АКУСТИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

Том XXII 1976 Вып. 4

УДК 534.27

ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРЫ И ФИЗИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ АГРЕГАТОВ СУБМИКРОННЫХ ЧАСТИЦ ПРИ АКУСТИЧЕСКОЙ КОАГУЛЯЦИИ

В. А. Беленький, В. А. Сапронов, В. И. Тимошенко

Изложены результаты экспериментального исследования структуры, динамики роста и физических параметров агрегатов частиц, образующихся при акустической коагуляции промышленных аэрозолей.

Защита атмосферы от загрязнения промышленными выбросами становится одной из первоочередных социальных и научно-технических проблем современности. Особенно остро стоит эта проблема в местах концентрации промышленных предприятий, где в результате интенсификации технологических процессов (внедрение, например, кислородного дутья в металлургии и т. п.) резко возросло количество трудноулавливаемых субмикронных пылевых частиц.

Одним из прогрессивных методов достижения быстрого укрупнения субмикронных частиц промышленных аэрозолей с целью их дальнейшего эффективного улавливания в осадительных аппаратах является акустическая коагуляция [1]. Ранее нами исследовались особенности микро- и макропроцесса акустической коагуляции аэрозолей [2—5].

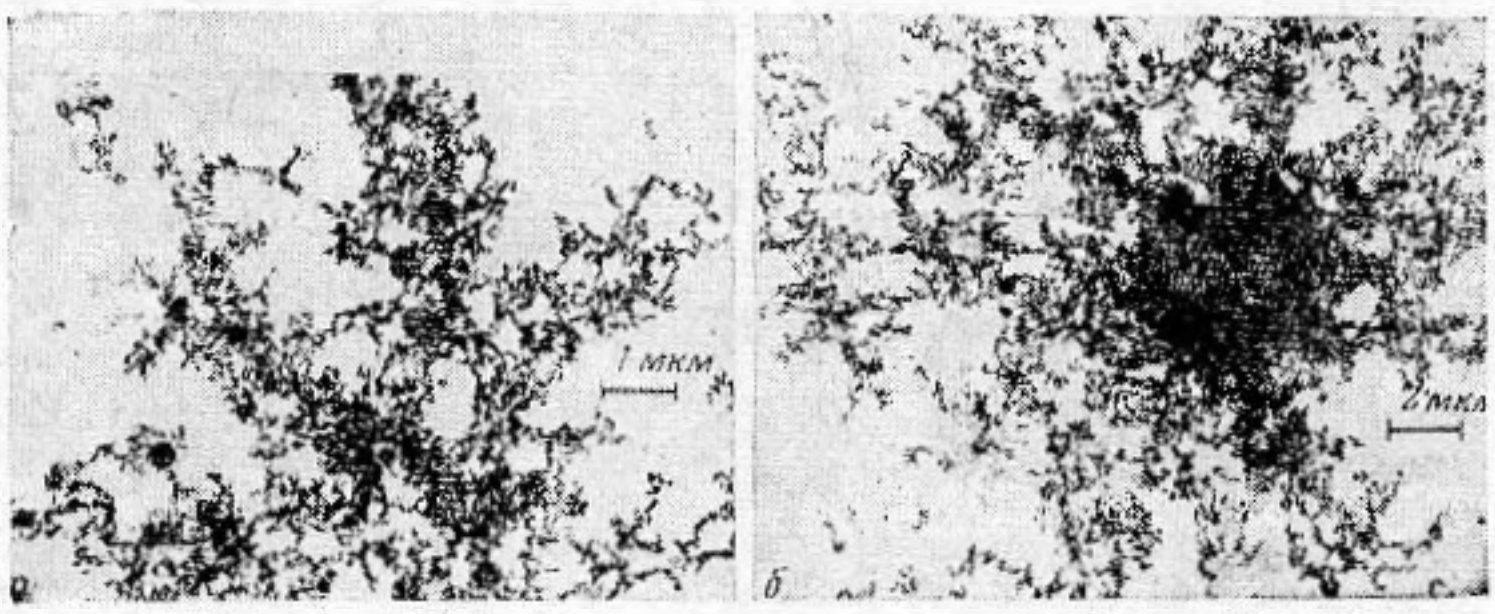
Нами экспериментально исследована структура, динамика роста и физические параметры агрегатов частиц, образующихся в звуковом поле. Эти сведения не только полезны для прояснения еще одной стороны физики акустической коагуляции, они существенно необходимы для оценки поведения образующихся в звуковом поле агрегатов в осадительных аппаратах и расчета эффективности последних.

