

КИЕВСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

На правах рукописи

УДК 519.87:681.3.06

ЧАН СУАН ТХАНЬ
(ВЬЕТНАМ)

ТЕЧЕНИЕ ТЕПЛОНОСИТЕЛЯ В РАЗДЕЛИТЕЛЯХ РАЗВЕТВЛЕННЫХ
ТРУБОПРОВОДНЫХ СИСТЕМ

Специальность: 05.14.05 - теоретические основы теплотехники

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Киев, 1994



00778570 (У)

Диссертация является
Работа выполнена на кафедре
тепловых и атомных станций Киев

Научный руководитель - доктор технических наук, профессор
О.Т.ИЛЬЧЕНКО.

Официальные оппоненты: - доктор технических наук, профессор
Н.А. ДИКИЙ.

- кандидат технических наук, старший
научный сотрудник ИТТФ АН Украины
М.М.КОВЕЦКАЯ.*

Ведущая организация - Институт Укрэнергопром, г. Киев.

12 Защита диссертации состоится "20" июня 1994 г. в
часов на заседании специализированного Совета К 068.14.07
в Киевском политехническом институте, 252056, г. Киев, проспект
Победы 37, корп. 5 ауд. 406.

О диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Киевского
политехнического института.

Автореферат разослан "____" _____ 1994 г.

Ученый секретарь
специализированного Совета,
канд.технич.наук, доцент

В.П.РОЖАЛИН

ЛНБ ім. В Стефаніка
АН України

ТВ - 30.200

АКТУАЛЬНОСТЬ ТЕМЫ.

Подсистема подготовки питательной воды на ТЭС включает теплообменные и массообменные аппараты, трубопроводы, задвижки и регулируемую арматуру. В зависимости от взаимосвязи между элементами подсистемы, для обеспечения надежности необходимо обеспечить эффективность работы теплообменных аппаратов, трубопроводов и арматуры.

Поскольку в подсистеме подготовки питательной воды рабочее тело может быть или в однофазном или в двухфазном состоянии, то проблема повышения надежности подсистемы в значительной мере определяется агрегатным состоянием теплоносителя.

Проблема течения рабочего тела в каналах с однофазным теплоносителем рассматривается в имеющейся литературе достаточно полно. Значительно менее изученной является проблема течения двухфазного потока. Тем не менее, течению двухфазного потока в одноточечных трубопроводных линиях в последние годы уделено достаточно много внимания.

Задача же течения двухфазного теплоносителя в разветвленных трубопроводах изучена недостаточно и не для всех ситуаций разделения потока. Поэтому предметом данного исследования и было изучение механизмов течения двухфазного потока в разделяющейся трубопроводной линии на модели газожидкостного потока.

Течение двухфазного потока в разделяющемся трубопроводе может преследовать следующие цели: разделение потока на две нитки с целью полного или частичного сепарирования; разделение потока на две нитки с целью обеспечения уравновешенного силового воздействия на аппарат, к которому подводится теплоноситель, разделение потока на две нитки с целью увеличения пропускной способности трубопровода или равномерной раздачи теплоносителя.

Так, в подсистеме подготовки питательной воды на ТЭС, проблема разделения потока возникает в линии сброса конденсата греющего пара после ПВД в деаэратор. Такое решение тепловых схем принимается практически на всех энергетических блоках как КЭС так и ТЭС. Это делает данную проблему особенно острой.

ЦЕЛЬ РАБОТЫ И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ:

- исследование распределения компонентов газожидкостного по-

тока в разделителях различных конфигураций при разных режимах течения;

- исследование влияния режимов течения газожидкостного потока в разделителе на его колебание;

- разработка методики расчета распределения компонентов газожидкостного потока полидисперсной структуры в разделителях;

- исследование процессов, протекающих при прохождении снарядного потока через шайбирующее устройство, результаты которого служат для выбора, расчета и установки шайбирующего устройства.

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ.

Исследования проводились на лабораторных стендах и на натурном объекте. Основные измерения осуществлялись традиционными методами. Достоверности выводов и результатов исследований способствовали: сопоставление результатов экспериментальных данных с результатами, полученными альтернативными подходами, проведение как качественных так и количественных измерений.

