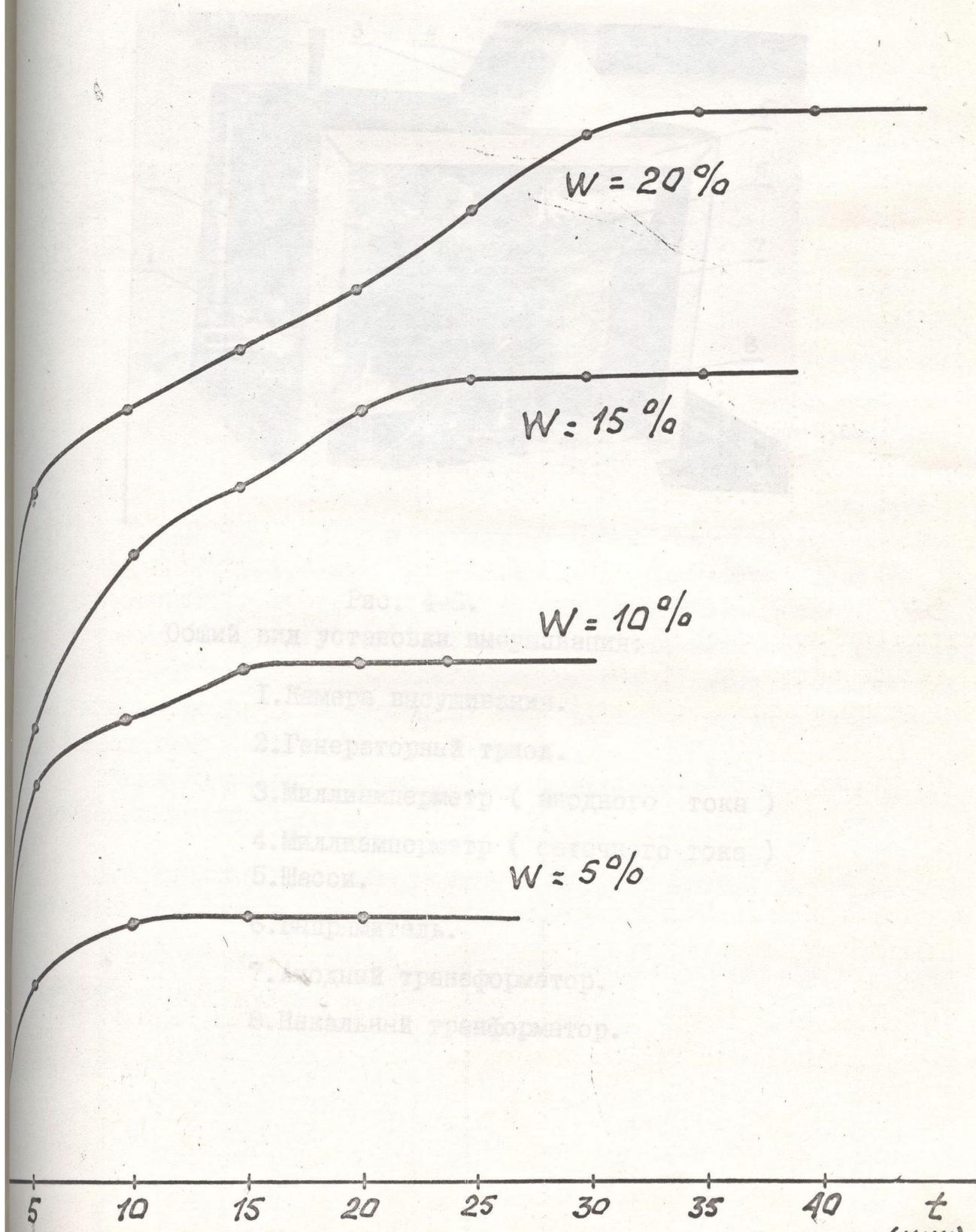


Рис. 4-5.  
Общий вид установки в момент пуска.

1. Камера вакуумная.
2. Генераторный тандем.
3. Миллиамперметр (второго тока)
4. Миллиамперметр (первого тока)
5. Часы.
6. Термометр.
7. Лодный трансформатор.
8. Нихальный трансформатор.

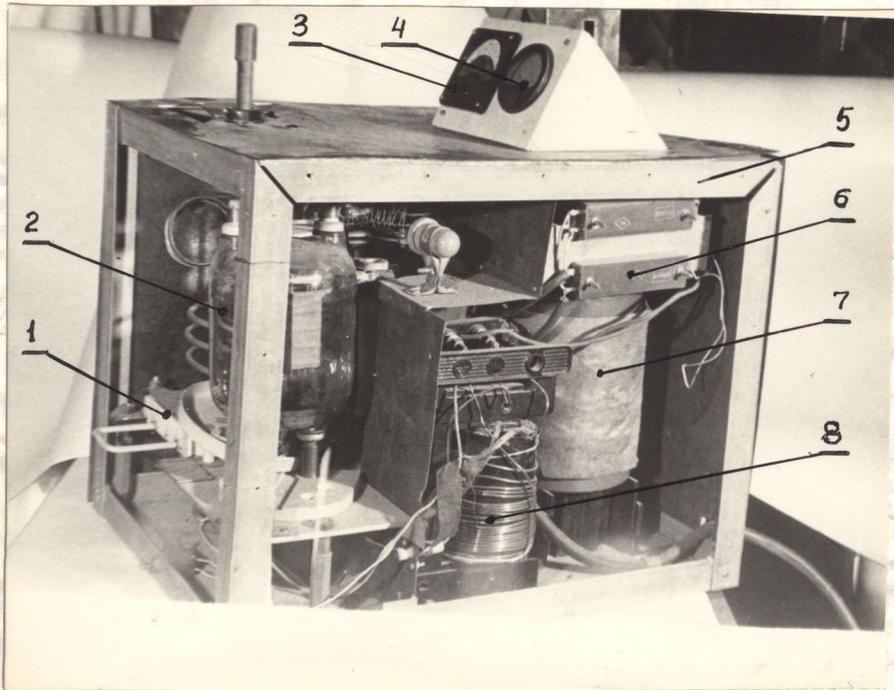


Рис. 4-6.

Общий вид установки высушивания:

- 1. Камера высушивания.
- 2. Генераторный триод.
- 3. Миллиамперметр ( анодного тока )
- 4. Миллиамперметр ( сеточного тока )
- 5. Шасси.
- 6. Выпрямитель.
- 7. Анодный трансформатор.
- 8. Накальный трансформатор.

измельчения проводится в емкости с идеальным перемешиванием по замкнутому циклу и степень измельчения является функцией активного времени процесса.

В стакан измельчителя также предусматривается ввод растворителя. После ввода растворителя одновременно с процессом измельчения осуществляется смешение измельченных семян с растворителем.

#### 4.8.2.1. Устройство и принцип работы.

Узел измельчителя проб/ состоит из /рис. 4-7/ цилиндрического стакана I, в котором с одной стороны, кроме неподвижного доньшка 2 размещено подвижное доньшко 3 с патрубком 4 для ввода навески семян и дозы растворителя и с трубкой-направляющей 5 для тяги 6. Второй торцевой стороной стакан под действием тяги 7 упирается в нижнее доньшко 8, в котором размещены опоры валиков ножей 9. К нижней части доньшка 8 неподвижно прикреплен выгружающий диск жмыха 10 из барабана центрифуги. Ножи измельчителя 8 9 могут получать вращательное движение от электродвигателя через вал со шлицевым хвостовиком II.