Аэрозольные частицы, например, сталеплавильного производства (мартеновского и конвертерного), для которых целесообразно использовать акустическую коагуляцию, имеют размеры, составляющие десятые и даже сотые доли микрона. Частицы более крупных размеров и без акустической коагуляции хорошо улавливаются в современных промышленных схемах осаждения.

При исследовании структуры и динамики роста агрегатов субмикронных частиц при акустической коагуляции нами использовались электронно-микроскопические методы в сочетании с оптическими и рентгеновскими. Эксперименты проводились с возгонкой сталеплавильной пылью со средним медианным радиусом R по счету 0,04—0,2 *мкм*. Рентгеноструктурный анализ показал, что первоначальные частицы состояли из окислов железа магнетита и маггемита с плотностью $\rho_0=5{,}2$ *г/см*^{3}.

Для исследования агрегатов частиц и измерения дисперсного состава в процессе акустической коагуляции использовался метод проб. Микрофотографии агрегатов получались с помощью электронного микроскопа BS242D фирмы «Тесла» при увеличении 1500—18 000 с последующим фотоувеличением до 25 000—62 000. В этом цикле исследований акустическая коагуляция проводилась в коагуляционных колоннах в диапазоне частот от 480 до 4000 *гц* со звуковым давлением до 1200 *Н/м*^{2} в потоке аэрозоля.

Анализ большого числа микроснимков, полученных при различных значениях параметров звукового поля, показал, что за одну-две секунды вследствие акустической коагуляции образуются разветвленные, рыхлые агрегаты, содержащие несколько десятков, сотен и даже тысяч первоначальных частиц. На фиг. 1, *а*, *б* представлены микрофотографии двух больших агрегатов (масштаб указан на фигурах). Как видно, габаритные размеры образующихся в звуковом поле агрегатов намного превосходят первоначальные размеры частиц.



Фиг. 1. Микрофотографии двух основных типов агрегатов, образующихся при акустической коагуляции только из мелких частиц (*а*) и из мелких частиц, сгруппировавшихся вокруг крупной частицы (*б*), Снимки получены при звуковом давлении в коагуляционной колоне 900 $Н/м^2$ на частоте 480 *гц* и времени озвучивания 1,7 *сек*