НАУЧНАЯ НОВИЗНА:

- исследовано влияние режимов течения двухфазного потока на колебание разделителя;

- экспериментально получена зависимость для расчета распределения компонентов водо-воздушного потока полидисперсной структуры в симметричных разделителях;

- разработана методика расчета диаметра шайбирующего устройства, обеспечивающего перевод потока снарядной структуры в полидисперсный;

- получена приближенная зависимость расчета времени перехода пузырькового потока в снарядный, удобная для практического применения;

- разработана методика расчета гидравлического удара, возникающего при прохождении снарядного потока через шайбирующее устройство.

- получено соотношение для определения длины переходной части шайбирующего устройства для обеспечения снижения пульсационной нагрузки на шайбирующее устройство.

ПРАКТИЧЕСКАЯ ЦЕННОСТЬ РАБОТЫ.

В результате проведения экспериментальных исследований было установлено, что причиной повышенного колебания разделителя при движении в нем двухфазного потока снарядной структуры является неравномерность разделения последнего в разделителе. Было показано, что колебание разделителя можно значительно уменьшить применяя шайбирующее устройство для того, чтобы перевести поток снарядной структуры в полидисперсный. Разработаны методики выбора и установки шайбирующего устройства. Подобные устройства могут быть установлены на трубопроводе отвода конденсата греющего пара из подогревателя высокого давления в деаэратор перед местом разделением потока на КЭС и ТЭС.

НА ЗАЩИТУ ВНОСЯТСЯ:

- приближенная зависимость для расчета распределения компонентов водо-воздушного потока в симметричных разделителях различных конфигураций;
- методика расчета диаметра шайбирующего устройства для перевода двухфазного потока снарядной структуры в полидисперсный;
- приближенная зависимость для расчета времени перехода из пузырькового течения в снарядное и длины соответствующего участка трубопровода, на котором совершается переход;
- методика расчета гидравлического усилия на шайбирующее устройство при движении в нем двухфазного потока снарядной структуры.
- методика расчета длины участка переменного сечения шайбирующего устройства.

АПРОБАЦИЯ РАБОТЫ.

Основные результаты работы были доложены и обсуждены на научном семинаре кафедры ТЭУ Т и АЭС.

ПУБЛИКАЦИЯ.

По материалам диссертации опубликованы 4 работы, среди которых один отчет по НИР, выполненный на кафедре и 3 депонированных статей.

СТРУКТУРА И ОБЪЕМ РАБОТЫ.

Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, заключения, приложения и списка использованных литературных источников. Общий объем работы 146 с., в том числе основной текст 87 с; приложение на 8 с; список использованной литературы, включающий 85 источников на 8 с; 10 табл. на 10 с и 33 рис на 33 с.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ.

В ВВЕДЕНИИ сформулирована научная проблема, цель работы, основные задачи исследования, защищаемые научные положения и другие обязательные сведения.

В ПЕРВОЙ ГЛАВЕ выполнен сравнительный анализ имеющихся в литературе математических моделей двухфазного потока. Изложены методики расчета распределения газожидкостного потока в разделителе при сепарации. Обращено внимание на последствие неравномерности распределения компонентов газожидкостного потока в разделителе. На основе, сделанного в работе анализа сформулированы цель и задачи исследования.

В ВТОРОЙ ГЛАВЕ дано описание экспериментальных стендов, на которых проводились исследования, методик измерений и обработки экспериментальных данных, а также методик определения основных погрешностей измерений. Для решения поставленной в диссертации задачи были созданы 2 экспериментальных стенда и 1 измерительный комплекс. Стенд 1 предназначался для исследования распределения расходов компонентов при движении газожидкостного потока через разделитель при разных режимах течения. Стенд 2 предназначался для исследования колебания разделителя при разных режимах течения в нем газожидкостной среды. Схемы лабораторных стендов 1, 2 изображены соответственно на рис. 1 и 2. В качестве рабочей среды была использована двухкомпонентная водо-воздушная смесь / $P = 0.1 \dots 0.12$ Мпа, $T = 285 - 295$ К /. Расход воздуха измерялся с помощью ротаметров, а расход воды - мерными баками. В качестве разделителя использованы тройники различной конфигурации (рис.3).

Для проведения исследования на натурном объекте была разработана измерительная схема. Измерения проводились на трубопроводе отвода конденсата греющего пара из подогревателя высокого давления в деаэратор на Киевской ТЭЦ-5.