С целью полной выгрузки измельченной смеси с растворителем из стакана и полной очистки внутренних стенок стакана от прилипших к нему частичек стакан под действием управляемого исполнительного механизма при вращающихся ножах отделяется от нижнего доньшка и затем при дальнейшем перемещении вверх по направляющим 12 внутри стакана подвижное верхнее доньшко 3 под действием исполнительного механизма перемещается вниз. Взаимное перемещение стакана и верхнего подвижного доньшка продолжается до положения, когда совместится край верхнего доньшка с низом цилиндрической части стакана.

Таким образом, стакан и его доньшко могут находиться в следующих положениях /рис. 4-8/:

I положение - стакан прижат к нижнему доньшку, а верхнее находится в верхнем крайнем положении;

II положение - стакан в верхнем крайнем положении, а верхнее доньшко - в нижнем крайнем положении;

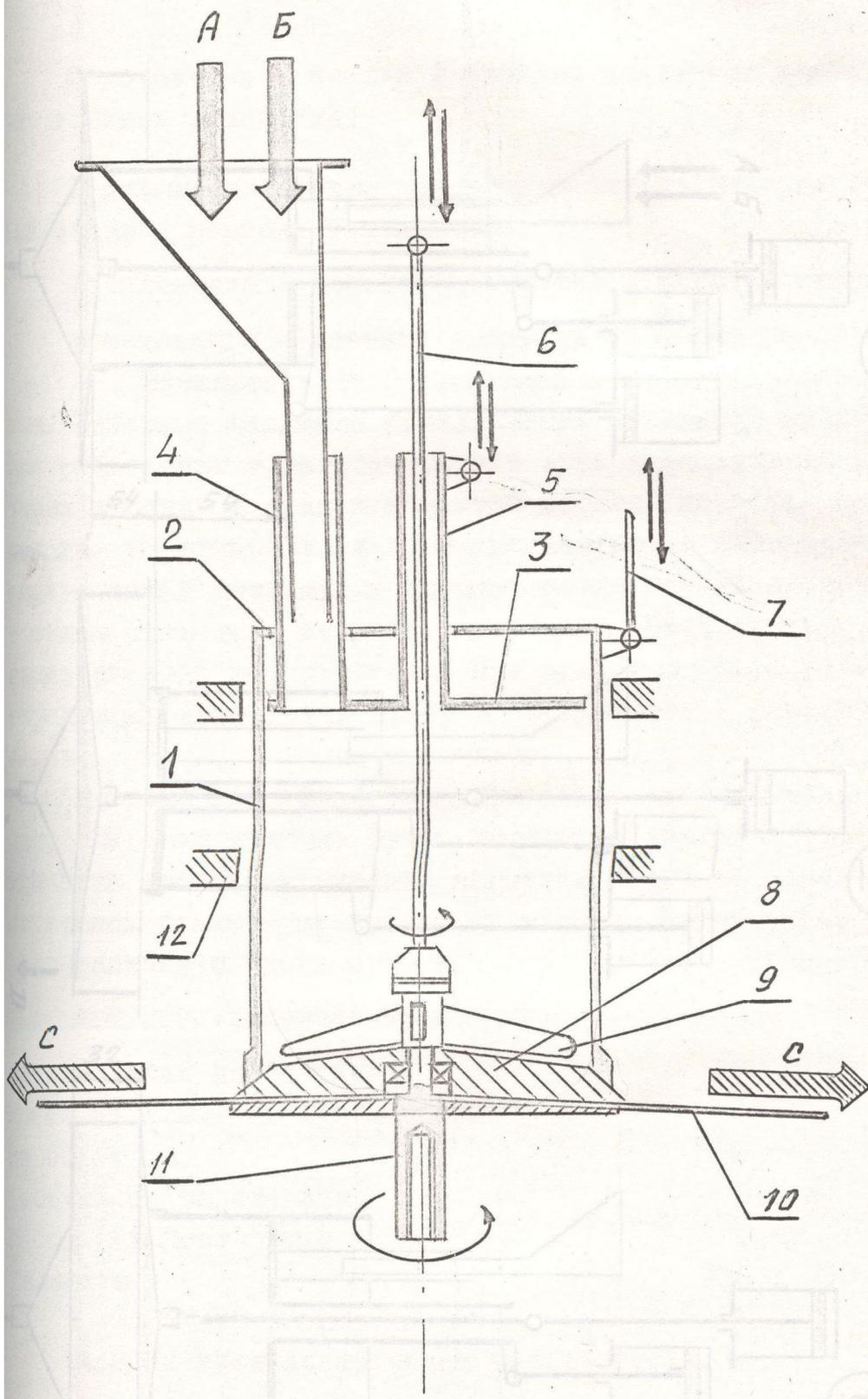
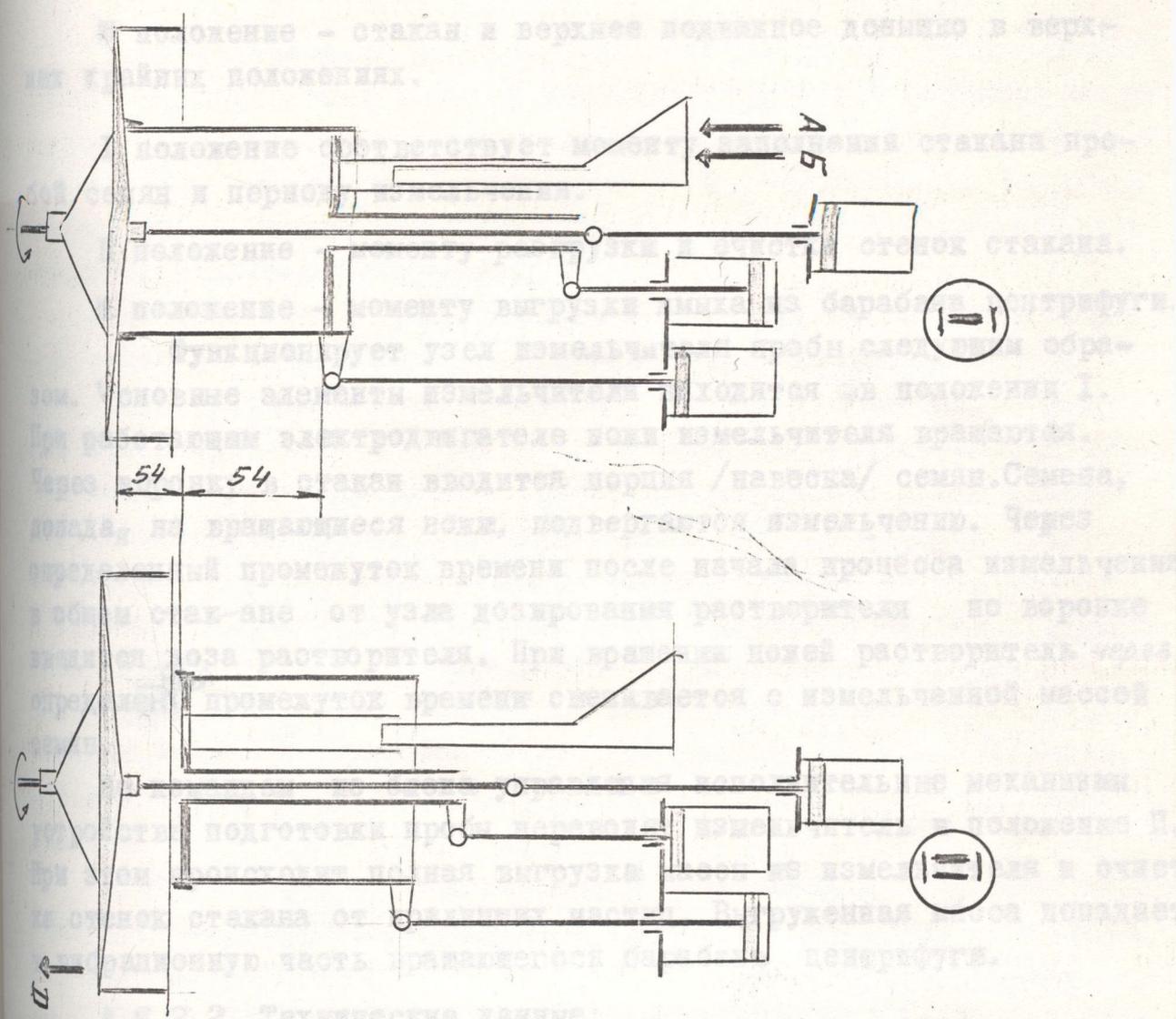