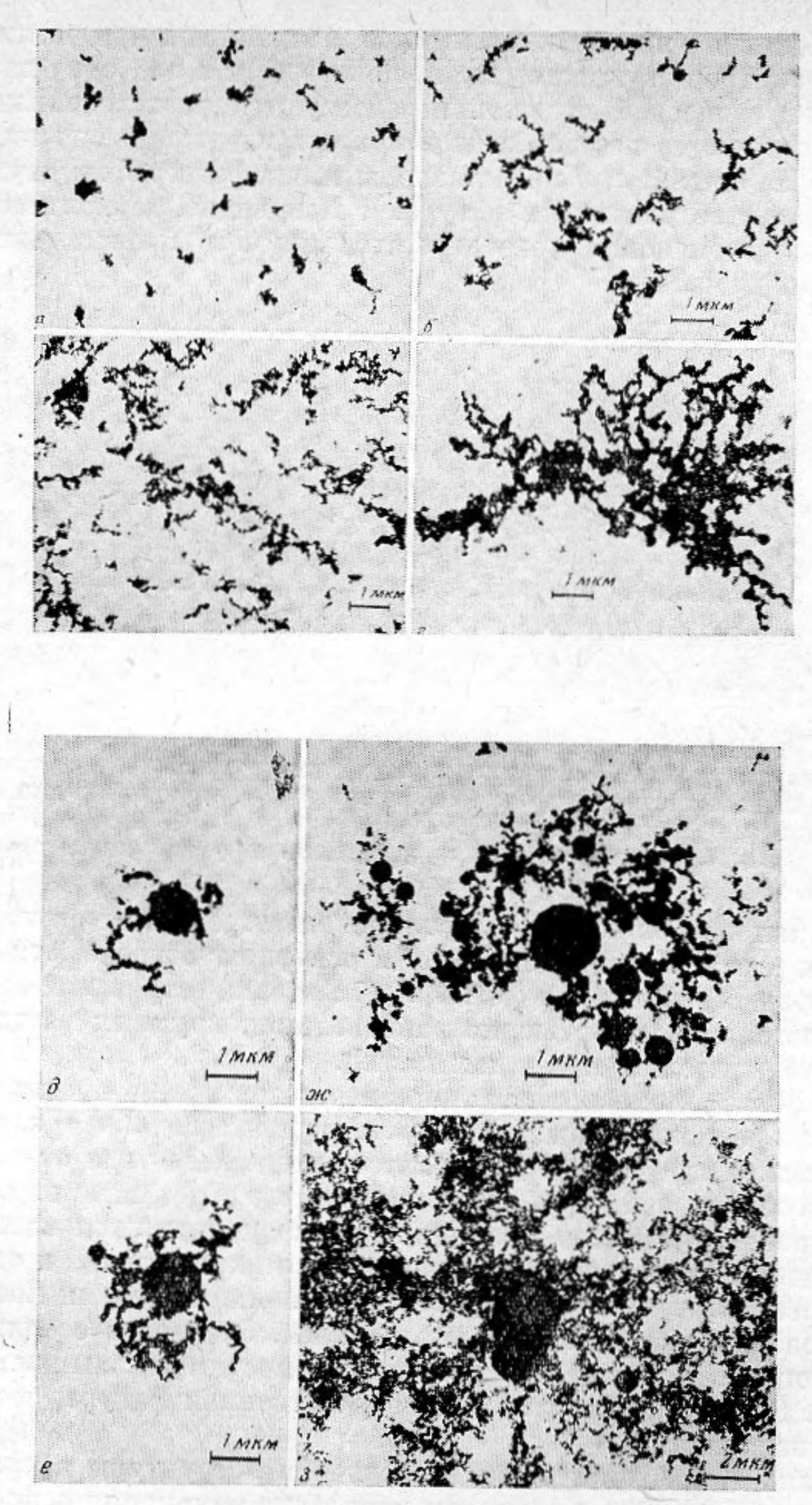
Наблюдения позволили классифицировать агрегаты и описать закономерности их роста. Установлено, что в основном встречаются два типа агрегатов, представленных на фиг. 1, *а*, *б*. Изредка встречаются вытянутые агрегаты, состоящие из примерно равновеликих крупных частиц, «обросших» значительным числом мелких частиц.

Процесс роста двух основных типов агрегатов можно проследить на последовательно расположенных микрофотографиях фиг. 2, *а* — *з*, из которых отчетливо видно, что вначале в результате взаимодействия отдельных частиц [2—5] и зародышей образуются нитевидные агрегаты и отростки. Рост агрегатов происходит в направлениях присоединившихся частиц в виде цепочкообразных отростков. Затем начинается их ветвление и одновременно рост, в результате чего образуется уплотненная средняя часть, вокруг которой продолжается рост отдельных ветвей. Эти ветви соединяются отдельными тонкими мостиками. Густота этих мостиков повышается к центру агрегата. В итоге формируется пространственная фигура, состоящая из огромного числа частиц.

