

Д 87

P-P

1011

КИЕВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ПЕДАГОГИЧЕСКИЙ
ИНСТИТУТ им. ГОРЬКОГО

В. П. ДУЩЕНКО

**Исследование физической сущности
критических точек кривых скорости
сушки капиллярно-пористых
и коллоидных капиллярно-пористых
веществ**

АВТОРЕФЕРАТ

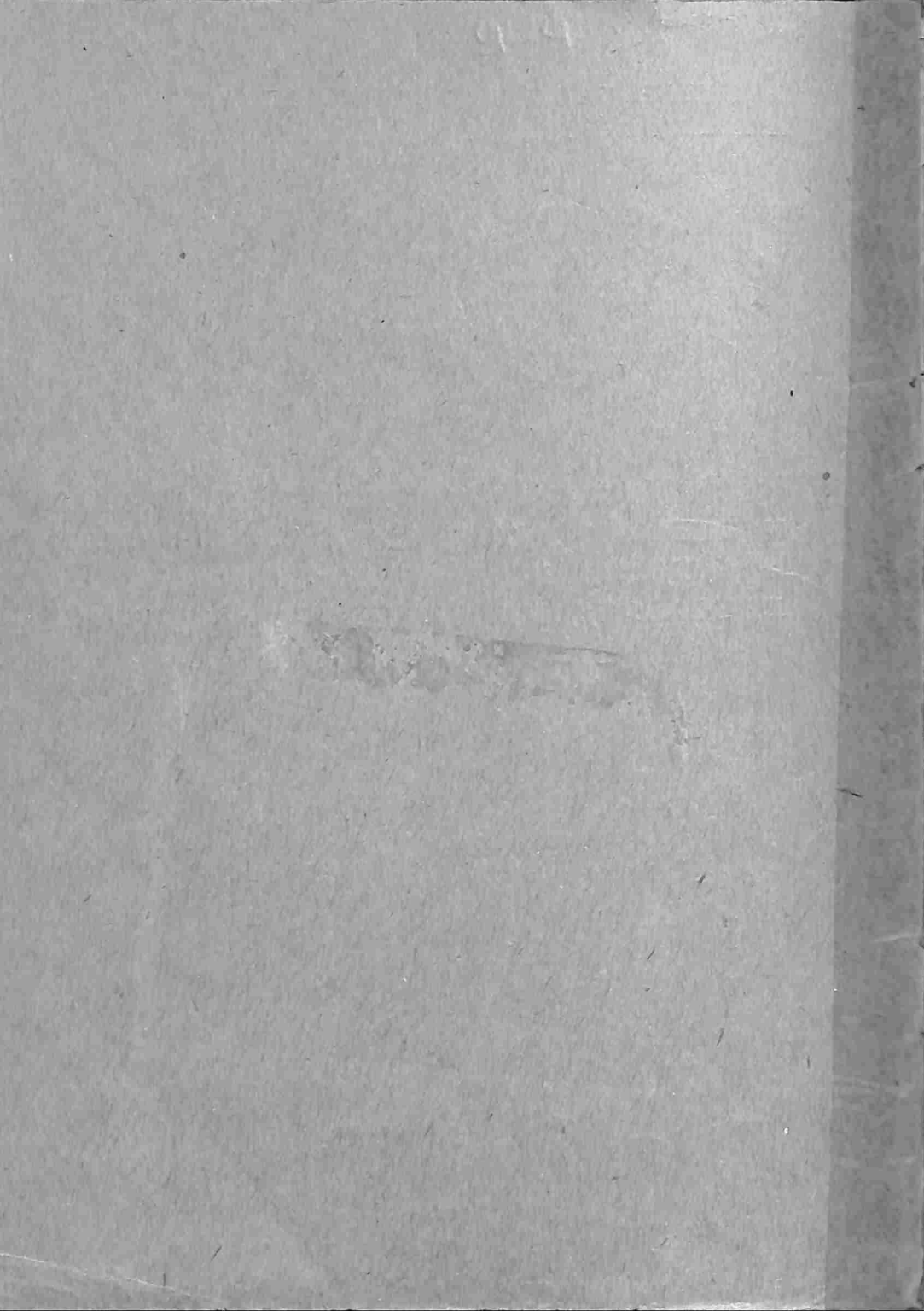
диссертации на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук

НБ НПУ
імені М.П. Драгоманова



100313032

г. Киев. — 1953 г.



