

**ИЖЖ. С. БАЛАНШИН.**

---

**ИССЛЕДОВАНИЕ  
КРУПНОСТИ ПРОДУКТОВ**

---

---

**ТОМСК  
1929**

## **Исследование крупности продуктов.**

### **1. Введение.**

Когда автор в 1923 году наметил произвести исследование работы мукомольных жерновов, которые и в настоящее время еще очень широко применяются для получения из зерна муки (в СССР на жерновах перемалывается больше, чем на вальцах), перед ним встал вопрос об объективном определении крупности сначала муки, а потом и вообще сыпучих продуктов.

Выяснилось, что понятие о крупности сыпучих продуктов и особенно муки, как это не странно, до сих пор являлась довольно индивидуальным, расплывчатым и неопределенным. Одну и ту же муку в разных районах и в разное время называют то крупной, то средней и мелкой. Вообще, отсутствовали стандартизованные научные методы определения крупности сыпучих продуктов (особенно муки) и не было аппаратов для практического ее определения и фиксирования.

Проработав более четырех лет по вопросу разработки методов и приемов определения крупности, автору, после массы опытов и ряда улучшений, удалось сконструировать для этой цели специальный аппарат (гранометр), механически фиксирующий крупность в виде кривой и установить некоторые стандарты.

Нижеприводимая краткая выдержка из работ автора имеет целью познакомить с главнейшими проделанными автором опытами и достигнутыми им результатами.

Автор сознает, что вопрос определения крупности сыпучих тел является вопросом очень большим и что его работа является только частицей того, что предстоит еще сделать в этом отношении, но полагает, что разработанные им методы и сконструированные им приборы могут послужить основной базой при дальнейшей научной разработке вопроса.

Автор не может здесь не отметить, что кропотливую работу по производству массы опытов для установления основных положений и выводов ему удалось провести только благодаря помощи студентов-мукомолов В. Бубнова и Нечаева, которым автор выражает здесь самую искреннюю благодарность.

### **2. Крупность продуктов, ее значение, определение, неопределенность классификации ее и пр.**

Крупность продуктов, вырабатываемых в целом ряде производств, как, например, мукомольном, цементном, крахмальном и т. п. имеет очень большое значение.

Для определения крупности до сих пор применяли обычно метод характеристики крупности продукта в зависимости от того, через какое сито он просеялся (получился проходом) и с какого сита сходом. При этом номера мелких металлических сит обычно определяются числом ниток в англ. дюйме, а для шелковых сит, применяемых в мукомольном деле, применяется особая нумерация.

Но такое определение крупности, несомненно, очень не точно и совершенно не дает о ней наглядного представления.

Прежде всего, при одном и том же числе ниток в дюйме, вследствие различной толщины проволок, величина пролетов может быть очень различной, изменяясь \*) иногда в 5—6 раз. Таким образом, это определение крупности очень расплывчато и не точно. Кроме того, если даже эти предельные наибольшие пролеты сит, через которые продукт просеялся, и наименьшие, с которых он получился сходом, были раз навсегда стандартизированы, то самый продукт по структуре своей и размерам частиц может быть очень разнородным, и этим методом является совершенно невозможным более точно и наглядно сравнивать сыпучие продукты по крупности.

Принимая вышеуказанные соображения во внимание, автор, после четырех-летней работы по этому вопросу, сконструировал специальный аппарат для определения крупности, названный им грано-метром, или для муки—фаринограно-метром.

Но прежде, чем переходить к описанию устройства и работы этого аппарата, необходимо остановиться на методах определения крупности при помощи набора сит вообще, на применении кривых крупности и впервые введенного автором понятия коэффициента крупности.

### Методы определения крупности набором сит и графическое изображение ее кривыми крупности. Коэффициент крупности и пр.

Если мы возьмем набор сит, расположенных одно над другим и подобранных так, что пролеты их уменьшаются, начиная от верхнего к нижнему (с известной закономерностью) и просеем на них какой-нибудь продукт, то в общем случае на всех ситах останется некоторое количество продукта, которое просеялось через предыдущие сита, но не просеялось через данное сито.

Проведя ряд ординат соответственно числу взятых для опыта сит и откладывая на них отрезки, соответственные количеству продукта, оставшегося непросеявшимся на каждом сите, мы получаем ту или иную кривую, которая называется кривой крупности.

При этом обычно применяется „весовой метод“, т. е. ордината откладывается пропорционально количеству продукта, оставшегося не просеянным, по весу. Но если эти остатки привести к одинаковой плотности, то можно применить и „объемный метод“, откладывая ординаты пропорционально объемам оставшегося непросеянным на ситах продукта.

Очевидно, что чем крупнее продукт, тем более останется его на крупных ситах и кривая будет носить характер с падением ее (если слева направо откладываются ординаты, соответственные крупным

\*) См. специальную работу автора: С. Балакшин.—Исследование мельничных сит.

ситам); на рисунке № 1 кривая а в. Если же продукт мелкий, то кривая будет с подъемом (с d).

Однако, хотя кривая крупности и дает уже представление о структуре продукта и по ней до некоторой степени уже можно судить и о крупности его, но вследствие, обычно, значительной извилистости этих кривых, сравнивать по ним крупность различных продуктов все-таки довольно затруднительно.

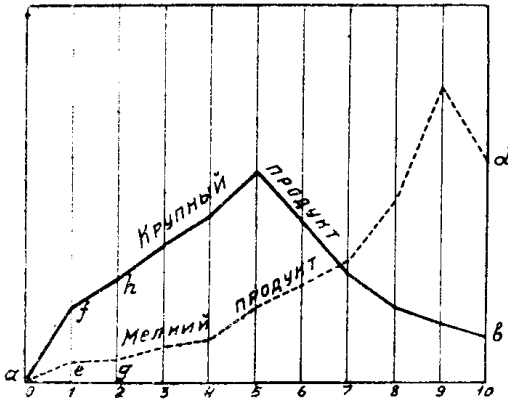


Рис. 1. Кривые крупности различных продуктов.

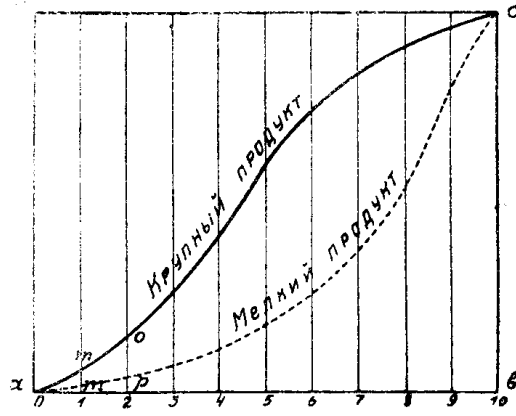


Рис. 2. Куммулятивные кривые крупности для различных продуктов.

В виду этого строят обычно еще так называемую интегральную или куммулятивную (суммарно-сборную) кривую крупности.