В ТРЕТЬЕЙ ГЛАВЕ содержатся результаты экспериментальных количественных и качественных измерений разделения газожидкостного потока при разных режимах течения и различных конфигурациях разделителя, а так же результаты исследования в промышленных условиях.

В разделе 3.1. этой главы рассмотрены результаты исследования разделения однофазного потока (воды) в симметричном Т-тройнике. Показана устойчивость характера разделения однофазного потока.

В разделе 3.2 рассмотрены результаты количественного и качественного исследования разделения водо-воздушного пузырькового потока в симметричном разделителе различных конфигураций. Результаты как количественных так и качественных измерений показывают на устойчивость и равномерность разделения.

В разделе 3.3 представлены результаты количественных и качественных исследований разделения водо-воздушного снарядного потока в симметричном разделителе различных конфигураций. Результаты количественных измерений показывают на неустойчивость и колебательность характера разделения. Амплитуда колебания отношения расходов воздуха значительно превышает абсолютную погрешность измерения. Результаты качественного исследования колебания разделителя показывают, что амплитуда колебания разделителя значительно увеличивается по сравнению со случаем разделения пузырькового потока, что объясняется неравномерностью и неустойчивостью разделения снарядного потока в симметричном разделителе.

В разделе 3.4 получено приближенное соотношение для расчета разделения водо-воздушного потока в симметричном разделителе при разных углах разветвления. По аналогии со случаем сепарации водо-воздушного потока, для расчета распределения компонентов которого используются понятия разделяющихся линий, в данной работе было получено соответствующее соотношение для расчета толщины слоев, ограниченных разделяющимися линиями в виде:

$$\frac{\left(\frac{\delta_1}{D_1}\right)^{n_1}}{\left(\frac{\delta_2}{D_1}\right)^{n_2}} = \frac{g_2}{g_3} \quad (1)$$

где Q_2, Q_3 - расходы смеси через первую и вторую ветвь;
 δ_1, δ_g - толщины разделяющихся слоев;
 n_1, n_g - функции от угла разветвления и толщины разделяющихся слоев.

Соотношения для определения n_1, n_g для случая угла разветвления $\theta = 90$ приблизительно могут быть выражены как:

$$n_k = -0.33 + 1.86 \exp\left[-4 \frac{\delta_k}{D}\right] \quad k = 1, g. \quad (2)$$

Для других значений углов разветвлений θ величины n_1, n_g могут быть определены по следующим соотношениям:

$$n_k(\theta) = \begin{cases} n_k(\theta = 90) / \sqrt{\sin\theta}, & \theta < 90 \\ n_k(\theta = 90) \sin\theta, & \theta > 180 \end{cases} \quad (3)$$

В разделе 3.5 представлены результаты сопоставления расчетов распределения расходов компонентов водо-воздушной смеси по (3) с экспериментальными данными, полученными в данной работе. Сопоставление показывает удовлетворительное совпадение.

В разделе 3.6 приведены результаты исследования вибрации разделителя двухфазного потока, используемого для отвода конденсата греющего пара из подогревателя высокого давления в деаэрактор на энергоблоке Киевской ТЭЦ-5. Полученные осциллограмма и спектр колебания показывают на наличие локального источника возмущения, которым может быть неравномерное разделение снарядного потока в разделителе.

В разделе 3.7 приведены результаты исследования колебания разделителя при снарядном режиме течения при установке шайбирующего устройства перед разделителем. Осциллограмма колебания в этом случае показывает на значительное снижение амплитуды колебания по сравнению со случаем, когда отсутствует шайбирующее устройство. Это объясняется тем, что шайбирующее устройство разрушает снаряд и позволяет перевести снарядный поток в полидисперсный, который более равномерно разделится в симметричном разделителе.

В ЧЕТВЕРТОЙ ГЛАВЕ исследованы процессы, происходящие при движении снарядного потока через шайбирующее устройство с целью разработать соответствующие расчетные соотношения для выбора шайбирующего устройства оптимальной конструкции и его установки.