4 ФЕВ 1951

№

54.765-В

53
АЧ

Увлажненные тела представляют собою в большинстве случаев типичные капиллярно-пористые, или коллоидные капиллярно-пористые, или коллоидные вещества, влага в которых неоднородна по своим физическим свойствам и по характеру связи влаги с твердой фазой вещества.

Все увлажненные тела при последующих технологических процессах превращения их из сырья в полуфабрикаты или в готовую продукцию подвергаются разного рода гигротермическим воздействиям.

Среди всех видов гигротермических воздействий сушка является одним из важнейших, а подчас прямо-таки необходимым производственным процессом ряда отраслей промышленности.

Отечественным ученым, сделавшим большое количество важных и ценных открытий и изобретений в различных областях науки и техники, принадлежит также и приоритет в установлении основных положений механизма процесса сушки, которые совершенно незаконно приписывались до последнего времени иностранным ученым в этой области (Кину, Фишеру, Шервуду, Льюису и др.).

Так, у истоков теоретических основ исследования механизма процесса сушки стоит известный русский почвовед проф. П. С. Коссович, который впервые установил периодичность процесса сушки.

Проф. А. Ф. Лебедев, изучая миграцию влаги в почвах, на основании своих лабораторных опытов экспериментально доказал зависимость законов миграции влаги при различных степенях увлажнения почвы от формы связи влаги с веществом.

Эти основные положения в теории сушки, открытые впервые русскими учеными, получили широкое развитие в теоретических и экспериментальных работах советских ученых (А. В. Лыков, Я. М. Минниович, И. М. Федоров, Ю. Л. Кавказов, Н. Н. Селюгин, Ф. Е. Колясев и др.).

Большую роль для развития современной теории сушки сыграли работы акад. А. В. Думанского, акад. П. А. Ребиндера и акад. Липатова, давшие строгий научный анализ форм связи влаги с веществом.

ОТДЕЛ ТЕХНИЧЕСКОГО ОБРАЗОВАНИЯ

Многочисленные экспериментальные и теоретические работы лауреата Сталинской премии А. В. Лыкова позволили впервые разработать целый ряд проблем физико-математической теории сушки различных материалов, дать строгий математический анализ кинетики и динамики процесса сушки во всех ее периодах и научно обосновать методику выбора оптимального и рационального режима сушки.

Экспериментальное и теоретическое изучение процессов сушки различных увлажненных тел представляет несомненный интерес, как с точки зрения теории коллоидных капиллярно-пористых веществ и учения о состоянии влаги в веществе, так и в смысле решения ряда практических вопросов технологии сушки.

Наиболее плодотворное изучение кинетики и динамики процесса сушки может быть проведено с помощью кривых скорости сушки, на которых обычно можно выделить критические точки.

Критические точки кривых скорости сушки определяются как параметрами режима сушки, так и структурой и формами связи влаги с веществом. Их зависимость от параметров режима сушки нашла свое отражение в ряде работ А. В. Лыкова, И. М. Федорова, Я. М. Миниовича, Т. К. Шервуда и др.

В то же время вопрос зависимости критических точек кривых скорости сушки от форм связи влаги освещен еще недостаточно. Лишь работы А. В. Лыкова дают указания на различные формы связи влаги с веществом в критических точках.

Однако, в настоящее время еще недоказан экспериментально факт различия форм связи влаги в критических точках скорости сушки.

В настоящей диссертации изложены результаты проведенных нами экспериментов по выявлению связи критических точек кривых скорости сушки капиллярно-пористых и коллоидных капиллярно-пористых веществ с различием форм связи влаги.

* * *

Диссертация состоит из трех глав, каждая из которых имеет обзорную часть, описание экспериментальных установок и методики эксперимента и обсуждение полученных результатов.

В первой главе разработаны следующие вопросы:

1. Дан критический анализ литературных источников по изучению форм связи влаги с веществом.

Изучение форм связи влаги с веществом — основная и от-

правная точка для правильного понимания всех гигротермических процессов, которым подвергаются увлажненные дисперсные вещества. В качестве критерия для физически правильной классификации форм связи влаги следует взять энергетический принцип, который характеризуется интенсивностью энергии связи влаги с дисперсной фазой. Поэтому в диссертации в основу положена классификация форм связи влаги акад. П. А. Ребиндера, охватывающая все разнообразные формы связи влаги.

В работе рассмотрены химическая, физико-химическая формы связи влаги с веществом.

2. При рассмотрении связанной воды в работе различается адсорбционно-связанная вода (дипольное взаимодействие воды с поверхностью раздела) и вода, связанная при помощи водородных связей. Эта концепция в последнее время широко развивается в работах А. В. Думанского и О. Д. Куриленко.