Куммулятивная кривая крупности получается, если откладывать ординаты, получаемые последовательным суммированием ординат обыкновенной кривой крупности. Таким образом, каждая ордината куммулятивной кривой крупности показывает, сколько осталось бы непросеянным продукта на данном сите, если бы до него не было более крупных сит.

Так, на рис. 2 изображены две куммулятивные кривые крупности, соответственные для крупного и мелкого продукта соответственно кривым крупности, изображенным на рис. № 1. Ордината 2 куммулятивной кривой продукта на рис. № 2 соответствует ординате еf кривой крупности рис. № 1, ордината 3—сумме ординат кривой крупности 1 и 2 (рис. 1), т. е.

$$o p \text{ (на рис. № 2)} = c f + g h \text{ (на рис. № 1) и т. д.}$$

Куммулятивная кривая крупности дает вполне определенное представление, как о крупности продукта, так и о структуре его и куммулятивные кривые крупности, построенные для продуктов разной крупности, дают возможность легко сравнивать крупность их между собою.

Ясно, что ординаты кривой крупности и куммулятивной возможно откладывать пропорционально весу или об'ему оставшегося на ситах непросеянным продукта.

Необходимо отметить, что при применении об'емного метода, хотя для опыта и берется одинаковое количество продукта по весу и продукт, оставшийся непросеянным на отдельных ситах и может быть приведен почти к однородной плотности, но обычно общая высота куммулятивных кривых получается различной, и для того,

чтобы их сделать сравнимыми, приходится приводить их к определенной высоте (см. ниже инструкцию по обработке опытов с фарингранометром).

Приведя тем или иным способом куммулятивные кривые крупности разных продуктов к одной высоте, крупность продукта будет характеризоваться тогда площадями, ограниченными этими кривыми.

Выше уже было указано, что чем крупнее продукт, тем больше будут первоначальные ординаты приведенной к определенной высоте куммулятивной кривой, то есть тем больше будет относительно занимаемая площадь.

Автор предлагает отношение занимаемой куммулятивной кривой площади  $aosb$  (рис. 2) ко всей площади прямоугольника  $abcd$ — называть коэффициентом крупности продукта, или просто крупностью продукта.

Так как куммулятивные кривые для однородных продуктов носят одинаковый характер, то это дает возможность очень удобно сравнивать их между собою.

Понятно, что этот коэффициент будет всегда меньше единицы и для одного и того же продукта будет постоянным только для определенного постоянного набора сит. Для принятого автором набора сит (см. ниже) коэффициент крупности, например, получился:

Для сахарного песка . . . . .	$\eta = 0,925$
Для пшеничной муки . . . . .	$\eta = 0,460$
Для картофельного крахмала . . . . .	$\eta = 0,110$
Для цемента . . . . .	$\eta = 0,070$

Применявшееся до настоящего времени определение крупности просеиванием определенного количества продукта через тот или иной стандартной набор сит, со взвешиванием остатков, оставшихся на каждом сите, и построением затем кривых крупности, требовало массы времени и являлось очень неудобным. Это и побудило автора заняться разработкой придуманной им конструкция аппарата, так называемого Гранометра.

### 3. Новый аппарат для определения крупности. Гранометр С. Балакшина.

#### Устройство гранометра.

Сконструированный автором гранометр состоит из разсевка (Рис. 4— сита  $A, A$ ) с набором сит (рис. 3, фиг. В), расположенных одно над другим, причем пролеты сит, начиная сверху вниз уменьшаются с известной закономерностью.

Величина пролетов и сит берется в зависимости от исследуемых продуктов.

Каждое сито имеет сбоку выходное отверстие  $M$ , закрывающееся специальной крышкой  $H$ .

Отвесив на весах (рис. 3, фиг. А) определенное количество испытуемого продукта (обычно 9—20 грамм), который перед этим тщательно перемешивается, и закрывши боковые выхода  $M$  из сит, всыпают отвешанное количество на верхнее сито и помещают весь этот набор сит в специальное приспособление для просеивания, приводимое в движение механически (или сеют вручную), в котором и ведут просевание до тех пор, пока просевание продукта с одного сита на другое не прекратится (обычно 15 минут).

Когда просевание окончено, то открыв задвижку,  $M$  закрывающую боковые выхода с отдельных сит, прикладывают к разсевку часть

К статье инж. С. Балакшина „Исследование крупности продуктов“.

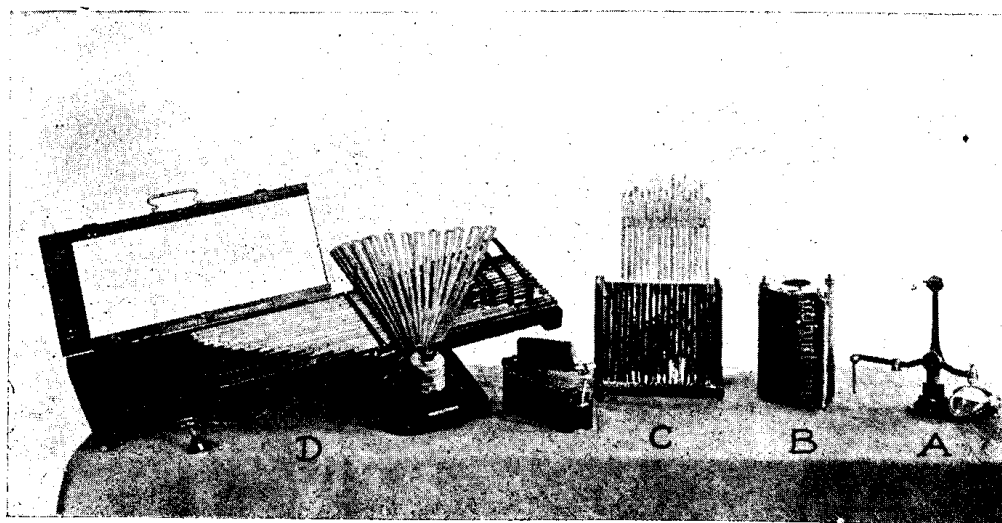


Рис 3. Гранометр С. Балакшина для определения крупности продуктов.

аппарата, так называемый курвиметр (см. рис. 5) состоящий из пластины П, в которую врезаны ряд перегородок С\*), перекрытых спереди стеклом, С при чем отделения этих перегородок Р как раз соответствуют боковым пролетам сит\*\*).