В разделе 4.1 разработаны методики расчета диаметра шайбирующего устройства, обеспечивающего разрушение снарядной структуры потока. Первая методика расчета основана на теории брызгания (Кутателадзе С.С., Стирикович М.А.). Требуемый диаметр шайбирующего устройства D_0 можно найти, решая систему уравнений:

$$\left\{ \begin{array}{l} w_g = \frac{\kappa \left(\frac{g \sigma^2 \Delta \rho}{2 \rho_g^3} \right)}{\sqrt{D_0}} \\ \frac{\kappa D_0^2}{4} \cdot (w_g + w_0) = \frac{\kappa D^2}{4} \cdot w_0 \end{array} \right. \quad (4)$$

где D - диаметр трубопровода; w_0 - Средняя приведенная скорость потока; σ - коэффициент поверхностного натяжения; $\Delta \rho = \rho_1 - \rho_g$; ρ_1 - плотность воды; ρ_g - плотность газа; g - ускорения свободного падения; D_0 - диаметр шайбы, $(w_g + w_0)$ - скорость газа на выходе из шайбирующего устройства.

Вторая методика расчета диаметра шайбы основана на теории разрушения снаряда при критическом числе Вебера (неустойчивость Кельвина - Гельмгольца). Диаметр шайбы определяется из следующего выражения:

$$\frac{D_0}{D} = \left[\frac{1}{1 + \sqrt{f}} \right]^{0.5} \quad (5)$$

где параметр f определяется следующим образом:

$$f = \frac{We_{кр} \sigma}{d \rho_g W_0} \quad (6)$$

Третья методика расчета диаметра шайбы основана на теории турбулентного разрушения снаряда. Было получено следующее выражение для диаметра шайбы:

$$\frac{D_0}{D} = \sqrt{\frac{W_0}{W_{кр}}} \quad (7)$$

$$\text{где } W_{кр} = \frac{10}{5/6} D^{\frac{1}{3}} \left(\frac{\sigma}{\rho_1} \right)^{\frac{1}{2}} \left(\frac{\rho_1}{\rho_g} \right)^{\frac{1}{6}} \quad (8)$$

В этом же разделе были приведены примеры расчета диаметра шайбы по изложенным методикам. Результаты расчета по трем методикам приблизительно одинаковы.

В разделе 4.2 разработана математическая модель описания процесса перехода пузырькового течения в снарядный. Приближенная зависимость для расчета времени перехода может быть выражена так:

$$t = \frac{0.75 \sqrt{\pi}}{\varphi^{1.5}} \frac{L_0}{\left| 0.35 \sqrt{gD} - 1.41 \left[\frac{\sigma g (\rho_1 - \rho_g)}{\rho_1^2} \right] \right|}^{0.25} \quad (9)$$

где L_0 - длина снаряда; φ - объемное паросодержание смеси.

Приведен пример расчета времени и длины участка трубопровода на котором происходит переход режимов течения.

В разделе 4.3 рассмотрена проблема возникновения гидравлического удара при движении снаряда через шайбирующее устройство.

Выведена следующая зависимость для расчета величины удара:

$$P_y = \rho_{CM} \left[w_0 + \frac{\beta_1 \cdot c \cdot \rho_{CM}}{\rho_1} - \beta_g \cdot \sqrt{\left(\frac{\beta_1 \cdot \rho_{CM} \cdot c}{\rho_1} \right)^2 + \frac{2 \cdot \Delta P}{\rho_1} + \frac{2 \cdot \rho_{CM} \cdot w_0 \cdot c}{\rho_1}} \right] \quad (10)$$

где ΔP - потеря давления в шайбирующем устройстве; c - скорость звука в двухфазном потоке; ρ_M - плотность смеси;

$$\beta_g = \frac{\mu_g \cdot S_1}{S_0}; \quad \beta_1 = \frac{\mu_1 \cdot S_1}{S_0} \quad (11)$$

μ_g - коэффициент расхода при движении газа через шайбирующее устройство; μ_1 - коэффициент расхода при движении жидкости через шайбирующее устройство; S_1 - площадь проходного сечения шайбирующего устройства; S_0 - площадь проходного сечения трубопровода; $S_0 = \pi D^2/4$.

В разделе 4.4 рассмотрен вопрос об определении длины участка переменного сечения шайбирующего устройства /рис. 4/, обеспечивающего минимальную пульсационную нагрузку на шайбу со стороны потока. Необходимая длина L участка переменного сечения определена следующим образом:

$$L = \frac{20.4}{(0.79 - \varphi)(1 + D_0/D + (D_0/D)^2)} D \quad (12)$$

В конце раздела приведен пример расчета величины L .

В ЗАКЛЮЧЕНИИ обобщены и сформулированы основные результаты и выводы по работе.

