

С 77

454/-

МИНИСТЕРСТВО ПРОСВЕЩЕНИЯ УССР

КИЕВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ПЕДАГОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ
ИМ. А. М. ГОРЬКОГО

На правах рукописи

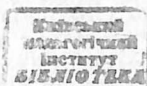
Б. Н. СТАДНИК

**ВЛИЯНИЕ ПОРИСТОЙ СТРУКТУРЫ И ПОГЛОЩЕННОЙ ВЛАГИ
НА РАСПРОСТРАНЕНИЕ УПРУГИХ КОЛЕБАНИЙ
В МОДЕЛЬНЫХ КАПИЛЛЯРНО-ПОРИСТЫХ ТЕЛАХ**

(054 - молекулярная физика)

Автореферат

диссертации на соискание учёной степени
кандидата физико-математических наук



Киев - 1969

НБ НПУ
імені М.П. Драгоманова



100313901

Работа выполнена на кафедре физики Киевского технологического института легкой промышленности.

Научный руководитель - доктор технических наук
проф. КАЗАНСКИЙ М.Ф.

Официальные оппоненты:

доктор физико-математических наук проф. ГОЛИК А.Э.
кандидат физико-математических наук доц. ДУЩЕНКО В.П.

Внешняя рецензия - Московский областной педагогический институт им. И.К. КРУПСКОЙ, проблемная лаборатория молекулярной акустики.

Автореферат разослан " _____ " _____ 1969 г.

Защита диссертации состоится " _____ " _____ 1969 г.
на заседании Совета физико-математического факультета Киевского государственного педагогического института им. А.М. ГОРЬКОГО.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке института.

Ученый секретарь Совета

Акустические методы исследования дисперсных тел привлекают все больший интерес и внимание как с точки зрения научной - возможностью установления механизма образования, деформации и разрушения структур различных типов материалов, являющихся капиллярно-пористыми телами; а также с точки зрения чисто практической - возможностью применения акустических методов в качестве контрольных методов при разработке наиболее рациональных и эффективных режимов технологических процессов для получения материалов с наперед заданными физическими и физико-химическими свойствами.

Реализация как первой, так и второй возможностей тесно связана с изучением вопроса о роли пористой структуры тела, а также о влиянии физико-химических свойств поглощенной влаги на распространение и ослабление ультразвука.

Распространение ультразвуковых колебаний в веществе определяется его составом, структурой и свойствами на кристаллическом и молекулярном уровне. Поэтому акустические параметры тесно связаны с составом и свойствами вещества и их определение открывает возможность применения для исследований и контроля. В изучении капиллярно-пористых тел ультразвуковыми методами за последние годы проведены немногочисленные теоретические и экспериментальные работы. К тому же полученные результаты не подвергнуты критическому анализу и обобщению с точки зрения структуры и водоудерживающих свойств капиллярно-пористых тел. Чтобы восполнить этот пробел в настоящей работе на примере модельных капиллярно-пористых тел проведено исследование зависимости распространения ультразвука от пористой структуры и положения влаги в порах капиллярно-пористого тела.

Диссертация изложена на 159 страницах машинописного текста и состоит из введения, пяти глав, общих выводов, приложения и списка цитируемой литературы.

I.

В первой главе рассмотрены структурные особенности и водоудерживающие свойства капиллярно-пористых тел.

Влажные капиллярно-пористые тела представляют собой сложные дисперсные структуры. По своим коллоидно-физическим свойствам, согласно классификации А.В. Лыкова, они делятся на три вида:

1. Капиллярно-пористые тела.
2. Коллоидные тела.
3. Коллоидные капиллярно-пористые.

Различные капиллярно-пористые тела по различному взаимодействуют с влагой. В настоящее время наибольшее распространение получила классификация форм связи влаги с дисперсным материалом, предложенная П.А. Ребиндером. В основе этой классификации лежит единственно правильный, термодинамический критерий оценки водоудерживающих свойств по величине энергии связи влаги с материалом.

По П.А. Ребиндеру все формы связи влаги с материалами делятся на три категории:

1. Химическая связь воды с материалом.
2. Физико-химическая связь.
3. Физико-механическая связь.

К физико-механической связи влаги, относится влага, удерживаемая в микро- и макрокапиллярах, и вода, оставшаяся на поверхности тела при непосредственном соприкосновении его с во-

дой.