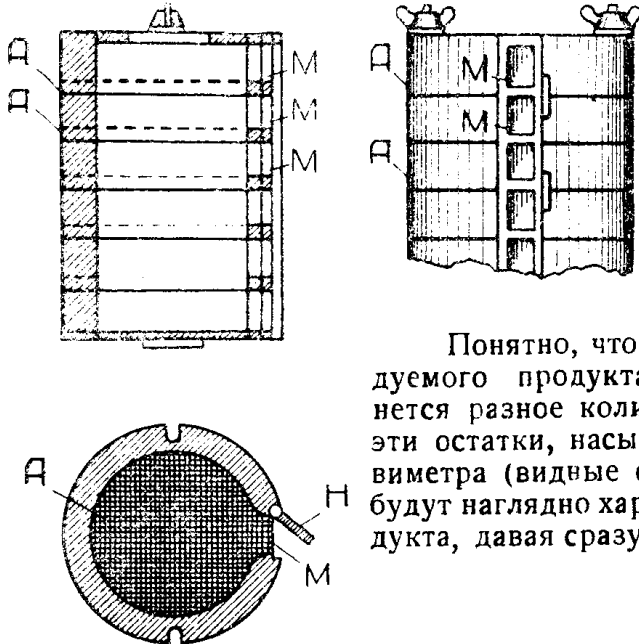


Рис. 4 Набор сит (разсевка) Гранометру.

Для приведения этой кривой к нормальному виду и механического фиксирования ее имеется у прибора следующее приспособление. После того, как оставшийся на отдельных ситах непросеянный продукт пересыпан, как это описано выше, в соответственные отделения курвиметра, в каждое из этих отделений Р (рис. 5). вставляется специальный столбик В, снабженный в верхней своей части острым небольшим штифтом Г. Понятно, что эти столбики, опираясь на насыпанный в отделения курвиметра продукт, также расположатся по кривой крупности. (рис. 5.)

Так как отсеянный продукт насыпается в отделения курвиметра с неравномерной плотностью, то для получения приведенной постоянной кривой, как показали опыты, его нужно привести к одинаковой плотности—уплотнить.

Повернув затем набор сит с приложенным к ним курвиметром на 90°, то есть приведя их в вертикальное положение, постукиванием по курвиметру, заставляя продукт, оставшийся непросеянным на каждом сите, высыпаться в соответственное отделение курвиметра.

Понятно, что согласно крупности исследуемого продукта, на отдельных ситах останется разное количество его непросеянным и эти остатки, насыпавшиеся в отделения курвиметра (видные сквозь переднее стекло его), будут наглядно характеризовать крупность продукта, давая сразу грубо кривую крупности его.

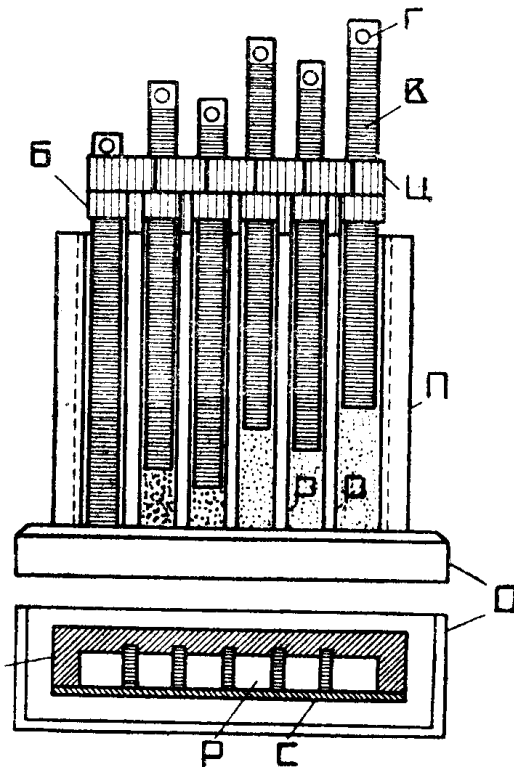


Рис. 5 Курвиметр для Гранографа.

\*) Во избежание недоразумения должны отметить, что в чертеже число перегородок курвиметра для простоты сокращено до 6 в то время, как на рисунке их 15.

\*\*\*) Вместо этого может быть применен ряд стеклянных трубок соответственно отделениям сит.

Для этой цели служит следующая часть прибора, так называемый, „уплотнитель“.

Уплотнитель, (см. рис. 6) состоит из доски с рядом перегородок, между которыми могут передвигаться штифты, опирающиеся каждый на пружину Д (при этом штифты расположены на таких же расстояниях, как и столбики в курвиметре)

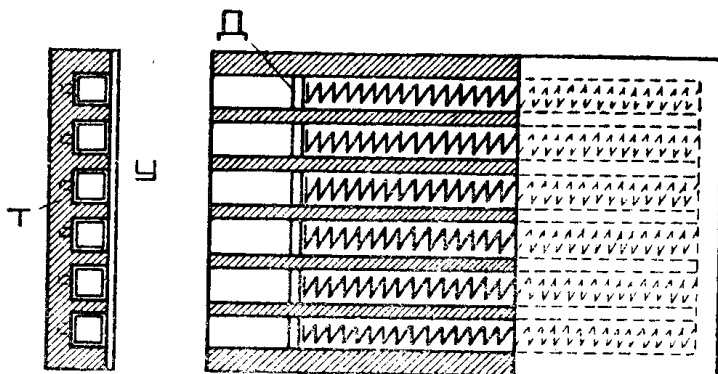


Рис. 6 Уплотнитель Гранографа.

каждый столбик его, опираясь на соответственный штифт, сжимал пружину и этим уплотнил находящийся под ним продукт.

После такого уплотнения столбики курвиметра (и штифты на них) расположатся по кривой крупности. Кривая эта может быть затем фиксирована прижиманием к острым штифтам столбиков курвиметра бумаги, на которой они и прокалывают точки ее, для чего пользуются следующей частью аппарата—Гранографом (описанном ниже).

Кривая крупности с первого же взгляда на нее дает ясное представление о крупности продукта, показывая не только его сравнительную крупность, но и вполне ясно характеризуя строение продукта: указывает из каких элементов по крупности он состоит (см. Рис. 5). Здесь видно расположение нижних и верхних концов штифтов по кривой крупности.

Для фиксирования кривой крупности автором сконструирован специальный аппарат, так называемый „гранограф“. (См. рис. 7).

Гранограф состоит из двух частей, соединенных между собою шарнирами, т. е. одна часть может поворачиваться относительно другой на подобие корешков книги, при чем одна из них имеет приспособление для зажимания бумаги, на которой отпечатываются кривые крупности, а другая—ряд перегородок для помещения столбиков курвиметра.

Вложив бумагу и приложив курвиметр ко второй половине гранографа так, чтобы столбики его расположились в соответственный отдел перегородок—поворачиванием крышки гранографа, прижимают бумагу и тогда штифты Г столбиков курвиметра прокалывают на ней точки кривой крупности. (См. рис. 7—слева).

Для получения куммулятивной кривой крупности, на столбиках курвиметра устроены специальные передвижки Б, (См. рис. 8) снабженные пружинами, задерживающими их на столбиках В в любом положении. Передвижки имеют пластинки Ц (откидывающиеся на шарнире) такой длины, что они могут опираться за штифт соседнего столбика, когда столбики вставлены в курвиметр.