Рис. 4-7



4.8.2.2. Технические данные:

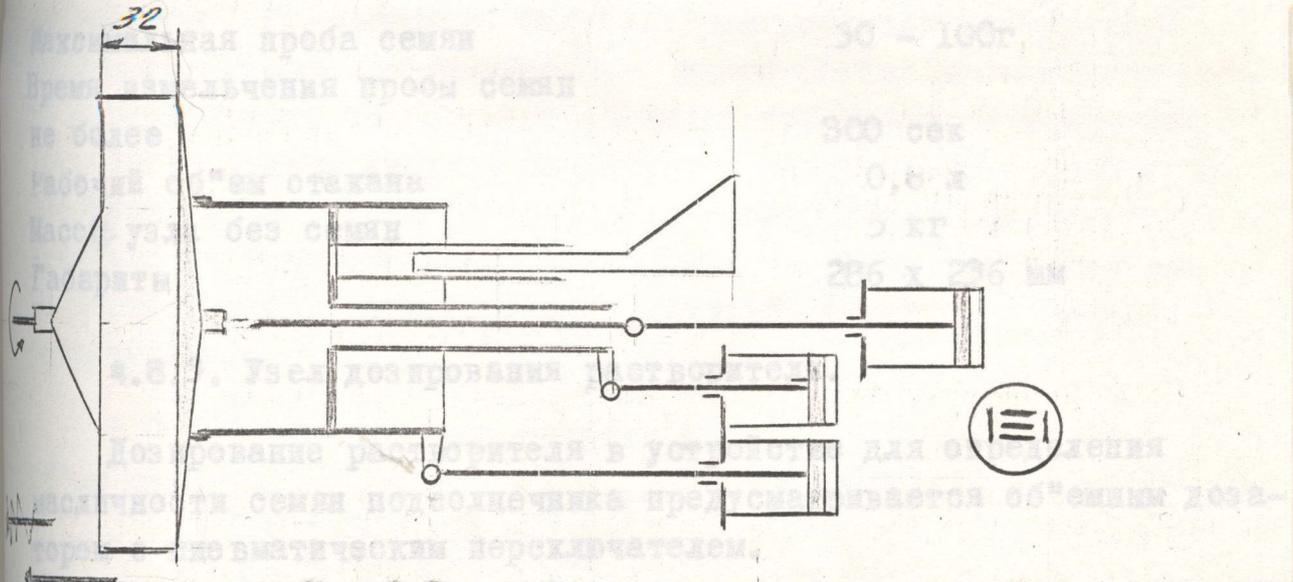


Рис.4-8

Заполнение об'ёма дозатора растворителем происходит под действием напора растворителя в сборнике, обеспечиваемого насосом.

III положение - стакан и верхнее подвижное доньшко в верхних крайних положениях.

I положение соответствует моменту заполнения стакана пробой семян и периоду измельчения.

II положение - моменту разгрузки и очистки стенок стакана.

III положение - моменту выгрузки жмыха из барабана центрифуги

Функционирует узел измельчителя пробы следующим образом. Основные элементы измельчителя находятся в положении I. При работающем электродвигателе ножи измельчителя вращаются. Через воронку в стакан вводится порция /навеска/ семян. Семена, попадая на вращающиеся ножи, подвергаются измельчению. Через определенный промежуток времени после начала процесса измельчения в общем стакане от узла дозирования растворителя по воронке вводится доза растворителя. При вращении ножей растворитель через определенный <sup>период</sup> промежуток времени смешивается с измельченной массой семян.

По командам из блока управления исполнительные механизмы устройства подготовки пробы переводят измельчитель в положение I. При этом происходит полная выгрузка массы из измельчителя и очистка стенок стакана от прилипших частиц. Выгруженная масса попадает в вибрационную часть вращающегося барабана центрифуги.

#### 4.8.2.2. Технические данные:

Максимальная проба семян	30 - 100г
Время измельчения пробы семян не более	300 сек
Рабочий об"ем стакана	0,8 л
Масса узла без семян	5 кг
Габариты	286 x 236 мм

#### 4.8.3. Узел дозирования растворителя.

Дозирование растворителя в устройстве для определения масличности семян подсолнечника предусматривается об"емным дозатором с пневматическим переключателем.

Заполнение рабочего об"ема дозатора растворителем происходит под действием напора растворителя в сборнике, опорожнение - самостоком.

#### 4.8.3.1. Устройство и принцип работы /рис.4-9/.

Узел дозирования растворителя состоит из стеклянной мерной трубки 1, один конец которой резиновой трубкой 2 соединен со штуцером пневматического переключателя 3. Второй конец мерной трубки соединен с *чересной* воронкой 4. В *чересной* воронке на выходе из мерной трубки установлен электрод 5 кондуктометрического сигнализатора уровня.

Пневматический переключатель 6 содержит три штуцера: один - для подсоединения к напорному сборнику растворителя, второй - для подсоединения к мерной трубке и третий - к сливной трубке. Все три штуцера внутри корпуса соединены клапанами, обеспечивающими наполнение мерной трубки растворителем и его полный слив в сливную трубку. Причем, канал между наполняющим штуцером и штуцером мерной трубки и канал между штуцером мерной трубки и штуцером сливной могут перекрываться мембранными клапанами 7. Мембранные клапаны сочетают в себе функции пневмопривода и запирающего элемента. Мембранные запирающие элементы 8, обеспечивая полную герметичность рабочей полости от внешней среды, надежно перекрывают каналы, полностью исключая протечки через клапаны.

Функционирует узел дозирования растворителя следующим образом. От блока управления подаются командные импульсы на клапан переключателя. Причем, вначале на клапан на наборном канале на открытие запирающего элемента, а на клапан на сливном канале - на закрытие. Из напорного сборника растворитель поступает в мерную трубку. При *чересовании* растворителя из верхнего конца мерной трубки срабатывает сигнализатор уровня и командное устройство выдает импульс на закрытие запирающего элемента на наборном канале. Доза растворителя готова. После командного импульса на запирающий клапан на сливном канале растворитель из мерной трубки направляется к сливному штуцеру до полного опорожнения.