Следовательно, в природе существует чрезвычайно широкий по своим структурным и водоудерживающим свойствам класс дисперсных тел. Естественным является предположение, что и физико-механические свойства различных капиллярно-пористых тел в зависимости от их пористой структуры и водоудерживающих свойств изменяются в очень широком интервале. Поэтому мы ограничились изучением моделей капиллярно-пористого тела, удерживающего лишь влагу физико-механической связи, т.е. влагу, находящуюся в порах капиллярно-пористого тела, частицы которого не изменяют своих свойств под воздействием влаги.

В качестве модели капиллярно-пористых тел, удерживающих влагу физико-механической связи, были выбраны шесть фракций речного кварцевого песка, соответствующие фракциям, которые используются при гранулометрическом анализе почвы. Размеры частиц кварцевого песка каждой фракции были различны и изменялись в пределах от 0,712 мм до 0,094 мм.

Для каждой фракции кварцевого песка были определены средние размеры частиц, плотность и истинная плотность, пористость, а также были получены кривые распределения пор по размерам.

По литературным данным были также выяснены водопоглощающие свойства кварцевых песков по отношению к влаге различного положения в порах — капиллярное состояние, пленочно-менисковое и менисковое.

II.

Во второй главе на основе литературных источников рассматриваются современные представления о распространении ультразвуковых колебаний в капиллярно-пористых телах.

Построение теории распространения упругих волн в капиллярно-пористых телах состоящих из твердых зерен, контакты - рующих друг с другом, а также жидкости и паровоздушной смеси, находящихся в межзерновом пространстве еще не завершено.

Г. Хара, Ф. Гассманом, Д. Уайт и Р. Се. рбуш было показано, что модуль упругости капиллярно-пористых тел можно рассчитать, используя выводы из контактной задачи теории упругости, которая впервые была решена Г. Герцем. Зная модуль упругости, можно, используя известное соотношение, получить теоретическое значение скорости распространения ультразвука, которая, как оказалось, увеличивается пропорционально корню шестой степени от величины внешнего давления. Подобная зависимость скорости распространения ультразвука в капиллярно-пористых телах от величины внешнего давления была неоднократно подтверждена экспериментом.

Вопросы теории ослабления ультразвуковых колебаний, распространяющихся в зернистых средах, еще не получили должного освещения в научной печати. С некоторым приближением для изучения подобных структур можно применить некоторые выводы теории поглощения ультразвука в поликристаллах, в высококонцентрированных суспензиях, а также в пористых телах с жестким скелетом. В частности, М. А. Исаковичем было показано, что при распространении упругих колебаний в средах, в которых имеются неоднородности структурного характера, возникают термические эффекты, сопровождающие объемную деформацию различных участков среды. Вследствие неоднородности отдельных зерен и благодаря наличию механических граничных условий на поверхностях их соприкосновения пространственный масштаб неоднородностей напряжений и погло-

шение ультразвука определяется не длиной волны, а величиной гораздо меньшей — размерами структурной неоднородности среды. Механизм поглощения ультразвука в этом случае аналогичен кирхгофовскому механизму поглощения упругих колебаний, распространяющихся в однородной среде за счет теплопроводности.

Привлекают к себе внимание опыты проведенные Ю.В. Резниченко по моделированию сейсмических волновых процессов с помощью механической системы, представляющей собой упругую решетку из резиновых нитей с укрепленными в углах решетки грузиками, сосредоточенными массами. Эти опыты позволяют сделать выводы об общих закономерностях распространения упругих колебаний в средах с неоднородностями структурного характера, которые можно уподобить в простейшем случае одномерной решетке — цепочке точечных масс, связанных между собой одинаковыми упругостями.

Исследованиями Л. Бриллюэна было установлено, что в одномерной решетке для больших длин волн фазовая скорость распространения колебаний является величиной постоянной. С уменьшением волнового числа фазовая скорость начинает уменьшаться и в том случае, когда длина волны станет равной периоду решетки, т.е. расстоянию между соседними частицами, скорость распространения колебаний превращается в нуль. Частота, соответствующая этой длине волны, называется предельной или критической частотой решетки. Колебания с частотой выше критической будут затухать с расстоянием, причем характер движения отдельных частиц таков, что любые две соседние частицы колеблются в противофазе. Поэтому одномерная решетка может рассмат-

риваться как фильтр низких частот. Большое практическое и теоретическое значение приобретают вопросы приложения теории распространения волн в периодических структурах к изучению ультразвуковыми методами реальных периодических структур, примером которых могут быть модельные капиллярно-пористые тела. Но, к сожалению, эти вопросы еще не получили надлежащего освещения в научной печати.