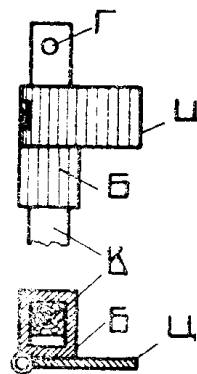


Рис. 8 Передвижки на столбиках курвиметра.



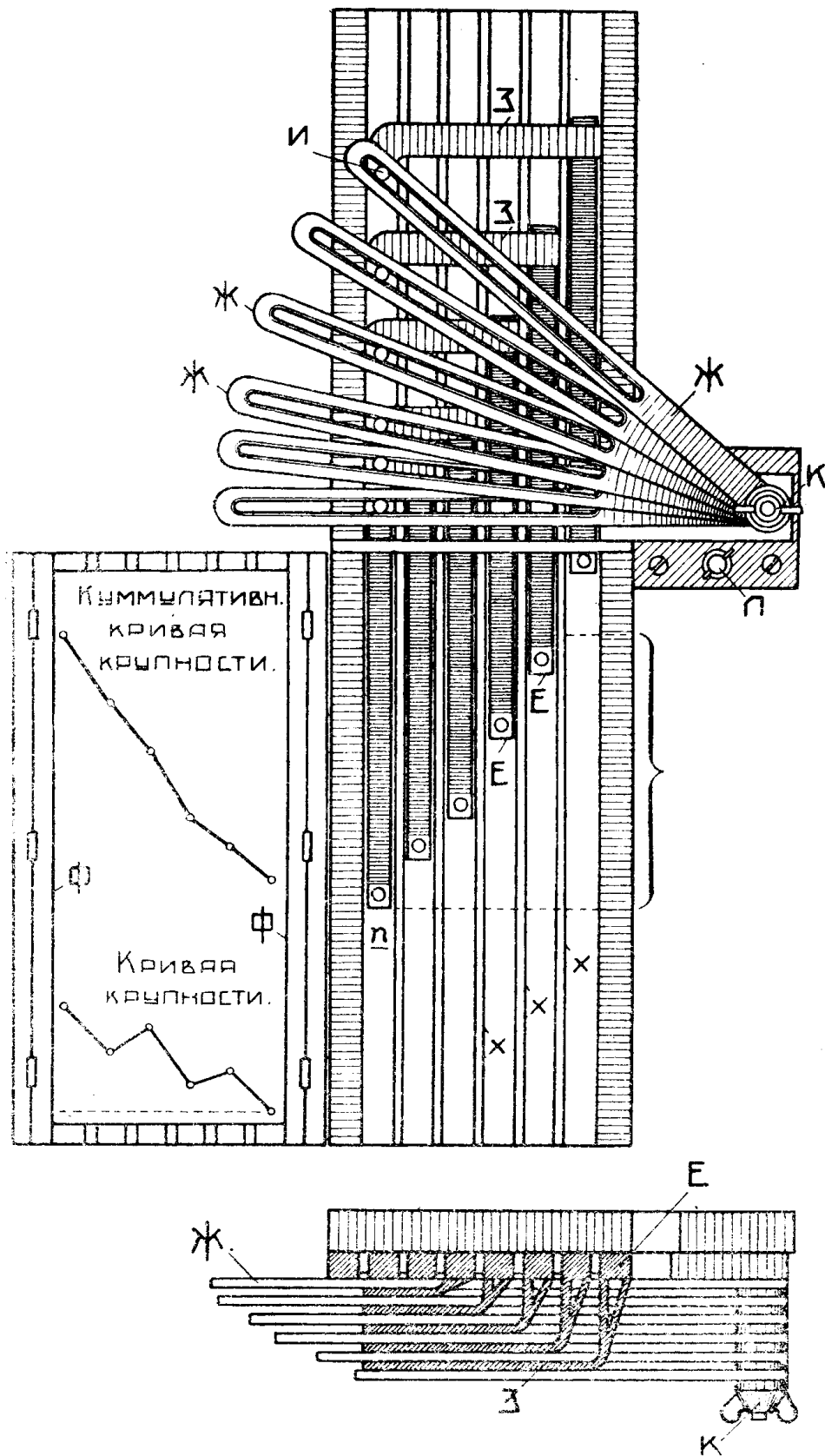


Рис. 7 Гранограф с редуктором для гранометра С. Балакшина.

Когда произведено, как выше указано, уплотнение продуктов в курвиметре и столбики его расположились по кривой крупности, то передвигают на них вышеупомянутые передвижки так, чтобы передвижка крайнего левого столбика курвиметра прижималась верхней частью пластины к штифту этого столбика, а остальные передвижки расположились при этом против нее перпендикулярно столбикам по прямой линии. При этом расстояние от передвижки до штифта каждого столбика будет соответствовать высоте ординаты кривой крупности.

Когда столбики курвиметра вложены в гранограф и кривая крупности проколота, то левую половину его с бумагой отклоняют и выдвигают все столбики из курвиметра в гранограф (удаляя курвиметр) так, чтобы установленные ранее передвижки (см. выше) последовательно касались штифта соседнего столбика (первый столбик перегородкой  $n$  (см. рис. 7) задерживается при этом всегда в определенном положении)—тогда столбики расположатся по куммулятивной кривой крупности испытываемого продукта (см. рис. 7 справа и рис. 3—Д).

Высота полученной таким образом куммулятивной кривой, вследствие того, что даже при одинаковой навеске трудно получить одинаковую плотность отсеянных частей продукта, в отделениях курвиметра получается различной, и это не дает возможности как нами было объяснено выше, сравнивать между собою наглядно крупность испытываемых продуктов.

Принимая это во внимание, пришлось еще снабдить гранограф специальным „редуктором“.

Редуктор (см. Рис. 7 и Рис. 3 фиг. Д). состоит из ряда столбиков на подобие тех, что имеются у курвиметра, только со штифтами  $E$  внизу.

Столбики эти могут передвигаться между перегородками вдоль гранографа.

Каждый из столбиков снабжен на конце перпендикулярно укрепленной к нему поперечиной  $Z$  (см. рис. 7) со штифтовым выступом  $I$ , который может скользить в прорезе соответственного рычага  $J$ . Все эти рычаги насажены на общую ось  $K$  (справа от аппарата) которая в свою очередь может перемещаться в направлении, перпендикулярном к столбикам гранографа.

После того, как столбики курвиметра расположены в гранографе по куммулятивной кривой, их закрепляют в этом положении специальной задвижкой и подводят к ним вплотную передвижные столбики редуктора (ось  $K$  рычагов его при этом в крайне правом положении).

Когда столбики редуктора заняли это положение, рычаги закрепляют на оси завертыванием барашка (рис. 8) зажимного винта (справа).