#### 4.8.3.2. Технические данные:

Объем дозы

10 ± 20 мл;



Управляющее воздействие на мембранные клапаны  
в виде давления сжатого воздуха

$$P = 1,1 \text{ кг /см}^2$$

Время наполнения /определяется экспериментально/	сек
Время <del>оп</del> / опорожнения /то же/	сек
Погрешность дозы/ не более	$\pm 0,5 \%$
Масса узла без растворителя	2,8 кг
Габариты	102x100x445 мм

#### 4.8.4. Узел отделения мисцеллы.

Разделение мисцеллы и жмыха предусматривается способом центрифугирования. В качестве разделяющей центрифуги принят вид вертикальной с подпертым валом. Барабан центрифуги дырчатый. Внутренняя поверхность барабана покрыта фильтровальной тканью /сеткой/. Суспензия центробежной силой отбрасывается к стенкам барабана, при этом жмых остается на поверхности ткани, а мисцелла под действием центробежной силы сквозь слой осадка и ткань /сетку/ и удаляется наружу через отверстия в барабане. Загрузка суспензии и выгрузка из барабана жмыха управляемые автоматически.

##### 4.8.4.1. Устройство и принцип действия /рис.4-10/.

Барабан I центрифуги соединен с вертикальным валом 2, установленным в двух подшипниках 3. Хвостовик вала через кулачковую муфту соединяется с валом электродвигателя. Вокруг дырчатой поверхности барабана расположен сборник фильтрата 4 с отводным патрубком 5. Сборник фильтрата неподвижно /пайкой/ соединен с кожухом 6 для удаления жмыха. Сборник фильтрата с кожухом и подшипники вала закреплены на общей станине центрифуги. Вал центрифуги оканчивается шлицевым хвостовиком, которым он соединяется с хвостовиком вала размельчителя семян. Такая конструкция позволяет использовать электродвигатель и возможность использования нижнего доньшка размельчителя в качестве выгрузителя жмыха из барабана.

Функционирует узел отделения мисцеллы следующим образом. Барабан центрифуги вращается от электродвигателя при работе узла измельчения пробы. При перемещении стакана измельчителя

верх масса из последнего под действием ножей переходит во внутреннюю часть вращающегося барабана центрифуги, где под действием центробежной силы происходит процесс разделения - мисцелла под действием центробежной силы проходит сквозь слой осадка и ткань и затем через отверстия в барабанах переходит в сборник

фильтрата, откуда через патрубок поступает в узел рефрактометра

для определения.

вращающегося барабана центрифуги, где под действием центробежной силы происходит процесс разделения - мисцелла под действием центробежной силы проходит сквозь слой осадка и ткань и затем через отверстия в барабанах переходит в сборник

фильтрата, откуда через патрубок поступает в узел рефрактометра для определения.

вращающегося барабана центрифуги, где под действием центробежной силы происходит процесс разделения - мисцелла под действием центробежной силы проходит сквозь слой осадка и ткань и затем через отверстия в барабанах переходит в сборник

фильтрата, откуда через патрубок поступает в узел рефрактометра для определения.

вращающегося барабана центрифуги, где под действием центробежной силы происходит процесс разделения - мисцелла под действием центробежной силы проходит сквозь слой осадка и ткань и затем через отверстия в барабанах переходит в сборник

фильтрата, откуда через патрубок поступает в узел рефрактометра для определения.

вращающегося барабана центрифуги, где под действием центробежной силы происходит процесс разделения - мисцелла под действием центробежной силы проходит сквозь слой осадка и ткань и затем через отверстия в барабанах переходит в сборник

фильтрата, откуда через патрубок поступает в узел рефрактометра для определения.

вращающегося барабана центрифуги, где под действием центробежной силы происходит процесс разделения - мисцелла под действием центробежной силы проходит сквозь слой осадка и ткань и затем через отверстия в барабанах переходит в сборник

фильтрата, откуда через патрубок поступает в узел рефрактометра для определения.

вращающегося барабана центрифуги, где под действием центробежной силы происходит процесс разделения - мисцелла под действием центробежной силы проходит сквозь слой осадка и ткань и затем через отверстия в барабанах переходит в сборник

фильтрата, откуда через патрубок поступает в узел рефрактометра для определения.

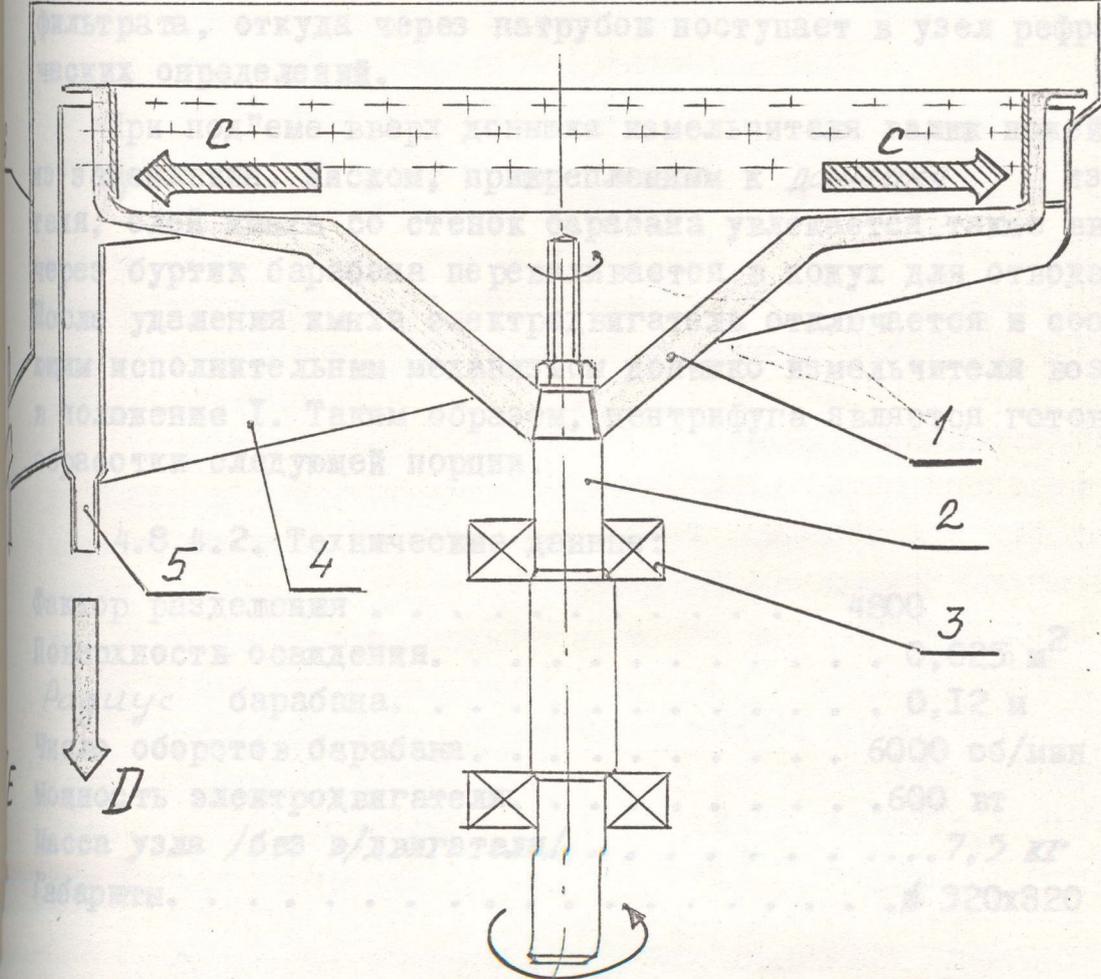
вращающегося барабана центрифуги, где под действием центробежной силы происходит процесс разделения - мисцелла под действием центробежной силы проходит сквозь слой осадка и ткань и затем через отверстия в барабанах переходит в сборник

фильтрата, откуда через патрубок поступает в узел рефрактометра для определения.