В работе дан анализ методов определения связанной воды.

3. Приведены физико-химические данные исследуемых капиллярно-пористых веществ (кварцевый песок четырех фракций) и коллоидных капиллярно-пористых веществ (Полтавская и Часовярская глины).

4. Изучена сорбция влаги Полтавской и Часовярской (I) глинами тензиметрическим способом по ван-Беммелену при температуре 20° С. Изотермы сорбции имеют вид плавных, несколько вытянутых S-образных кривых. На изотермах затруднительно точно установить точку, которая соответствует содержанию связанной воды, ввиду того, что нельзя точно провести границы сорбции и капиллярной конденсации.

Примерно можно считать, что количество связанной воды в Часовярской (I) глине лежит в области, ограниченной точками с влажностями от 5 до 6%, а для Полтавской глины — в области от 6 до 7%. Поэтому для исследования форм связи влаги с веществом следует применять дополнительно другие методы. В связи с этим в дальнейшем были применены методы рефрактометра и интерферометра.

5. Описана методика и результаты измерений количеств связанной воды глин методами рефрактометра и интерферометра по А. В. Думанскому.

При точности измерения концентрации по рефрактометру в 0,015% для количества связанной воды имели ошибку от 2% и выше.

Поэтому точность рефрактометра следует считать недостаточной для измерения количеств связанной воды не сильно гидрофильных веществ, особенно при малых концентрациях индикатора. Для этой цели более пригодным является

интерферометрический метод, который, как известно, дает величины связанной воды, находящиеся в хорошем согласии с результатами, полученными другими методами.

По методу рефрактометра и интерферометра для количеств связанной воды Часовярской (II) и Полтавской глин мы получили соответственно следующие средние величины: 7,73% и 6,92% по рефрактометру, и 7,01% и 6,57% по интерферометру.

6. На основании анализа литературных источников показано, что для измерения диэлектрической проницаемости (ϵ) увлажненных коллоидных капиллярно-пористых веществ, которые являются электропроводящими средами, наиболее пригодными следует считать: видоизмененный О. Д. Куриленко метод бареттеров Вина и второй метод Друде.

Погрешность измерений можно уменьшить, повысив применяемую частоту для измерений ϵ , что в свою очередь вносит трудности и неудобства измерений.

Однако, применение УВЧ диктуется еще и тем, что нижняя граница кривой дисперсии ϵ лежит в области УВЧ.¹

Показана возможность измерения ϵ электропроводящих систем (в нашем случае глин) вторым методом Друде, который, как известно, по сравнению с другими методами хорошо разработан теоретически, проще других и в конструктивном выполнении, не требует генераторов УВЧ большой мощности, удобен при измерениях на УВЧ, требует мало времени для одного измерения и пр.

Учитывая эти преимущества второго метода Друде, для решения нашей задачи нами был остановлен выбор именно на этом методе.

В работе дан критический анализ 2 метода Друде.

7. Описана экспериментальная установка по измерению диэлектрической проницаемости увлажненных глин и кварцевого песка.

Собранная нами установка обладала достаточной стабильностью и хорошей повторяемостью результатов измерений. Установка многократно проверялась путем исследования эталонных жидкостей (бензола и толуола) при различных положениях измерительного конденсатора на линии Лехеровой системы.

Так для всех наших измерений $\text{tg}^2(a_1 + d)$ оставался значительно меньше 1 ($\max \text{tg}^2\alpha(a_1 + d) = 0,01849$) и $v^2 = \frac{\pi\Delta}{\lambda}$ было очень мало (например, для максимального $d = 1,07$ см (Полтавская глина 15%-ой влажности) на волне $\lambda = 325,7$ см от-

ношение $\frac{\rho^2}{\operatorname{tg}^2\alpha(a_1+d)} 100 = 0,028\%$, то вычисления ε производились не по формулам Сосинского и Дмитриева, а по несколько видоизмененной формуле Мортон-Кулиджа:

$$\rho_0 + \varepsilon\rho = \frac{\lambda}{2} \frac{\sin \alpha \cdot d}{\sin \alpha a \cdot \sin \alpha(a+d)}$$

Случайные ошибки измерений находились в пределах допустимой точности. Так, при определении $\lambda/2$ по резонансным кривым, значение абсолютной ошибки не превышало 0,2 мм, что для относительной ошибки дает величину, не превышающую 0,013%. При измерении сокращения системы (d) отклонение каждого измерения от средней величины не превышало 0,02 мм и давало для относительной ошибки значение 0,4 — 0,5%. Максимальная абсолютная и относительная ошибки измерения ε имели следующие значения $\Delta\varepsilon = 0,04$, $\frac{\Delta\varepsilon}{\varepsilon} = 1,5\%$.