Рассмотрение основных экспериментальных и теоретических работ по изучению распространения ультразвука в капиллярно-пористых телах свидетельствует о том, что некоторые вопросы уже изучены достаточно хорошо. Это касается, например, зависимости скорости распространения ультразвука в сухом кварцевом песке от давления. Вместе с тем, в основных работах по изучению распространения ультразвуковых колебаний в капиллярно-пористых телах не приводится анализа полученных результатов с точки зрения структурных и водоудерживающих свойств исследованных капиллярно-пористых тел, что не позволяет установить общие закономерности распространения упругих колебаний в капиллярно-пористых телах.

III.

Третья глава посвящена изучению распространения упругих колебаний в моделях капиллярно-пористых тел.

В закономерностях распространения упругих волн в сухих и насыщенных жидкостью зернистых средах существуют большие количественные и качественные различия. Это свидетельствует о том, что для таких тел не может быть принята одна и та же модель среды и что механизмы деформаций этих сред различны, несмотря на то, что основу их представляет один и тот же твердый скелет,

составленный из большого числа твердых сферических частиц, расположенных определенным образом.

Для более детального рассмотрения процесса распространения упругих колебаний в капиллярно-пористых телах имеет смысл ввести в рассмотрение элементарную ячейку капиллярно-пористого тела. Очевидно, что в качестве элементарной ячейки следует выбрать отдельную частичку и рассмотреть характер ее взаимодействия с соседними частицами. Ограничиваясь случаем кубической расстановки частиц и рассматривая поведение элементарной ячейки под действием внешних сил, можно предположить, что оно будет определяться следующими факторами:

1. Силами упругости, развивающихся в точках контакта отдельных частиц в направлении действия внешней силы.
2. Механическим зацеплением и заклиниванием неровностей поверхностей частиц.
3. Трением качения и скольжения, возникающем при перемещении частиц друг относительно друга.

Поведение подобного рода элементарной ячейки можно моделировать с помощью механической модели, представляющей собой параллельно соединенные "упругость" /характеризующая упругие свойства контакта двух сферических частиц среды/ и "вязкость" /учитывающая необратимые потери энергии при деформации капиллярно-пористого тела вследствие наличия сил трения/. Как известно, подобная модель описывает реологические свойства "тела Кельвина - Фогта".

Если же капиллярно-пористое тело содержит в своих порах жидкость, то к силам упругого и неупругого взаимодействия от-

дельных частиц добавляются капиллярные силы, обусловленные наличием свободных поверхностей менисков жидкости.

Рассматривает распространение упругих колебаний вдоль одномерной цепочки элементарных ячеек капиллярно-пористого тела легко показать, что поведение K -той частички среды /ячейки/ описывается следующим дифференциальным уравнением:

$$m \frac{d^2 y_K}{dt^2} + 2\beta \frac{dy_K}{dt} + \lambda [-y_{K-1} + 2y_K - y_{K+1}] = 0, \quad (1)$$

где

- m - масса частички;
- β - коэффициент, учитывающий необратимые потери энергии в элементарной ячейке;
- λ - коэффициент упругости, рассчитываемый согласно теории Герца.

В случае, если частота колебаний, распространяющихся вдоль одномерной цепочки частиц, меньше значения критической частоты, скорость распространения колебаний будет равна:

$$v = v_0 \sqrt{\frac{2}{1 + \sqrt{1 + \frac{3^2}{m^2 \omega^2}}}}, \quad (2)$$

где

- v_0 - скорость распространения упругих колебаний в одномерной цепочке частиц при отсутствии внутреннего трения, определяемая следующим выражением и не

$$v_0 = 3 \sqrt{\frac{1}{2\pi\rho}} \sqrt[3]{\frac{4E^2}{9(1-\sigma^2)^2} P} \quad (3)$$

зависящая от размеров частиц цепочки.

- ρ - плотности капиллярно-пористого тела;
- E, σ - модуль Юнга и коэффициент Пуассона;
- P - внешнее давление.