вращающегося барабана центрифуги, где под действием центробежной силы происходит процесс разделения - мисцелла под действием центробежной силы проходит сквозь слой осадка и ткань и затем через отверстия в барабанах переходит в сборник

фильтрата, откуда через патрубок поступает в узел рефрактометра для определения.

вращающегося барабана центрифуги, где под действием центробежной силы происходит процесс разделения - мисцелла под действием центробежной силы проходит сквозь слой осадка и ткань и затем через отверстия в барабанах переходит в сборник



4.8.5. Узел рефрактометрических определений.

Рассматриваемый узел является частью лабораторного макета прибора для определения влажности осеки подсолнечника по показателю преломления мисцеллы.

Определение показателя преломления мисцеллы производится с помощью макета автоматического рефрактометра полного внутреннего отражения АР И ОУ, разработанного в ИТИИ. Автоматические рефрактометры подобного типа находят применение для анализа непрозрачных растворов.

Рис.4-10

Выпускаемый в настоящее время автоматический рефрактометр АР имеет низкую точность вследствие недостаточной детализации и изменения интенсивности световых потоков цветной или темной

вверх масса из последнего под действием ножей переходит во внутреннюю часть вращающегося барабана центрифуги, где под действием центробежной силы происходит процесс разделения — мисцелла под действием центробежной силы проходит сквозь слой осадка и ткань и затем через отверстия в барабане переходит в сборник фильтрата, откуда через патрубок поступает в узел рефрактометрических определений.

При подеме вверх доньшка измельчителя валик ножей выходит из зацепления. Диском, прикрепленным к *доньшку* измельчителя, слой жмыха со стенок барабана увлекается также вверх и через буртик барабана переваливается в кожух для отвода жмыха. После удаления жмыха электродвигатель отключается и соответствующим исполнительным механизмом доньшко измельчителя возвращается в положение I. Таким образом, центрифуга является готовой для обработки следующей порции.

#### 4.8.4.2. Технические данные:

Фактор разделения . . . . .	4800
Поверхность осаждения . . . . .	0,025 м <sup>2</sup>
<i>Радиус</i> барабана . . . . .	0,12 м
Число оборотов барабана . . . . .	6000 об/мин
Мощность электродвигателя . . . . .	600 вт
Масса узла /без э/двигателя/ . . . . .	7,5 кг
Габариты . . . . .	320x320 мм

#### 4.8.5. Узел рефрактометрических определений.

Рассматриваемый узел является частью лабораторного макета устройства для определения масличности семян подсолнечника по показателю преломления мисцеллы.

Определение показателя преломления мисцеллы производится с помощью макета автоматического рефрактометра полного внутреннего отражения ~~ДРЖ ОГ, разработанного в КТИИП. Автоматические рефрактометры~~ подобного типа находят применение для анализа малопрозрачных растворов.

Выпускаемый в настоящее время автоматический рефрактометр ЕДР имеет низкую точность вследствие недостаточной устойчивости к изменению интенсивности световых потоков цветной или темной

зоны на выходе из призмы и малой длины оптического плеча.

Изменение интенсивности световых потоков светлой или темной зоны происходит в случае загрязнения призмы или отражение света частицами, содержащимися в анализируемой смеси.

Автоматический рефрактометр АРЖ ОI содержит фотопреобразовательное устройство для сравнения в равном соотношении световых потоков светлой и темной зон, расположенных в зоне границы светотени, со световыми потоками этих же зон вблизи крайних положений рычага, на котором установлены подвижные фотоэлементы.

Измерение показателя преломления мисцеллы производится в момент совмещения границы светотени с фотослоем подвижных фотоэлементов и уравнивания, фототоков подвижных и неподвижных фотоэлементов с помощью шлицевой следящей системы рефрактометра.

В рефрактометре АРЖ ОI длина оптического плеча увеличена до 300мм и предусмотрена дистанционная коррекция показаний по показателю преломления образцового раствора, что должно по сравнению с существующими конструкциями увеличить точность измерения показателя преломления мисцеллы и, следовательно, масляности семян подсолнечника.

Автоматический рефрактометр АРЖ ОI разработан в Киевском технологическом институте пищевой промышленности с использованием закрытых авторских свидетельств № 397067 и № 405443, выданных на имя института.

#### 4.8.5.1. Назначение и область применения рефрактометра АРЖ ОI.

Автоматический рефрактометр АРЖ ОI предназначен для определения показателя ~~для определения показателя~~ преломления смеси из измельченных семян подсолнечника и бромнафталина при использовании его в АСЭАК СП.

Прибор может использоваться в лабораторных или производственных условиях. Возможно использование прибора для измерения и регулирования содержания сухих веществ в полупродуктах спиртового и сахарного производства.

#### 4.8.5.2. Техническая характеристика.

Пределы измерения в единицах показателя преломления при

температуре  $20^{\circ}\text{C}$  от I,5350 до I,6000.

Шкала прибора равномерная с ценой деления 0,001. Диаметр шкалы 300 мм.

Время прохождения стрелкой всей шкалы не превышает 15 сек. Питание прибора осуществляется от сети переменного тока напряжением 127 или 220 ВОЛЬТ С ЧАСТОТОЙ 50 гц.

Источником света является автомобильная лампа с напряжением питания 6 вольт, установленная внутри прибора. Лампа охлаждается потоком воздуха от специального вентилятора.

Объем измерительной камеры не превышает  $4,5 \text{ см}^3$  без учета объема трубопроводов.

Подсоединительные трубопроводы установлены непосредственно на съемной крышке камеры и имеют внутренний диаметр 6-8 мм. Мощность, потребляемая от сети прибором не превышает 70 ватт. Вес прибора не превышает 35 кг.

Габаритные размеры:

Ширина	- 420 мм
Высота	- 506 мм
Глубина	- 295 мм

Фотопреобразовательное устройство рефрактометра обеспечивает фотометрирование световых потоков в зоне границы светотени и по краям диапазона изменится положение границы светотени. Изменение интенсивности световых потоков светлой или темной зоны вследствие содержания в смеси муки и лузги подсолнечника или оседания их на поверхности призмы воздействует на рабочую и компенсационную фотопреобразовательного устройства в любой из точек диапазона измерений. Таким образом, достигается более высокая точность измерений по сравнению с известными отечественными и зарубежными рефрактометрами додобного типа. Увеличение точности и стабильности показаний достигается также за счет увеличения оптического плеча до 300 мм.

Измерительный механизм опытного образца рефрактометра расположен на откидном кронштейне прибора, что создает значительные удобства для обслуживающего персонала и не вызывает поломки прибора при откидывании кронштейна.

В автоматическом рефрактометре имеется устройство коррекции показаний по показателю преломления образцового раствора, обеспечивающее настройку прибора без непосредственного доступа к

измерительному механизму или изменения параметров настройки фотопреобразовательного устройства.