8. Приведены результаты измерения на УВЧ зависимости ε увлажненных глин от их абсолютной влажности.

Анализ кривых зависимости ε увлажненных глин от их влагосодержания показывает, что на них отсутствуют резко выраженные сингулярные точки, которые бы отметили границу связанной воды. Однако, факт снижения ε для влагосодержания примерно до 6% не вызывает сомнения, так как увеличение ε в интервале до 6% по сравнению с ε сухих глин составляет 1,5 для Полтавской глины и 1,2 для Часовярской (II) глины.

Построив касательные к нижнему участку кривых и продолжив прямые верхнего участка экспериментальных кривых, области снижения ε влаги, как точки пересечения продолженных выше указанных прямых, установлены следующие: для Полтавской глины при $w = 5,2\%$ и для Часовярской (II) глины при $w = 5,6\%$.

Дальше же следует сильное увеличение ε с увеличением влагосодержания глин.

Сопоставляя полученные величины связанной воды по тензиметрическому анализу, рефрактометрическому и интерферометрическому методам, видим их хорошее совпадение.

Не совсем полное совпадение сингулярной точки на кривой зависимости диэлектрической проницаемости глин от их абсолютной влажности, повидимому, объясняется некоторым повышением ε воды при взаимодействии ее с катионами глин.

На такое повышение ε воды при прибавлении к ней электролитов указывалось Э. М. Фрадковой² и другими авторами.

Измерение ε увлажненных глин, а также кварцевого песка были произведены при температуре 20° С.

9. Приведены результаты полученной зависимости ε двух фракций увлажненного кварцевого песка ($d < 0,15$ мм и $0,6 < d < 1$ мм) от его влагосодержания, полученные по второму методу Друде.

Анализ кривых зависимости ε увлажненного кварцевого песка от его влагосодержания показывает, что на интервале влажностей от абсолютно сухого состояния до 15% абсолютной влажности имеет место линейная зависимость между ε и абсолютной влажностью кварцевого песка — нелинейная зависимость отсутствует.

Отсутствие нелинейной зависимости ε дает основание считать, что физические свойства влаги в кварцевом песке для всех влагосодержаний идентичны с физическими свойствами свободной воды.

Во второй главе:

10. Приведен физический и математический анализ периодов постоянной и падающей скорости сушки процесса сушки, а также проведено решение дифференциального уравнения теплопроводности для периодов постоянной и падающей скорости методом преобразований Лапласа.

11. Описана сконструированная нами небольшая циркуляционная сушильная установка, позволяющая сохранять постоянными нужные параметры режима сушки.

12. Приведены результаты исследования процесса сушки 4-х фракций речного кварцевого песка для различных температурных режимов.

Кривые скорости сушки кварцевого песка имеют две резко выраженные критические точки, которые практически не зависят от температуры сушильного агента — воздуха. Вторая критическая интегральная влажность увеличивается с увеличением размеров фракций кварцевого песка.

Ввиду линейной зависимости ε капиллярно-пористых веществ от их влагосодержания обоснование физической сущности критических точек кривых скорости сушки капиллярно-пористых веществ следует искать только в дискретности величин отрицательного капиллярного давления для капиллярно-разобщенного и канатного состояний механически связанной влаги при дегидратации капиллярно-пористых веществ.

13. Приведены результаты исследования процесса сушки Часовярской (II) и Полтавской глин при вариации температуры и относительной влажности сушильного агента. Нами установлено увеличение первой критической интегральной влажности при повышении температуры сушильного агента, а также

независимость второй критической интегральной влажности при сушке тонких образцов (2—3 мм) от изменения относительной влажности.

В третьей главе изложены следующие вопросы:

14. Прямыми экспериментами путем сопоставления поверхностной влажности сушимых образцов при влажности равной первой критической с величинами гигроскопической влажности глин при температурах мокрого термометра соответствующих режимов сушки были полностью подтверждены теоретические выводы А. В. Лыкова относительно физической сущности первой критической точки кривых скорости сушки коллоидных капиллярно-пористых веществ, в частности глин.