1. Выполнен анализ современного состояния проблемы течения теплоносителя в трубопроводной системе. Выполнен анализ существующих моделей и методик расчета разделения газожидкостного потока в разделителе. Выполнен анализ последствия неустойчивого

разделения газожидкостного потока в разделителе.

2. Разработан стенд для проведения количественных исследований при разделении газожидкостного потока.

3. Разработан чувствительный элемент датчика колебания разделителя, используемого при качественных измерениях.

4. Разработана методика оценки погрешностей измерения измеряемых величин.

5. Разработан комплекс приборов для исследования вибрационного состояния трубопроводов в промышленных условиях.

6. Выполнены экспериментальные исследования распределения компонентов водо-воздушного потока при различных режимах течения и разных конфигурациях разделителя. Результаты исследования показывают:

- при полидисперсном режиме течения, водо-воздушный поток равномерно разделяется в любых симметричных разделителях (T , Y , Y^*);

- при снарядном режиме течения водо-воздушный поток распределяется неравномерно в симметричных разделителях (T , Y , Y^*).

7. Выполнены экспериментальные исследования вибрации разделителя при разных режимах течения. Результаты исследований показали, что осциллограмма колебания тройника при снарядном и пузырьковом режимах течения имеют существенно различный характер: при пузырьковом течении на осциллограмме колебания имеются высокочастотные всплески с сравнительно малой амплитудой, а при снарядном течении наряду с высокочастотными всплесками появляются низкочастотные колебания с частотой порядка частоты следования снарядов и с большими амплитудами. Вышеприведенное положение объясняется особенностью распределения газожидкостного потока при разных режимах течения, заключающейся в устойчивости разделения полидисперсного потока и в неустойчивости разделения потока снарядной структуры.

8. Проведены экспериментальные исследования колебания разделителя в промышленных условиях. Осциллограмма и спектр колебания показывают на наличие локального источника низкочастотного возмущения, им является движение снарядов через разделитель.

9. Построено приближенное соотношение для расчета распределения компонентов водо-воздушного потока в разделителях на

основе концепции разделяющихся линий. Сопоставление расчетных и экспериментальных данных по разделению водо-воздушного полидисперсного потока показывает на большое расхождение между ними, что может быть объяснено, во-первых, тем, что сила трения между компонентами смеси значительна по сравнению силой инерции и следовательно ее нельзя пренебречь, во-вторых, тем, что поток не является гомогенным и поэтому нельзя пренебречь полидисперсностью потока.

10. Выполнен сравнительный анализ способов разрушения и предотвращения снарядного течения. Было обращено внимание на недостаточность теоретического исследования эффективности шайбирующего устройства для разрушения снарядной структуры.

11. Выведено расчетное соотношение для определения диаметра шайбирующего устройства, применяемого для разрушения снарядной структуры потока, на основе полученных ранее результатов исследований в области двухфазного дисперсного течения. Приведен пример расчета диаметра шайбирующего устройства по разным способам. Результаты расчета показывают на сходимость рассчитанной по разным способам величины диаметра шайбирующего устройства.

12. Выведено новое соотношение для приближенного расчета времени перехода из пузырькового течения в снарядный. Приведен пример расчета времени перехода и длины участка трубопровода на котором происходит переход. Результат расчета был сопоставлен с экспериментальным наблюдением и результатом расчета по другому способу. Сопоставление показывает на удовлетворительность введенного соотношения для практического расчета.

13. Впервые теоретически исследован механизм возникновения волнового удара при снарядном течении через шайбирующее устройство и выведено расчетное соотношение для определения величины удара, которое может быть использовано при проектировании трубопроводов в котором устанавливается шайбирующее устройство при течении в нем газожидкостного потока снарядной структуры.

14. Выведено расчетное соотношение для определения длины участка переменного сечения шайбирующего устройства, необходимой для обеспечения снижения пульсационной нагрузки на шайбирующее устройство.

ПРИЛОЖЕНИЕ

- 1 - источник взрыва (двигатель); 2 - взрывная волна; 3 - снаряд; 4 - трубка; 5 - снарядный поток.

ПУБЛИКАЦИЯ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ.

1. Чан. С.Т., Чистяков Л.И. Методика расчета диаметра шайбирующего устройства для разрушения снарядной структуры двухфазного потока // деп. УкрНИИТИ N 2437 Ук 93. 1993.