#### 4.8.5.3. Описание и обоснование выбранной конструкции.

Измерительная система автоматического рефрактометра АРЖ ОI может быть собрана в корпусе прибора типа 6 ЭПИД, ЭМД или ЭПД.

Осветитель и конденсатор установлены на нижней стенке корпуса совместно с вентилятором. Призма рефрактометра и измерительная камера закреплены на боковой стенке корпуса прибора. Оптическая система закрыта съемным световым экраном с отверстиями для прохождения световых потоков и вентиляции. Усилитель находится на задней стенке в верхней ее части.

На откидном кронштейне находятся дисковая диаграмма с указывающей стрелкой и кинематические элементы, при помощи которых осуществляется передача движения от реверсивного двигателя к рычагу с подвижными фотоэлементами, указывающей стрелке и реохорду, а также вносится рассогласование между рычагом с фотоэлементами и рычагом кулачкового механизма в процессе коррекции показаний.

В автоматическом рефрактометре установлена стеклянная призма с двумя отражающими зеркальными поверхностями и двухлинзовый конденсатор.

По своим конструктивным показателям призма с двумя зеркальными поверхностями сложнее в изготовлении по сравнению с призмами рефрактометров РАС и ЕДР. Ее достоинство заключается в том, что точку вывода лучей из призмы можно расположить на значительном удалении от рабочей грани призмы. Благодаря этому удалось измерительный механизм прибора расположить на откидном кронштейне. С этой целью фланец с призмой установлен с внутренней стороны корпуса рефрактометра.

Использование в оптической системе двухлинзового конденсатора позволяет повысить интенсивность и уменьшить неравномерность светового потока на выходе из призмы.

Автоматический рефрактометр АРЖ ОI имеет реохорд для преобразования показаний прибора в напряжение, пропорциональное процентному содержанию масла в мисцелле.

Использование автоматического рефрактометра АРЖ ОI позво-

$$n_6 \cdot \sin \alpha_1 = N \cdot \sin \alpha_2;$$

/4-29/

$$N \cdot \sin \alpha_6 = n_6 \cdot \sin \alpha_7;$$

$$\alpha_3 = -\alpha_3'; \quad \alpha_4 = -\alpha_4'; \quad \alpha_5 = -\alpha_5',$$

где:  $n_6$  - показатель преломления воздуха;

Из треугольников  $AFE$ ,  $BGF$ ,  $CGH$ , и  $DHL$  на основании равенства суммы внутренних углов  $180^\circ$  получены следующие уравнения:

$$\alpha_3 = \alpha_2 + A_2;$$

$$\alpha_3' = A_2 + \alpha_4 - 180;$$

$$\alpha_4' = A_1 + \alpha_5 - 180;$$

$$\alpha_5' = -A_1 + \alpha_6,$$

где  $A_1$  и  $A_2$  - углы призмы, указанные на схеме.

Приведенные выше соотношения /4-29, 4-30/ использованы при расчете призмы. Величина углов с учетом их знаков вычислялись для пяти лучей, указанных на схеме /рис. 4-II/.

Лучи 1 и 5 являются граничными для светового потока на выходе из конденсора. Лучи 2 и 4 соответствуют минимальному и максимальному значению показателя преломления анализируемого раствора. Луч 3 совпадает с оптической осью конденсора.

В процессе выполнения расчетов каждый из углов обозначался буквенной переменной с двумя индексами, первый из которых соответствует номеру луча, а второй - номеру угла в соответствии с нумерацией, принятой на оптической схеме.

Исходными данными для расчета призмы являются:

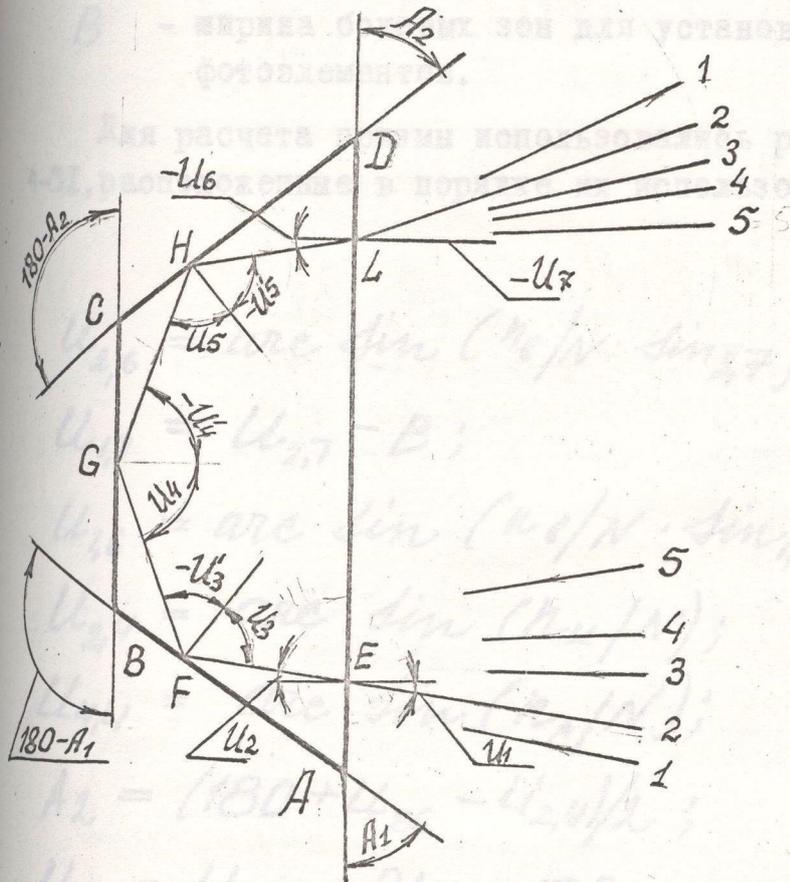


Рис. 4-II

$$U_{46} = U_{45} + 2A_2 - 180;$$

$$U_{47} = \arcsin(N/n_2 \sin U_{46});$$

$$U_{57} = U_{47} - B;$$

$$U_{56} = \arcsin(n_2/N \sin U_{57});$$

$$U_{36} = (U_{46} + U_{56})/2;$$

$$U_{37} = (n_2/N \sin U_{36});$$

$$U_{34} = 180 - 2 \cdot A_2 + U_{36};$$

$$U_{34} = 180 - 2 \cdot A_2 + U_{36};$$

- $N$  - показатель преломления стекла  
 $n$  - минимальное значение показателя преломления мисцеллы;  
 $n$  - максимальное значение показателя преломления мисцеллы  
 $n_e$  - показатель преломления воздуха;  
 $U_{2,7}$  - угол на выходе из призмы, соответствующий минимальному показателю преломления;  
 $B$  - ширина боковых зон для установки компенсационных фотоэлементов.