Выяснение пределов применимости формулы (2) приводит к выводу о существовании граничной частоты упругих колебаний, распространяющихся в капиллярно-пористом теле. Действительно, если на частичку с номером $k = I$ действует гармоническая вынуждающая сила, то вдоль цепочки частиц будет распространяться гармоническая волна с частотой, равной частоте вынуждающей силы. Смещение любой частицы системы можно найти, решив систему дифференциальных уравнений (1), используя интегральные преобразования Лапласа. Анализ полученного решения свидетельствует о том, что колебания с частотой

$$\omega_0 = \frac{3}{r} \sqrt{\frac{1}{2\pi\rho} \sqrt[3]{\frac{4E^2}{9(1-\sigma^2)^2} P}} \quad (4)$$

не пропускаются системой, составленной из сферических, взаимно контактирующих упругих частиц радиусом r .

Таким образом, граничная частота капиллярно-пористого тела, составленного из сферических частиц /например, кварцевый песок/ обратно пропорциональна радиусу частиц и пропорциональна корню шестой степени от величины внешнего давления.

Следует отметить, что из сравнения формул (3) и (4) следует вывод о том, что граничная частота связана со скоростью распространения упругих колебаний следующей зависимостью

$$\omega_0 = \frac{v_0}{r} \quad (5)$$

Проведенные нами расчеты показали, что величина предельной частоты для рыхлого кварцевого песка с низким значением скорости распространения упругих колебаний составляет всего десятки и сотни килогерц, т.е. находится в области низких

ультразвуковых частот.

IV.

Четвертая глава содержит описание лабораторной автоматической ультразвуковой установки для исследования распространения ультразвука в рыхлых зернистых средах в зависимости от их влажности.

В наших опытах существенно важным было определение поглощения ультразвука в том или ином образце кварцевого песка в условиях последовательного изменения его влажности без нарушения его естественной пористой структуры. В связи с этим необходимо было в процессе опыта вести непрерывную регистрацию не только амплитуды ультразвукового импульса, но и записать кривую изменения веса исследуемого образца во время его медленной подсушки, а также записать контрольные кривые температуры образца и температуры воздуха в камере, где находился исследуемый песок. Для обеспечения таких возможностей нами была разработана конструкция установки, позволяющая проводить автоматическую регистрацию амплитуды ультразвукового импульса, прошедшего через слой кварцевого песка одновременно с записью температуры и веса образца необходимого для определения его влажности, а также записью кривых температуры воздуха в термостате, где размещался образец во время опыта. Для устранения механического воздействия на образец со стороны приемника ультразвуковых колебаний последний размещался на расстоянии 10 - 15 мм над верхней поверхностью образца, засыпанного в цилиндрическую дюралюминиевую чашку, ко дну которой был прикреплен излучатель в ультразвуковых колебаний.

Изменение влажности образца производилось путем медленного высушивания его. Толщина слоя песка в наших опытах составляла 5 - 10 мм. В этом случае, как показал опыт, распределение влаги в толще образца в процессе конвективной сушки, осуществляемой в мягком режиме, близко к равномерному.

Автоматическая ультразвуковая импульсная установка состоит из следующих блоков: фотоэлектрических аналитических весов, для непрерывного взвешивания образца в процессе его сушки, с устройством для записи кривой веса на ленте самопишущего потенциометра; измерительной кюветы с смонтированным в нее термометром сопротивления для измерения температуры образца и прикрепленным к ее дну ультразвуковым излучателем; пьезоэлементом и усилителя, к выходу которого подключены автоматический компенсационный измеритель амплитуды ультразвукового импульса и осциллографическое устройство для измерения времени распространения ультразвукового импульса в исследуемой среде; термостата с тиратронным терморегулятором для поддержания постоянной температуры воздуха, окружающего сушимый образец; термометра сопротивления с устройством для измерения и записи на ленте самопишущего потенциометра температуры воздуха в термостате.

Располагая двумя кинетическими кривыми, получаемых с помощью вышесписанной установки - кривой веса и кривой изменения амплитуды ультразвукового импульса, можно проследить зависимость ослабления ультразвуковых колебаний в кварцевом песке различных фракций в широком диапазоне изменения его влагосодержания.

Погрешность определения влажности образца, времени распространения в нем ультразвукового импульса и амплитуды этого импульса определяется точностью измерения и записи веса образца и амплитуды импульса, толщины образца, определяемой с помощью оптического отсчетного устройства, а также точностью осциллографического устройства, которое использовалось для определения скорости распространения ультразвука в песке. Как показал проведенный анализ, для данной установки погрешность при определении скорости распространения ультразвука не превышает 3,5% и ослабления ультразвуковых колебаний - 8%.

Все измерения скорости распространения и ослабления ультразвука в кварцевом песке проводились при частоте ультразвуковых колебаний равной 70 кгц, которая была выбрана из следующих соображений.