После этого столбики курвиметра удаляют; ставят гранограф в вертикальное положение и постепенным передвижением влево оси рычагов  $K$  редуктора, при помощи скользящих в вырезах их штифтов столбиков редуктора, передвигают последние вниз до тех пор, пока правый крайний столбик его (рис. 7) своим нижним острым штифтом не достигнет фиксированной раз навсегда определенной общей высоты редуцированной куммулятивной кривой крупности. Нижние штифты столбиков гранографа расположатся тогда по этой кривой, и остается только произвести отпечаток ее проколом на бумаге, заложенной в левой половине гранографа, которую прижимают на время к правой; на фиг. 7 и на рис. 3 фиг. Д показаны куммулятивные кривые, как они получаются отпечатанными на бумаге.

#### 4. Ситовой набор гранометра.

Понятно, что в зависимости от величины частиц продуктов, крупность которых желают определять, должны быть соответственным образом подобраны наборы сит, при чем ясно, что один и тот же набор может применяться для исследования различных более или менее однородных по величине частиц продуктов (например: песок, мука, порох и т. д.).

Мы не будем здесь подробно останавливаться на подборе сит; укажем здесь только общие основания для их подбора.

Опыт показал, что обычно вполне достаточно 15-ти сит. Из них самое крупное должно быть выбрано из расчета, чтобы через пролеты его, размерами  $b_1$ , проваливались самые крупные частицы исследуемого продукта; самое же мелкое с такими пролетами  $b_n$ , чтобы они отделяли по возможности наименьшие частицы.

Отношение величины пролета  $b_n$  более редкого сита к величине пролета соседнего с ним более частого сита  $b_{n+1}$  — (т. е.  $b_n > b_{n+1}$ ) называется обычно модулем  $M$  — ситового набора.

Отношение это  $M$  может оставаться или постоянным или изменяться.

Наши опыты исследования муки и некоторых других сыпучих тел показали, что очень рациональным бывает принимать  $M = \text{Const}$  постоянным.

При этом как легко вывести, получаются следующие зависимости:

$$M = \frac{b_1}{b_2} = \frac{b_2}{b_3} = \frac{b_3}{b_4} \quad \text{т. д.} = \frac{b_{n-1}}{b_n} = \text{Const}$$

откуда

$b_1 = b_2 \cdot M$ ;  $b_2 = b_3 \cdot M$ , или, подставляя из предыдущего уравнения имеем  $b_1 = b_3 \cdot M^2$  также  $b_1 = b_4 \cdot M^3$ .

Или при наборе из 15 сит, при чем пролет самого мелкого пусть будет  $b_{15}$ , получим:

$$b_n = b_{15} M^{(15-n)} \quad \dots \dots \dots (1)$$

откуда  $\lg b_n = \lg b_{15} + (15-n) \lg M \quad \dots \dots \dots (2),$

т. е., например, пролет сита № 5 (считая за № 1 сито с самыми большими пролетами), будет:

$$b_5 = b_{15} M^{(15-5)} \quad \dots \dots \dots (3)$$

Для исследования муки \*) нами принят следующий набор сит (этот набор может с успехом применен и для исследования других сыпучих продуктов на подобие муки, как, например, крахмал, соль, зубной порошок, песок, порох и т. п.).

В основу набора положены самое мелкое мучное шелковое сито № 25 с пролетом  $b_{15} = 29$  тыс. мм. и самое крупное металлическое (12 ниток в 1'') с пролетом 1620 тыс. мм.

Отсюда определена величина постоянного модуля  $M$  из

$$\begin{aligned} \lg b_1 &= \lg 1620 = 3,20952 \\ \lg b_{15} &= \lg 29 = 1,46240 \end{aligned}$$

Разность 1,74712

откуда  $\lg M = 1,74712 : 14 = 0,124794$  и  $M = 1,3627$ .

\*) См. С. Балакшин. Исследование крупности муки фариногранометром,

Величина пролетов и подходящие сита подобраны по формуле (1). Так, например, пролет сита № 10 определится из уравнения (2).

$$\lg b_{10} = \lg b_{15} + (15-10) \lg M = 1,46240 + 5 \cdot 0,124794 \text{ или } \lg b_{10} = 2,08635 \text{ и } b_{10} = 122 \text{ тыс. мм.},$$

а самым ближайшим, подходящим явится сито № 12 с пролетом  $b = 116$  тыс. мм.

Таблица № 1.  
Ситовой набор фариногранометра  
С. Балакшина.

При условии модуль $M = 1,3627$ $\lg = 0,24724$			Принятые в наборе сита									
№ сита наб.	Един. прол.	Прол. в тыс. мм	Номера сит		Число ниток			Величина про- летов в тыс. мм.	Модуль	Разность против про- летов $M = 1,32227$		
			Крупоч- ные	Мучные	В 1 см.	В ан- дюйме	В вершке			Тыс. мм.	%	
1	3,20952	1620								0	0	
2	3,08470	1215							1,385	-45	3,8	
3	2,95691	911							1,255	+23	2,5	
4	2,83512	684	32							1,628	-11	1,9
5	2,71033	513								1,152	-14	2,8
6	2,58554	385								1,310	- 5	1,3
7	2,46075	289		4						1,360	- 9	3,2
8	2,33595	217		7						1,335	- 7	3,0
9	2,21114	163	9						1,290	0	0	
10	2,08635	122	12						1,292	- 6	0,5	
11	1,96156	92	14						1,250	+ 1	1,0	
12	1,83677	69	16						1,329	+ 1	1,4	
13	1,71198	52	19						1,342	0	0	
14	1,58719	39	22						1,300	+ 1	2,5	
15	1,46240	29	25						1,379	0	0	

В горном деле Северной Америки, обычно, применяется набор сит системы Тейлора и в Англии серия сит Института Горного Дела и Металлургии.

1) Серия сит Тейлора Tyler Standart Sereen Scale изготовляемой W. S. Tyler Co Cleveland Ohio N. S. A. имеет постоянный модуль  $m = \sqrt{2} = 1,414$  или так как сита имеют квадратные отверстия, то площадь отверстия каждого последующего сита в  $(\sqrt{2} \times \sqrt{2} = 2)$  два раза более площади отверстия предыдущего сита.

Всего набор имеет 18 сит. За основное отверстие взято отверстие сита 200 ниток в 1''  $b = 0,029$  дюйма (0,074 мм.).

Из таблицы видны размеры отверстий и толщина проволоки остальных сит.

Таблица № 2.  
Серия нормальных сит Tyler'a.

№	Величина пролета сит $b$		Число отверстий в линейном дюйме	Диаметр проволоки в дюймах	Обратный №	Примечание
	В дюймах	В миллим.				
1	1,050	26,67	—	0,149	18	Отношение размеров (стороны) отверстий: Через одно сито 2 : 1 Через два сита 3 : 1 Через три сита 4 : 1 Отношение площадей пролетов соседних сит 1 : 2
2	0,742	18,85	—	0,135	17	
3	0,525	13,33	—	0,105	16	
4	0,371	9,423	—	0,092	15	
5	0,263	6,680	8	0,070	14	
6	0,185	4,699	4	0,065	13	
7	0,131	3,327	6	0,036	12	
8	0,093	2,362	8	0,032	11	
9	0,065	1,671	10	0,035	10	
10	0,046	1,168	14	0,025	9	
11	0,0328	0,833	20	0,0172	8	
12	0,0232	0,589	28	0,0125	7	
13	0,0164	0,417	35	0,0122	6	
14	0,0116	0,295	48	0,0092	5	
15	0,0082	0,208	65	0,0072	4	
16	0,0058	0,147	100	0,0046	3	
17	0,0041	0,104	150	0,0026	2	
18	0,0029	0,074	200	0,0021	1	

2) Серия сит Института Горного Дела и Metallургии в Лондоне (Institute of Mining and Metallurgy) или сокращенно I. M. M.