Электронно-микроскопические исследования структуры и процесса роста агрегатов проводились в широком диапазоне изменения основных параметров звукового поля: частоты, звукового давления, времени озвучивания, а также концентрации аэрозоля. Общая структура и конфигурация агрегатов были одинаковыми, что еще раз подтверждает сделанный ранее вывод [2—5] о незначительности влияния частоты на процесс акустической коагуляции.

Микроскопические исследования позволили количественно оценить изменение содержания отдельных фракций в процессе акустической коагуляции. На фиг. 3 приведены в вероятностно-логарифмическом масштабе графики дисперсного распределения. Отчетливо проявляется линейный характер графиков распределения частиц по размерам, что соответствует нормальнологарифмическому закону распределения в принятом масштабе координатных осей.

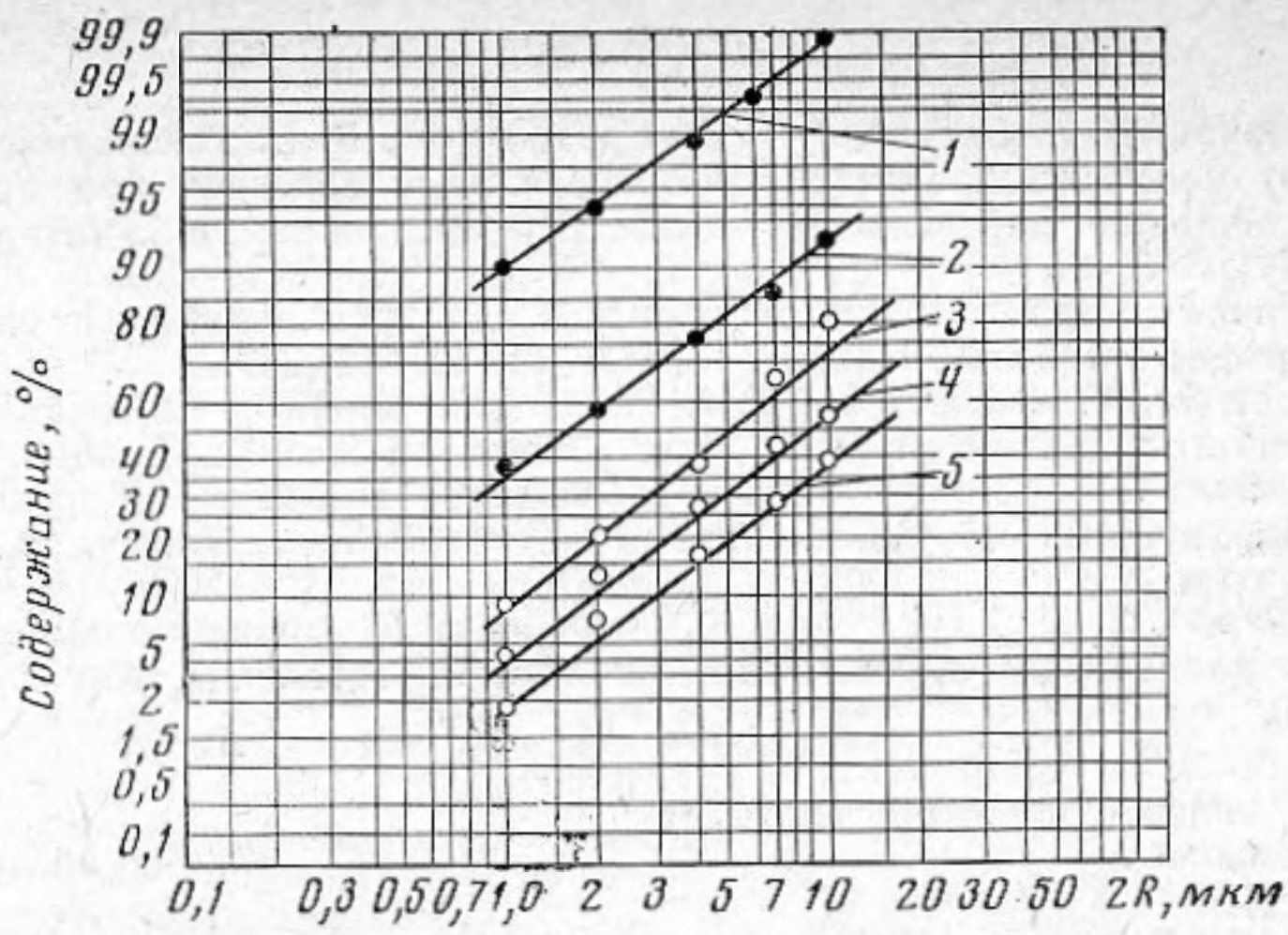
Из представленных на фиг. 3 результатов видно, что в процессе акустической коагуляции размеры образующихся агрегатов частиц быстро растут.