Как было уже сказано, существует граничная частота упругих колебаний, распространяющихся в кварцевом песке, так как зернистая среда может рассматриваться как механический фильтр низких частот. Минимальное теоретически рассчитанное значение ее соответствует наиболее крупной фракции кварцевого песка /с средним размером частиц 0,12 мм/ и равно 76 кгц.

у.

Пятая глава посвящена описанию результатов экспериментального изучения распространения ультразвука в сухом и влажном кварцевом песке.

Как было отмечено в главе III, скорость распространения упругих колебаний в кварцевом песке не зависит от размеров его частиц. Результаты экспериментальной проверки этого положения свидетельствуют о незначительном увеличении скорости распро -

странения ультразвука в образцах кварцевого песка с более крупными частицами. Наблюдалось возрастание скорости распространения ультразвуковых колебаний всего на 24 % при увеличении размеров частиц кварцевого песка в 7,6 раза. Полученное расхождение между теорией и экспериментом является небольшим и свидетельствует о том, что распространение упругих волн в кварцевом песке достаточно хорошо описывается с помощью одномерной цепочки частиц.

Параллельно с измерением скорости распространения ультразвука, проводились измерения амплитуды ультразвукового импульса, прошедшего через слой кварцевого песка. Это дало возможность выяснить зависимость ослабления упругих колебаний в кварцевом песке от степени его дисперсности. В результате проведенных опытов было установлено, что с уменьшением размеров частиц кварцевого песка ослабление упругих колебаний увеличивается. Привлекает к себе внимание тот факт, что подобная зависимость ослабления ультразвука от размеров частиц среды наблюдается во взвесах.

Рыхлую зернистую среду можно формально рассматривать как предельный случай взвеси, в которой отдельные частички начинают контактировать друг с другом. При этом, как пока вызывает анализ, изменяется и механизм ослабления ультразвуковых колебаний. Так как кварцевый песок состоит из большого числа частиц, размеры которых были намного меньше длины волны ультразвуковых колебаний, то термические эффекты, возникающие при распространении упругих волн, должны вызывать ослабление их энергии. Кроме того, между отдельными зернами кварцевого песка, участвующими в колебательном

движении, возникают силы трения. Потери энергий колебаний, возникающих вследствие наличия сил трения между отдельными частицами, будут тем больше, чем больше имеется точек контакта в единице объема, т.е. с увеличением дисперсности среды они должны увеличиваться. Действительно, при уменьшении сил трения ослабление ультразвука резко уменьшается. Например, было отмечено, что при замене сухого трения на жидкостное /при появлении жидкостных манжет в точках контакта отдельных зерен/ резко увеличивается амплитуда ультразвукового импульса, прошедшего через слой кварцевого песка. Это уменьшение было тем больше, чем меньше размеры частиц образца, т.е. чем больше контактов между отдельными зернами причитают участие в передаче ультразвуковых колебаний.

Измерения амплитуды ультразвукового сигнала, прошедшего через образец кварцевого песка при различном влагосодержании его, начиная от полной влагоемкости до сухого состояния песка, позволили выяснить зависимость ослабления ультразвука в кварцевом песке от его влагосодержания с учетом различного положения влаги в порах межзернового пространства песка.

При изучении распространения ультразвука во влажном кварцевом песке наблюдалось увеличение амплитуды ультразвуковых колебаний с началом появления жидкостных манжет в точках контакта отдельных зерен. Положение минимума ослабления на шкале влагосодержаний было различным для разных фракций кварцевого песка и для более меньших фракций минимум наблюдался при больших влагосодержаниях. Замечено, что минимум ослабления достигался при меньшем относительном заполнении пор, если в качестве насыщающей жидкости взять жидкость с

меньшим коэффициентом поверхностного натяжения /толуол/. Уменьшение ослабления ультразвука в области менискового положения влаги в порах кварцевого песка сопровождается заменой сухого трения между отдельными частицами жидкостным и появлением капиллярных сил в толще образца, действие которых, как известно, равнозначно дополнительному сжатию всей системы. Капиллярное сжатие существует в кварцевом песке до того момента, пока не начнут сливаться между собой поверхности жидкости, ограничивающие влагу между отдельными частицами, и не появятся разобщенные пузырьки воздуха в толще образца. При этом влага в порах песка перейдет в пленочно-менисковое состояние. Пузырьки воздуха образуются сначала в мелких порах, которые есть даже в песках крупных фракций вследствие неправильной формы частиц. С этого момента наблюдается увеличение ослабления ультразвуковых колебаний. С вытеснением воздушных пузырьков из пор кварцевого песка при переходе влаги от пленочно-менискового к капиллярному положению наблюдалось резкое уменьшение ослабления ультразвука.