2. Чан. С.Т., Чистяков Л.И. Математическая модель времени перехода пузрькового течения в снарядное // деп. УкрНИИТИ N 2439 Ук 93. 1993.

3. Чан. С.Т., Чистяков Л.И. Методика расчета гидравлического удара при прохождении снарядов через шайбирующее устройство // деп. УкрНИИТИ N 2438 Ук 93. 1993.

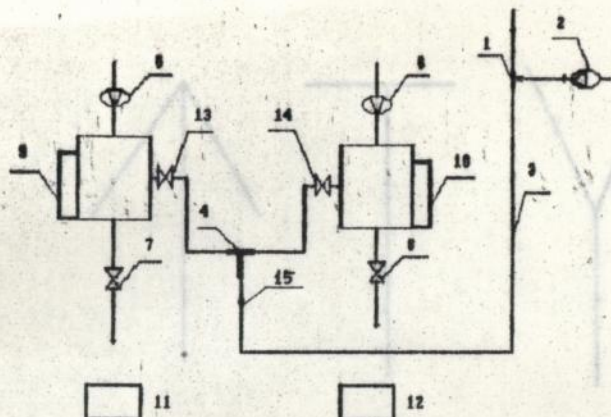


Рис. 1. Схема лабораторного стенда для организации количественных измерений.

1 - узел смешивания воздуха с водой; 2 - компрессор подачи воздуха; 3 - рабочий участок трубопровода; 4 - тройник; 5 - первый ротаметр; 6 - второй ротаметр; 7, 8 - вентили; 9, 10 - бак-сепараторы; 11, 12 - мерные баки; 13, 14 - вентили для подрегулировки расхода смеси в ветви, 15 - место для установки шайбы.

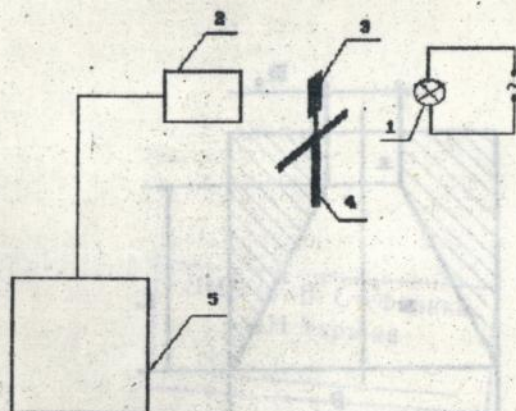


Рис. 2. Схема лабораторного стенда для качественных измерений колебания тройника.

1 - источник излучения (лампа накаливания); 2 - приемник излучения; 3 - флажок; 4 - тройник; 5 - самопишущий потенциометр.

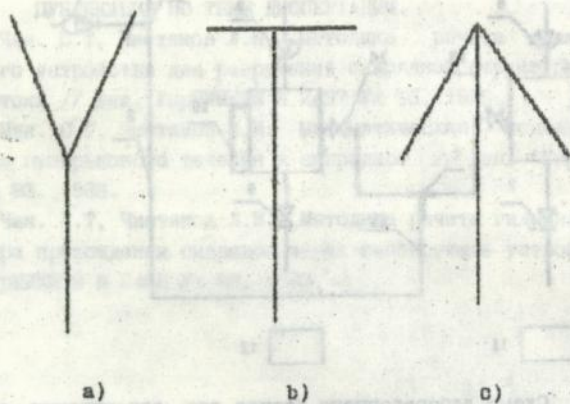


Рис. 3. Виды гониметров, используемых в экспериментах: а - Y-гониметр, б - T-гониметр, с - Y^{*}-гониметр.

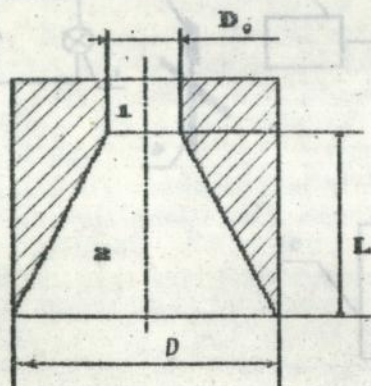


Рис. 4. Вариант конструктивного выполнения шайбы.

ЛНБ ім. В. Стефаника
АН України

КПІ 19.05.94.Зам. 290-80.

451067

AB 30.208