Здесь в основу серии положено следующее:

1) отверстия квадратные; 2) в каждом сите диаметр проволоки равен диаметру отверстия; 3) живая просеивающая площадь сита составляет 25% от общей его площади; 4) произведение числа отверстий в каждом сите на диаметр отверстия—величина постоянная, равная 0,5.

Если  $x$ —число отверстий в линейном дюйме  
 $y$ —диаметр отверстия, то

$$xy = 0,5, \text{ откуда } y = \frac{0,5}{x}$$

Например, 100 ниток в 1'', то  $y = 0,005'' = 0,127$  и 5) Модуль не постоянен и изменяется от 1,258 до 1,33.

Таблица № 3.  
Серия нормальных сит по I. M. M.

№	Число отверстий в линейном дюйме	Диаметр проволоки		Диаметр отверстия		Живое сечение или сеющая площадь в %	Обратн. №
		Дюймов	Миллим.	Дюймов	Миллим.		
1	5	0,1	2,54	0,1	2,54	25,0	17
2	8	0,063	1,60	0,062	1,574	24,6	16
3	10	0,050	1,270	0,050	1,270	25,0	15
4	12	0,0417	1,059	0,0416	1,056	24,92	14
5	16	0,0313	0,795	0,0312	0,792	24,92	13
6	20	0,025	0,635	0,025	0,635	25,0	12
7	30	0,0167	0,424	0,0166	0,421	24,8	11
8	40	0,0125	0,317	0,0125	0,317	25,0	10
9	50	0,01	0,254	0,01	0,254	25,0	9
10	60	0,0083	0,211	0,0083	0,211	24,8	8
11	70	0,0071	0,180	0,0071	0,180	24,7	7
12	80	0,0063	0,160	0,0062	0,157	24,6	6
13	90	0,0055	0,139	0,0055	0,139	24,5	5
14	100	0,005	0,127	0,005	0,127	25,0	4
15	120	0,0041	0,104	0,0042	0,107	25,4	3
16	150	0,0033	0,084	0,0033	0,084	24,5	2
17	200	0,0025	0,063	0,0025	0,063	25,0	1

Недостатком этой системы сит является слишком толстая проволока и слишком малое живое сечение сит.

Кроме вышеуказанных применяются еще серии с модулями  $3\sqrt[4]{3}$  или  $\sqrt[4]{2}$  и другие, но уже сравнительно редко.

Несомненно, что в зависимости от рода исследуемого продукта и предъявляемых к исследованию требований возможно применять тот или иной набор сит.

## 5. Исследование крупности продукта гранометром.

При производстве исследования крупности различных продуктов гранометром выявились некоторые особенности работы его, приводимые нами ниже.

### Получение однородных кривых крупности.

Получение для одного и того же продукта всегда однородных кривых потребовало у автора много месяцев напряженной работы и устранения всех факторов, влияющих на форму этих кривых.

Кроме вышеописанного приспособления для уплотнения просеянных продуктов в отделениях курвиметра потребовалось выявить и устранить влияние: 1) засорения сит, 2) продолжительности и способа (со встряхиванием и проч.) просеивания, 3) влажности продукта.

### 1) Засорение сит.

При опытах вскоре выяснилась необходимость механической очистки сит.

После испытания очистки сит помещением на них некоторого количества зерен пшеницы (как это применяется в мельничных рассевах) окончательно был принят, дающий наибольшие результаты, способ очистки сит при помощи обтянутых резиной небольших свинцовых грузиков, укрепленных на цепочках.

### 2) Продолжительность и способ просеивания.

Анализируя изменение кривых в зависимости от способа просеивания (вручную или механически, со встряхиванием или нет) и времени его, опыты показали, что при применении вышеуказанных механических очистителей сит встряхивания аппарата во время просеивания не требуется; кривые получаются всегда однородные, если продолжительность просеивания, как показали опыты, не менее 15 минут.

На рис № 9 видно наглядно, как изменяется куммулятивные кривые крупности в зависимости от продолжительности просеивания.

На рис. № 9 видна предельная кривая, получаемая при 15 минутном просеивании.

Опыты с просеиванием более продолжительное время, как, например 20—25 минут, показали, что получаются кривые, аналогичные 15-ти минутной, то есть истирание продукта в аппарате не наблюдается.

### 3) Влияние влажности продукта на кривую крупности.

В этом отношении автором были проделаны опыты с мукой. Опыты с определением несколько влажной и сильно просушенной муки дали кривые, очень мало отличающиеся одна от другой (см. рис. 10), но, конечно, для опытов более точных желательно продукты испытывать, по возможности, просушенной до нормальной для большинства сыпучих продуктов на воздухе влажности в 10—14%.

### Сравнение объемной кривой, получаемой на гранометре, с весовой кривой.

Как уже выше было указано, до сих пор наиболее распространенный способ анализа крупности состоит в построении кривых крупности по весу продукта, остающегося на каждом из сит применяемого ситового набора.

Гранометр дает кривые крупности, соответствующие объемам этих остатков (объемные кривые).

Было, конечно, очень интересно сравнить, насколько даваемые гранометром объемные кривые отличаются от принятых весовых кривых. Для этого нами проделаны ряд опытов, которые показали, что благодаря применению „уплотнителя“, разница получается настолько незначительная, что для целей практики ею можно пренебречь и считать получаемые гранометром объемные кривые за „весовые“.

Для того, чтобы выявить отличие объемных кривых гранометра, нами сделаны ряд опытов с продуктом сравнительно малого удельного веса (мука) и с продуктом большого удельного веса (цемент). Очень тщательно смешанный продукт был проанализирован сначала с полу-

чением кривой гранографом и второй раз—проба этого же продукта—просеиванием в рассевке гранометра и взвешиванием на точных весах остатков.

Полученные результаты (см. рис. 11 и рис. 12) показывают, как незначительна получилась разница куммулятивных кривых.

### Количество продукта, необходимое для определения крупности его гранометром.

Опыты показали, что для получения на гранометре кривых крупности различных продуктов, необходимо брать соответственное их количество по весу. При этом выяснилось, что таких продуктов, как мука, картофельный крахмал и проч. требуется при размерах аппарата, который применялся автором, 10 грамм, для сахарного песка 14 гр. и для цемента—20 гр

### Куммулятивные кривые крупности различных продуктов, получаемые гранометром.

После сотен опытов, произведенных автором, главным образом с разными сортами муки и, отчасти, разными сыпучими продуктами, удалось установить для них типичные кривые и коэффициенты крупности.