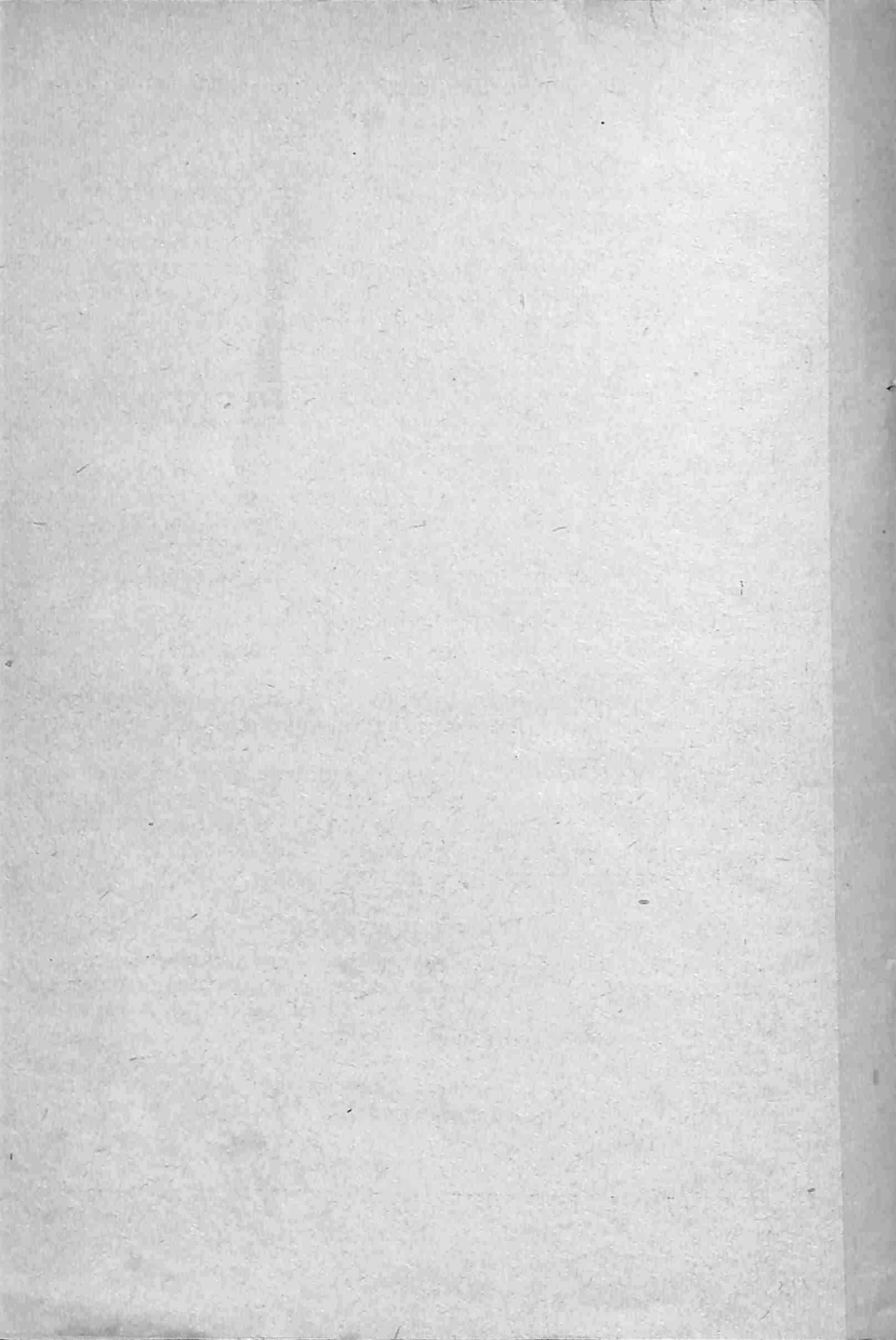
Разница величин поверхностной влажности при интегральной влажности образцов равной первой критической и гигроскопической не превосходит 0,5%.