Для расчета призмы использовались расчетные соотношения 4-3I, расположенные в порядке их использования:

$$U_{2,6} = \arcsin(n_e/N \cdot \sin U_{2,7});$$

$$U_{1,7} = U_{2,7} - B;$$

$$U_{1,6} = \arcsin(n_e/N \cdot \sin U_{1,7});$$

$$U_{2,4} = \arcsin(n_k/N);$$

$$U_{4,4} = \arcsin(n_A/N);$$

$$A_2 = (180 + U_{2,6} - U_{2,4})/2;$$

$$U_{4,6} = U_{4,4} + 2A_2 - 180;$$

$$U_{4,7} = \arcsin(N/n_e \cdot \sin U_{4,6});$$

$$U_{5,7} = U_{4,7} + B;$$

$$U_{5,6} = \arcsin(n_e/N \cdot \sin U_{5,7});$$

$$U_{3,6} = (U_{4,6} + U_{5,6})/2;$$

$$U_{3,7} = (n_e/N \cdot \sin U_{3,6});$$

$$U_{1,4} = 180 - 2 \cdot A_2 + U_{1,6};$$

$$U_{3,4} = 180 - 2 \cdot A_2 + U_{3,6};$$

$$U_{5,4} = 180 - 2 \cdot A_2 + U_{5,6};$$

$$A_1 = (180 - U_{3,4})/2;$$

$$U_{1,5} = A_2 - U_{1,6};$$

$$U_{1,3} = 180 - A_1 - U_{1,4};$$

$$U_{1,2} = 180 - 2A_1 - U_{1,4};$$

$$U_{1,1} = \arcsin(N/n_e \cdot \sin U_{1,2});$$

$$U_{2,5} = A_2 - U_{2,6};$$

$$U_{2,3} = 180 - A_1 - U_{2,4};$$

$$U_{2,2} = 180 - 2A_1 - U_{2,4};$$

$$U_{2,1} = \arcsin(N/n_e \cdot \sin U_{2,2});$$

$$U_{3,5} = A_2 - U_{3,6};$$

$$U_{3,3} = 180 - A_1 - U_{3,4};$$

$$U_{3,2} = 180 - 2 \cdot A_1 - U_{3,4};$$

$$U_{3,1} = \arcsin(N/n_e \cdot \sin U_{3,2});$$

$$U_{4,5} = A_2 - U_{4,6};$$

$$U_{4,3} = 180 - A_1 - U_{4,4};$$

$$U_{4,2} = 180 - 2 \cdot A_1 - U_{4,4};$$

$$U_{4,1} = \arcsin(N/n_e \cdot \sin U_{4,2});$$

$$U_{5,5} = A_2 - U_{5,6};$$

$$U_{5,3} = 180 - A_1 - U_{5,4};$$

$$U_{5,2} = 180 - 2 \cdot A_1 - U_{5,4};$$

$$U_{5,1} = \arcsin(N/n_e \sin U_{5,2});$$

Результаты вычислений для удобства использования могут представляться в виде матрицы, номер строки которой совпадает с номером луча, а номер столбца соответствует номеру угла.

Одной из важных характеристик призмы является угол между лучами, ограничивающими рабочую зону  $U_{2,1} - U_{4,1}$ ;  $U_{2,4} - U_{4,4}$ ;  $U_{2,7} - U_{4,7}$  /, и лучами, ограничивающими световой поток на выходе из конденсора  $U_{1,1} - U_{5,1}$ ;  $U_{1,4} - U_{5,4}$ ;  $U_{1,7} - U_{5,7}$  /, на входе в призму, а также в призме и на выходе из нее. Если рассчитанные значения указанных углов не отвечают геометрическим размерам конструкции, расчет призмы повторяется с использованием других исходных данных.

#### 4.8.5.5. Кинематическая схема автоматического рефрактометра.

На рис. 4-12 представлена кинематическая функциональная схема автоматического рефрактометра.

На валу I электродвигателя 1 следящей системы установлен шестерня 2, которая находится в зацеплении с установленной на валу II шестерней 3. На валу II установлен шкив IO, соединенный тросиком с аналогичным шкивом II, закрепленным на валу III совместно с указывающей стрелкой 12. На валу II установлен также профильный кулачок 4, по которому перекачивается ролик рычага 5 и реохорд дистанционной передачи показаний 20.

Рычаг 5 соединен тягой 6 с рычагом 7. Один конец рычага 7 соединен тягой 8 с рычагом 9, на котором установлены подвижные фотоэлементы. На другом конце рычага 7 установлен зубчатый сектор 19, который находится в зацеплении с шестерней 18, установленной на валу V, где установлены также тормозной барабан 17 и шестерня 16. Шестерня 16 находится в зацеплении с шестерней 15, установленной на валу IV двигателя 13, используемого для коррекции показаний автоматического рефрактометра.

В процессе работы автоматического рефрактометра вращательное движение вала I реверсивного двигателя передается через шестерни 2 и 3 кулачку 4, а также с помощью шкивов IO и II указывающей стрелке 12. Кулачок 4 перемещает рычаги 5, 7 и 9 до совмещения подвижных фотоэлементов с границей светотени.