На рис. 13 приведены эти типичные куммулятивные кривые крупности, а в таблице № 4 даны значения полученных коэффициентов крупности для различных продуктов. Кривые эти не только дают наглядное представление о крупности, но и указывают, из каких отдельных частиц и какой крупности составляется продукт и сколько его в % проходит до определенного сита.

Так, например, из куммулятивной кривой для сахарного песка видно (из пересечения ее с вертикальными линиями, соответствующими номерам сит и соответственных горизонтальных линий в ‰), что:

На 2-м сите останется . . . . .	60‰
На 3-м „ „ . . . . .	30‰
На 4-м „ „ . . . . .	10‰

и, что далее 4-го сита сахарный песок не просевается.

Из кривой для цемента видно, что до 10-го сита он просевается весь и остается:

На 11-м сите . . . . .	1‰
На 12-м „ . . . . .	4‰
На 13-м „ . . . . .	10‰
На 14-м „ . . . . .	30‰
Проходом с 14-го . . . . .	55‰

Всего . . . . . 100‰

Таблица № 4

Коэффициент крупности различных продуктов, полученный гранометром.

1) Сахарный песок . . . . .	$\eta_1 = 0,925$
2) Манная крупа . . . . .	$\eta_2 = 0,700$
3) Пшенич. мука круп. помола . . . . .	$\eta_3 = 0,570$
4) Ржаная мука среднего размола . . . . .	$\eta_4 = 0,460$



5) Пшеничная мука среднего размола . . . . .	$\gamma_{75} = 0,410$
6) Пшеничная мука мелкого размола . . . . .	$\gamma_{66} = 0,350$
7) Ржаная мука мелкого размола . . . . .	$\gamma_{77} = 0,352$
8) Картофельный крахмал . . . . .	$\gamma_{88} = 0,110$
9) Цемент . . . . .	$\gamma_{99} = 0,070$
10) Зубной порошок . . . . .	$\gamma_{10} = 0,066$
11) Рисовая пудра . . . . .	$\gamma_{11} = 0,0526$

### Опыты определения крупности формовочного песка.

Автор делал опыты определения крупности формовочного песка до отливки и после отливки. При этом наглядно выяснилось распадаение его и увеличение количества мелких частиц. Это, несомненно, создает меньшую газопроницаемость песка и раковины при отливке. Добавка свежего песка вновь делает формовочный песок более газопроницаемым. Во всяком случае гранометр мог бы оказать здесь большую услугу, совершенно механически указывая на свойства формовочного песка (рис. 14).

## 6. Заключение.

Автор полагает, что насколько позволили размеры настоящей работы, им освещен вопрос исследования крупности продуктов, приведены применяемые при этом методы фиксирования ее и дано описание устройства и работы изобретенного им аппарата.

Автор полагает, что из всего вышеприведенного вполне определенно выявились:

Преимущества гранометра для определения крупности, против существовавших до сих пор способов, заключаются в том, что гранометр дает возможность не только механически получать наглядную кривую крупности, но и фиксировать ее графически. Гранометр дает возможность получать также фиксируемые кривые крупности, приведенные к определенной постоянной высоте, что в свою очередь дает возможность простым наложением их быстро и наглядно сравнивать между собою крупность различных продуктов.

Применение для гранограмм бумаги с напечатанной на ней специальной сеткой дает возможность быстро определять количество продукта в процентах, остающееся на каждом сите.

Опыты автора с гранографом показали, что получаемые с помощью его объемные кривые очень незначительно (десятые доли процента) отличаются от кривых крупности, получаемых методом взвешивания и аппарат обладает вполне достаточной для практики точностью, между тем, получение здесь этих кривых требует значительно меньшего времени.

При условии принятия определенного стандартного набора сит для определенного рода продуктов, пользуясь гранометром, возможно выражать крупность продукта в виде дроби.

Гранограф является особенно полезным в производствах продуктов, например: мукомольном (фариногранометр), цементном, пороховом, производстве зубного порошка, пудры, крахмала и т. п., давая возможность постоянного механического анализа и контроля крупности. Постоянный же анализ и контроль крупности, несомненно, дадут возможность своевременно вводить коррективы в производство

и выпускать продукты лучшего качества, так как крупность, помимо ее прямого значения, сильно влияет и вообще на качество продуктов.

В заключение можно отметить, что после многолетней работы автору удалось выработать аппарат, который, насколько ему известно, впервые дает возможность механически определять и фиксировать кривую крупности.

Понятно, что практикою будут введены дальнейшие усовершенствования и изменения гранометра, но и в настоящем своем виде он вполне пригоден для практического определения крупности и, несомненно, найдет широкое применение в лабораториях мукомольного и порохового дела, при выработке зубного порошка, пудры, картофельного крахмала и др. производствах, вырабатывающих мелкие сыпучие продукты.

---

# ИНСТРУКЦИЯ

для определения крупности продуктов гранометром  
инж. С. Балакшина.

## А. Подготовка к опыту.

1) Перед взятием пробы хорошо, тщательно перемещать продукт (иначе кривые крупности получатся не соответствующие средней крупности продукта).

2) Отвесить приведенное в табличке количество продукта.

Табличка навесок при определении крупности  
продукта.

№	НАИМЕНОВАНИЕ ПРОДУКТА	Навесок
1	Мука крупчатая 1 сорта . . . . .	10 гр.
2	" " 2 сорта . . . . .	10 гр.
3	" " 3 сорта . . . . .	10 гр.
4	" " 4 сорта . . . . .	10 гр.
5	Мука пшеничная раструсная . . . . .	10 гр.
6	" ржаная . . . . .	8 гр.
7	" пшенич. раструсная (без отрубей) . . . . .	10 гр.
8	" картофельная . . . . .	12 гр.
9	Мука сеянка (пшеничная) . . . . .	10 гр.
10	1-е дранье . . . . .	8 гр.
11	Крупа манная . . . . .	10 гр.
12	Крупка . . . . .	10 гр.
13	8-е дранье . . . . .	8 гр.
14	1-й передир . . . . .	9 гр.
15	Сахарный песок . . . . .	14 гр.
16	Цемент . . . . .	20 гр.

3) Тщательно осмотреть сита и стряхнуть, чтобы не было на них никакого остатка.

4) Наблюдать, чтобы задвижка плотно запиралась (не пропуская прохода продукта помимо сит).

5) Во избежание возможных ошибок при точном определении крупности каждого продукта производят не менее двух опытов и только если кривые носят одинаковый характер (совпадают), опыт считается правильным. В противном случае опыт повторяют до получения единообразных кривых.

6) Для выигрыша времени, пока происходит просевание, производят отпечатывание кривых предыдущего опыта.