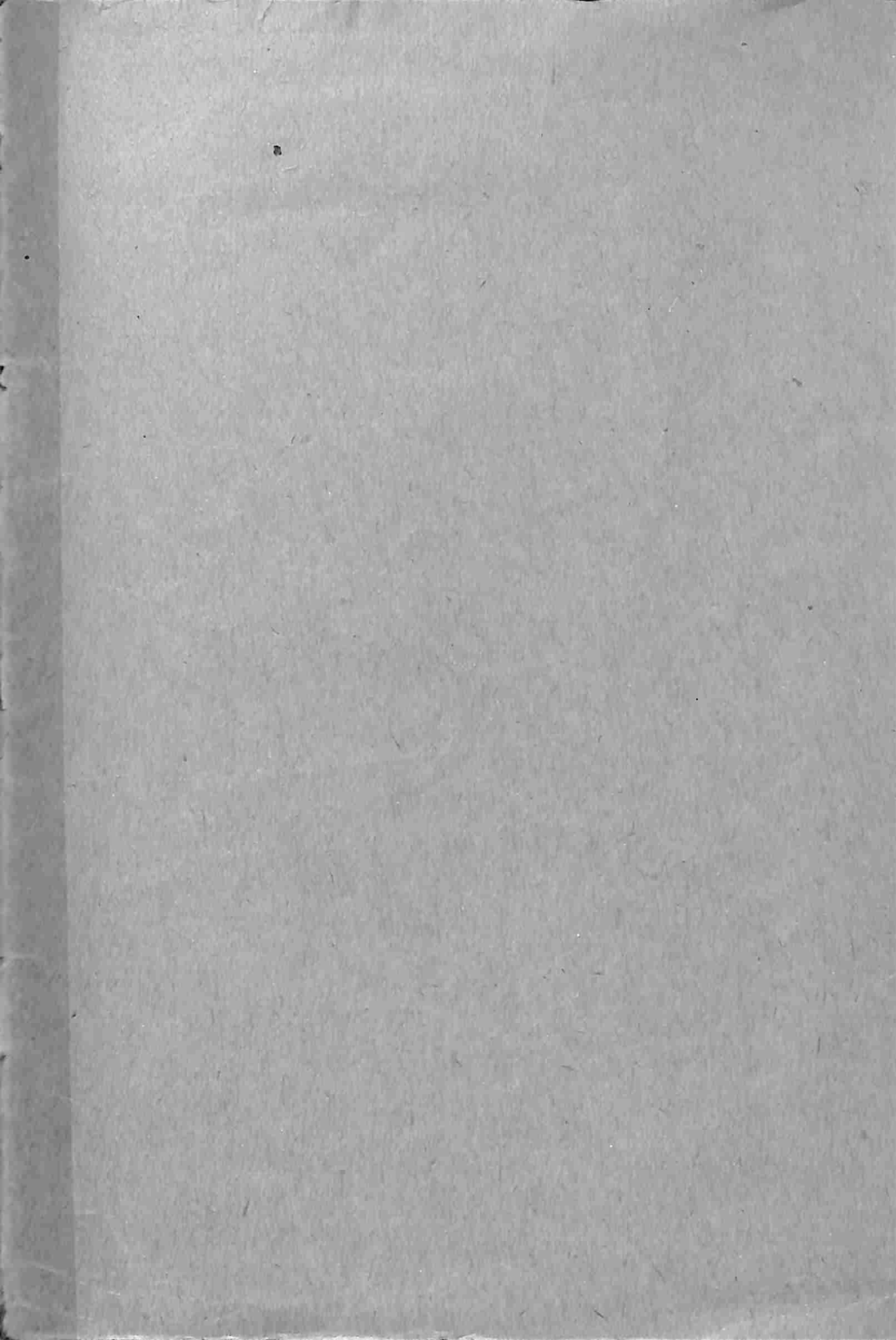
Поверхностная влажность определялась путем разрезания глиняных цилиндров — сушимых образцов на слои, толщиной 2 мм и последующего их высушивания. Величины гигроскопической влажности глин были получены динамическим методом определения сорбции паров воды гидрофильными веществами.

15. Путем сопоставления экспериментальных данных по сушке тонких образцов глин (2—3 мм), зависимости диэлектрической проницаемости увлажненных глин от их влагосодержания и количества связанной воды, полученных по методу рефрактометра и интерферометра, подтверждено теоретическое положение А. В. Лыкова о том, что вторая критическая интегральная влажность кривых скорости сушки отмечает границу связанной воды, и сделан вывод, что кривые скорости сушки тонких образцов могут служить методическим приемом для определения количеств связанной воды коллоидных капиллярно-пористых веществ, в частности глин.

Л и т е р а т у р а:

1. О. Д. Куриленко — Исследования коллоидных растворов по методу диэлектрических постоянных (докторская диссертация), ИОНХ, АН УССР. Киев. 1950 г.
2. Э. М. Фрадкина — Изучение дисперсии диэлектрической проницаемости и электропроводности сильных электролитов в дециметровом диапазоне длин волн. Уч. записки МГУ, 95, Физика кн. 4, 165, 1946.





B

54.465

2