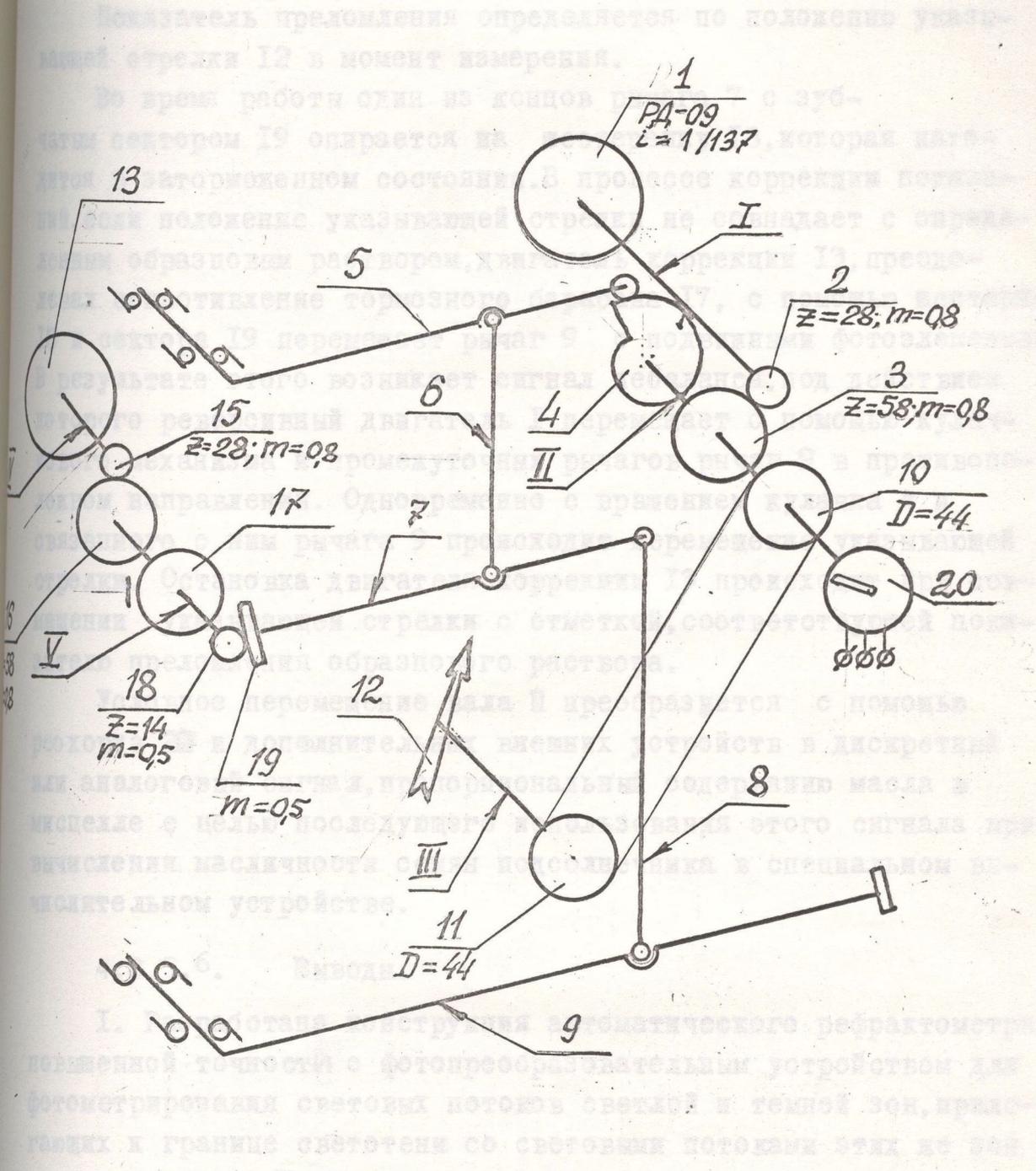


Рис. 4-12

- Разработана методика расчета оптической призмы рефрактометра.
- Разработана кинематическая схема механизма рефрактометра с устройством, обеспечивающим дистанционную коррекцию показаний по показателю преломления образцового раствора без непосредственного доступа к измерительному механизму или изменению

Показатель преломления определяется по положению указывающей стрелки I2 в момент измерения.

Во время работы один из концов рычага 7 с зубчатым сектором I9 опирается на шестеренку I8, которая находится в заторможенном состоянии. В процессе коррекции показаний, если положение указывающей стрелки не совпадает с определенным образцовым раствором, двигатель коррекции I3, преодолевая сопротивление тормозного барабана I7, с помощью шестерни I8 и сектора I9 перемещает рычаг 9 с подвижными фотоэлементами. В результате этого возникает сигнал небаланса, под действием которого реверсивный двигатель I перемещает с помощью кулачкового механизма и промежуточных рычагов рычаг 9 в противоположном направлении. Одновременно с вращением кулачка 4 и связанного с ним рычага 9 происходит перемещение указывающей стрелки. Остановка двигателя коррекции I3 происходит при совмещении указывающей стрелки с отметкой, соответствующей показателю преломления образцового раствора.

Условное перемещение вала II преобразуется с помощью реохорда 20 и дополнительных внешних устройств в дискретный или аналоговый сигнал, пропорциональный содержанию масла в мисцелле с целью последующего использования этого сигнала при вычислении масличности семян подсолнечника в специальном вычислительном устройстве.

#### 4.8.5.6. Выводы.

1. Разработана конструкция автоматического рефрактометра повышенной точности с фотопреобразовательным устройством для фотометрирования световых потоков светлой и темной зон, прилегающих к границе светотени со световыми потоками этих же зон по краям измерительного диапазона.

2. Разработана методика расчета оптической призмы рефрактометра.

3. Разработана кинематическая схема макета рефрактометра с устройством, обеспечивающим дистанционную коррекцию показаний по показателю преломления образцового раствора без непосредственного доступа к измерительному механизму или изменения

параметров настройки электрической схемы.

#### 4.8.6. Компоновка макета устройства.

На данном этапе разработки в состав лабораторного макета устройства входят следующие сборочные единицы: /см.рис.4-13/:

- 1 - ВЧ сушка семян;
- 2 - блок подготовки пробы;
- 3 - рефрактометр автоматический
- 4 - блок управления.

~~74-13/~~

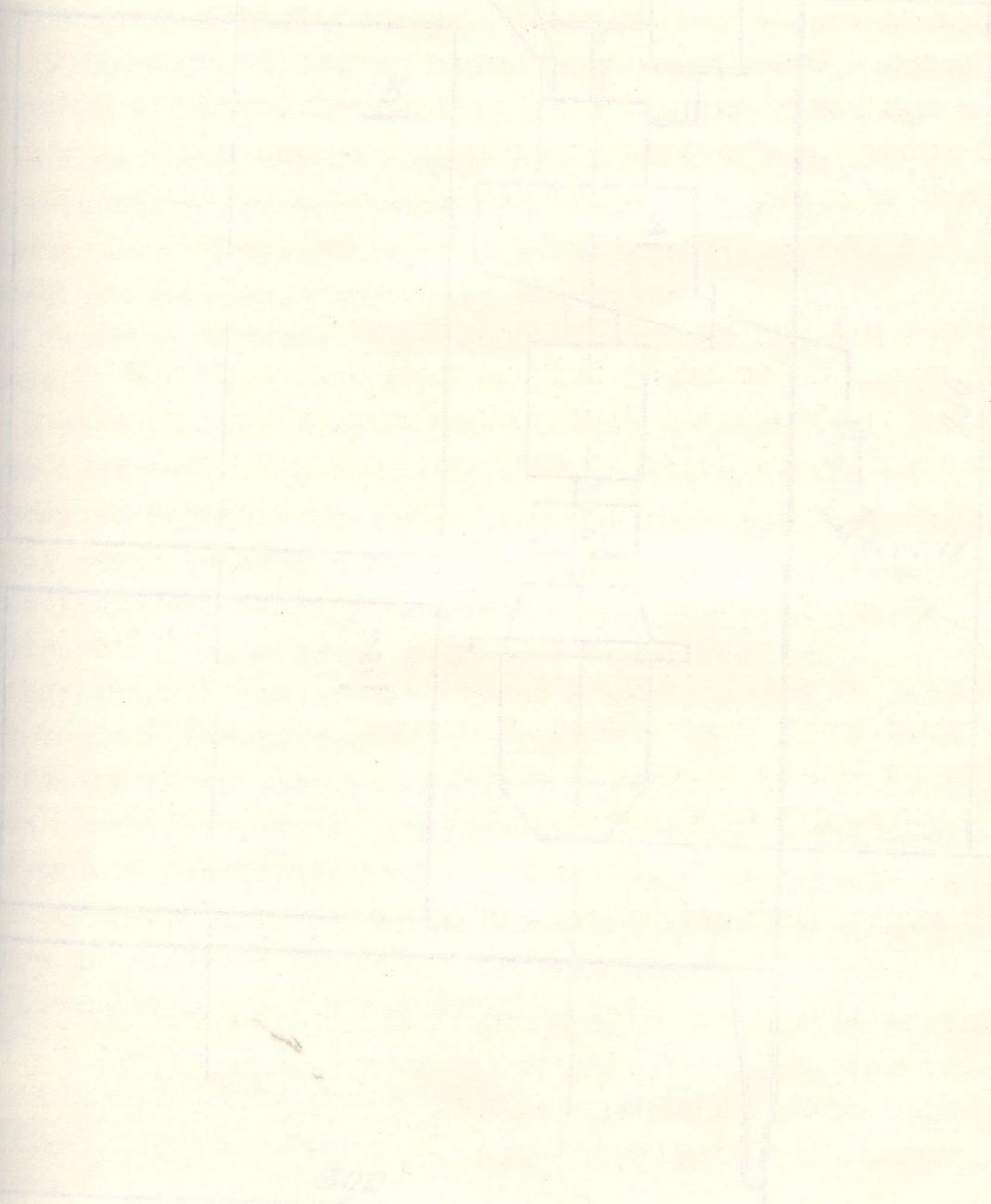


Рис. 4-13