В кварцевом песке с полностью заполненным жидкостью межзерновым пространством /при капиллярном состоянии влаги в порах/ ослабление ультразвуковых колебаний определяется в основном термическими эффектами, которые возникают на границе раздела твердой и жидкой фазы при прохождении упругой волны и на низких ультразвуковых частотах во много раз меньше чем в сухом песке.

Таким образом, полученные нами экспериментальные результаты исследования свидетельствуют о том, что ослабление упругих колебаний во влажном кварцевом песке определяется его пористой структурой и положением влаги в его порах.

ОБЩИЕ ВЫВОДЫ.

В кварцевых песках, являющихся типичными представителями капиллярно-пористых тел, способных удерживать влагу лишь физико-механической формы связи, проведены измерения скорости распространения и ослабления ультразвуковых волн в условиях последовательного уменьшения их влагосодержания от полной влагоемкости до сухого состояния песка.

Измерения были осуществлены на частоте 70 кгц импульсным методом с помощью разработанной нами автоматической ультразвуковой импульсной установки.

В результате проведенных исследований распространения ультразвука в сухих и влажных кварцевых песках различных фракций можно сделать следующие выводы.

I. Экспериментальные исследования и полученные результаты свидетельствуют о том, что кварцевый песок, состоящий из зерен различного диаметра и различной формы, можно моделировать совокупностью контактирующих между собой сферических упругих частиц одинакового размера. Скорость распространения ультразвука в кварцевом песке, как показал теоретический анализ, не зависит от размеров частичек песка. Проведенная эксперимен-

тальная проверка выявила незначительное возрастание скорости распространения ультразвука /на 24%/ при увеличении эффективных размеров частиц кварцевого песка в 7,6 раза.

2. Были изучены вынужденные колебания частиц модели зернистой среды, представляющей собой одномерную цепочку сосредоточенных масс, связанных друг с другом силами упругости, которые рассчитывались по теории Г. Герца. В результате было получено аналитическое выражение для предельной частоты, пропускаемой системой, а также установлена связь между значением предельной частоты, размерами частиц и скоростью распространения упругих колебаний.

3. В результате проведенных экспериментов было установлено, что ослабление упругих колебаний в кварцевом песке увеличивается с уменьшением размеров его зерен. Анализ показал, что подобная зависимость ослабления ультразвука от размеров частиц пористой среды объясняется прежде всего термическими потерями в кварцевом песке при распространении ультразвуковых волн, а также обусловлена наличием трения в точках контакта отдельных зерен, число которых увеличивается с возрастанием числа частиц в единице объема.

4. Ослабление ультразвуковых колебаний во влажном капиллярно-пористом теле определяется его пористой структурой и положением влаги в его порах. Так, первый минимум на кривой зависимости ослабления ультразвука от влажности расположен вблизи границы появления менисков влаги в местах контакта зерен песка /менисковое состояние влаги/, последующий максимум на кривых расположен недалеко от границы перехода пленочно-менискового состояния к капиллярному состоянию

Влаги в порах.

Основные положения диссертации были доложены на: IX Межвузовской научной конференции по применению ультразвука к исследованию вещества, Москва, 1962 г.

XI Межвузовской научной конференции по применению ультразвука к исследованию вещества, Москва, 1965 г.

XIII Межвузовской научной конференции по применению ультразвука к исследованию вещества, Москва, 1969 г.

По теме диссертации опубликованы следующие работы:

1. СТАДНИК Б.Н., КАЗАНСКИЙ М.Ф., Влияние влаги на распространение ультразвука в капиллярно-пористых телах, ИФЖ, 6, 7, 1968 г.

2. СТАДНИК Б.Н., КАЗАНСКИЙ М.Ф., Влияние влаги на распространение ультразвука в кварцевом песке, Сборник "Исследование тепло- и массообмена в технологических процессах и аппаратах", Минск, "Наука и техника", 1965 г.

БФ-0°410. Подписано к печати 28.03.1969 г. Формат 60x84, 1/24

Объем 0,83 печ. листа. Заказ №189. Тираж 180 экз.

Лаборатория фотоофсетной печати КТИЛПа
Киев 11, ул. Немировича-Данченко, 2.