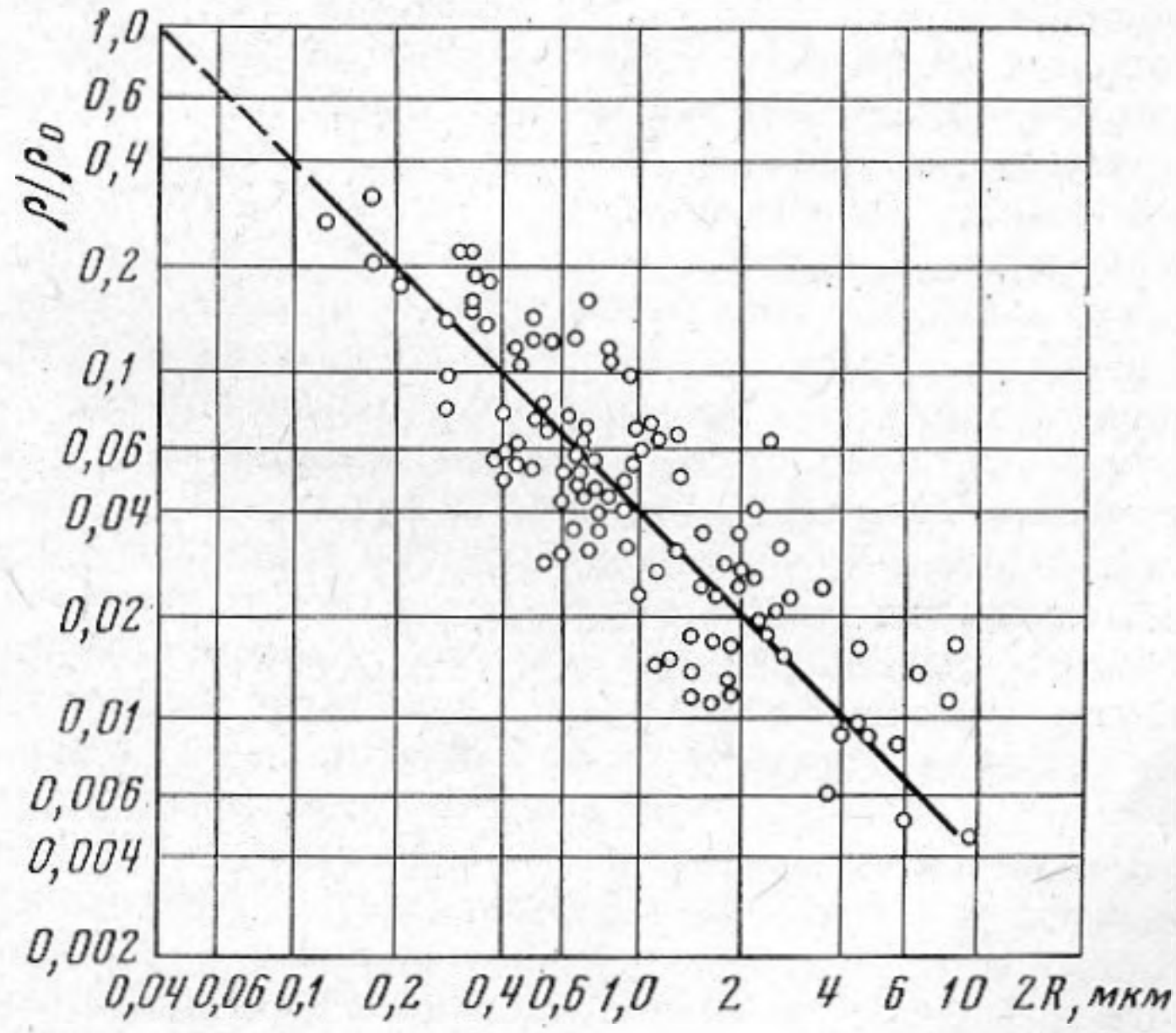
Фиг. 2. Микрофотографии процесса роста двух основных типов агрегатов при акустической коагуляции субмикронных частиц

За 2 *сек* медианный размер частиц увеличивается на порядок; более чем в 20 раз уменьшается содержание трудноулавливаемой мелкой фракции размером до 1 *мкм*. Размеры частиц в процессе акустической коагуляции растут при сохранении общего нормальнологарифмического закона распределения. Отсутствует какое-либо селективное воздействие звуковых колебаний на коагуляцию отдельных фракций.

Полученные многочисленные микрофотографии отдельных агрегатов позволили прямым способом оценить действительную плотность ρ агрегатов, образующихся при акустической коагуляции. Для этого в каждом агрегате подсчитывалось число частиц, их размер и габаритный размер каждо-



Фиг. 3. Дисперсное распределение частиц аэрозоля конвертерного производства до воздействия звука: (*1* — распределение по счету, *2* — по весу) и после акустической коагуляции на частоте 1300 *гц* при звуковом давлении 900 $H/м^2$: *3*, *4* и *5* — распределение частиц по весу при времени озвучивания 1,3, 1,6 и 2 *сек* и начальной концентрации соответственно 8,4; 9,6 и 8,2 $г/м^3$



Фиг. 4. Изменение относительной плотности агрегатов с ростом размеров при акустической коагуляции

го агрегата с последующим определением истинного веса и действительной плотности ρ агрегата.

Несмотря на разнообразие структуры и форм агрегатов (фиг. 4), четко просматривается закономерность линейного уменьшения действительной плотности агрегата с ростом его размеров. Плотность агрегата может на порядок и даже на два порядка отличаться от истинной плотности материала исходных частиц, что существенно изменяет подвижность агрегатов и параметры их колебательного движения. Это важное обстоятельство необходимо учитывать при любых расчетах, связанных с акустической коагуляцией.

ЛИТЕРАТУРА

1. *В. А. Беленький, Н. Г. Брагинец, А. Е. Прихоженко, В. И. Тимошенко, Т. Я. Федорук.* Опыт применения акустической коагуляции аэрозоля при промышленном электроосаждении мартеновской пыли. Промышленная и санитарная очистка газа, 1974, 1, 5–8.
2. *V. I. Timochenko.* Interaction hydrodynamique des particules dans le champs accoustique de grande amplitude. J. Phys., 1972, *33*, 11–12, 252–257.
3. *V. I. Timochenko, V. A. Belenjkii, T. J. Phedorouk.* Cinetique de coagulation acoustique des aerosols industriels. VIII Inter. Congr. on Acoust., London, 1974, p. 429.
4. *В. И. Тимошенко.* К вопросу о расчете скорости взаимного гидродинамического дрейфа аэрозольных частиц в мощном звуковом поле. Акуст. ж., 1971, *17*, 1, 133–137.
5. *В. А. Беленький, В. И. Тимошенко, Т. Я. Федорук.* К вопросу о выборе оптимального режима процесса акустической коагуляции аэрозолей. Акуст. ж., 1973, *19*, 2, 279–280.

Таганрогский радиотехнический институт
им. В. Д. Калмыкова

Поступила
15 апреля 1975 г.