## В. Производство опыта.

7) Всыпавши отвешанное количество продукта, вести просевание на механическом рассевке или вручную до тех пор, пока не будут

получаться однообразные кривые крупности (на что обычно требуется 15 минут).

8) Открывши у рассевка задвижку, берут его в правую руку отверстиями вверх в наклонном положении, левой рукой прижимают к нему курвиметр, наблюдая, чтобы входные отверстия сит совпадали с соответственными отделениями курвиметра. Поворачивают их, приводя курвиметр в нормальное положение и постукиванием по рассевку высыпают содержащиеся на ситах продукты в соответственные отделения курвиметра.

9) Вставивши в курвиметр столбики, осторожно устанавливают передвижки на них приблизительно в одну линию (отнюдь не нажимая при этом на продукт под палочкой), после чего курвиметр вставляется концами столбиков в уплотнительный (пружинный) аппарат и 3—4 движениями (до указанного предела) взад и вперед производится уплотнение продукта.

10) Когда столбики курвиметра ссели, не вынимая их из уплотнителя, надевают на них специальный зажим и, затягивая винт его, закрепляют их в этой позиции, после чего, применяя линейку, окончательно выравнивают находящиеся на них передвижки по прямой линии (таким образом, чтобы верх передвижек совпадал со штифтом столбика того отделения, где совершенно нет продукта).

11) Берут бумагу для отпечатывания кривых и сделав на ней отметки: номер опыта, дату, сорт муки, количество взятой для опыта муки по весу, время просеивания и проч. вставляют ее в левую часть гранографа обратной стороной (надписью к крышке гранографа) и прижимают ее специальными боковыми зажимами. Штифт редуктора должен находиться при этом в самом верхнем положении, ось же рычагов в самом крайнем правом положении.

12) Помещают курвиметр так, чтобы палочки его легли в соответственные места гранографа, причем штифт палочки, где нет продукта, должен соответствовать нулевой линии кривой крупности.

13) Отогнув затем крышку гранографа, выдвигают палочки с зажимом из курвиметра и освободив зажим, подвигают их осторожно по гранографу (распологаемому горизонтально) так, что они, касаясь передвижками последовательно каждая за выступающий штифт следующей, располагаются по куммулятивной кривой, после чего закрепляют их в гранографе в этом положении специальным зажимом.

14) Освободив зажим редуктора, продвигают осторожно палочки его к зажатым, в мертвом положении, палочками курвиметра (при этом передвижная ось, около которой поворачиваются рычаги редуктора, должна быть, как уже выше сказано, подвинута в крайнее правое положение).

Зажав затем винт ни оси рычажков редуктора, удаляют палочки курвиметра, вдвигая их в курвиметр следующего аппарата.

15) Придя гранограф в наклонное положение (придерживая его левой рукой) при легком сотрясении правой рукой, подвигают затем ось рычажков редуктора влево до тех пор, пока общая высота интегральной кривой не будет приведена к определенной постоянной величине, (что обозначено пометкой на аппарате)—после чего производят отпечатывание куммулятивной (интегральной) кривой, прижимая крышку гранографа с вложенной бумагой, чем и заканчивается опыт (винт рычажков освобождают и приводят все палочки редуктора в верхнее положение).

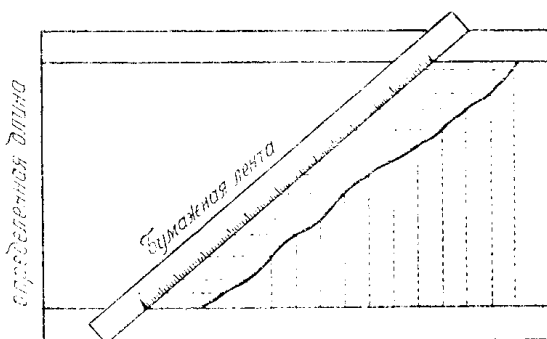
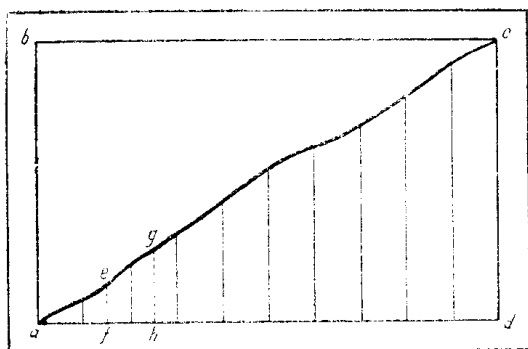
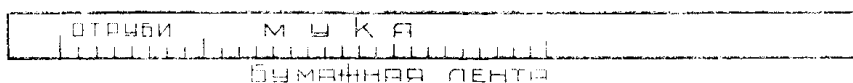
Так как после уплотнения продукт довольно сильно отпрессовывается в отделениях курвиметра, то после каждого опыта приходится вычищать эти отделения небольшой палочкой с волосянной щеточкой, для чего курвиметр поворачивается дном кверху.

### С. Вычерчивание куммулятивных кривых при отсутствии редуктора.

Если редуктора при гранографе не имеется, то производят, согласно инструкции, отпечаток, как обычной кривой крупности. Вычерчивание же куммулятивной кривой, приведенной к определенной высоте, производят следующим образом:

1) Взявши бумажную ленту (300 мм.  $\times$  15 мм.), наносят на нее сбоку, отмечая карандашом и последовательно добавляя, одну к другой высоту ординат полученной кривой крупности;

2) Бумажку с отметками ординат накладывают на миллиметровую бумагу, на которой проведены вертикальные линии соответственно ширине столбиков курвиметра и две горизонтальные линии на расстоянии принятой постоянной высоты, вычерчиваемой приводимой куммулятивной кривой наклонно таким образом, что крайние отметки на ней совпадают с этими предельными линиями (см. рисунок) и на пересечении горизонт. линий, проводимых из отметок на бумажки до вышеупомянутых вертикалей получают ряд точек редуцированной куммулятивной кривой.



### Д. Определение коэффициента крупности.

Коэффициент крупности определяется — планиметрируя площадь  $a b c d$  ограниченную куммулятивной кривой крупности и беря отношение ее ко всей площади прямоугольника  $a b c d$ .

Примечание 1. За неимением планиметра, возможно площадь определять умножением суммы высоты отдельных трапеций  $ef$ ,  $gh$  и т. д. на общую сумму оснований их  $ad$ .

Примечание 2. При наличии установленных для данного рода продукта стандартных куммулятивных кривых крупности возможно устанавливать крупность, накладывая полученную при опыте вычерченную на прозрачной бумаге куммулятивную кривую на стандартную.

**Е. Фариногранометр инж. С. Балакшина.**

Установленный цвет фаринограмм:

Белые:

Раструсная мука, сеянка (пшеничные) и разные продукты: цемент, сахар, порох, формовочный песок и пр.

Розовые:

Крупчатная мука и продукты крупчатных мельниц (дранье, передир, пыль и пр.).

Желтые:

Ржаная мука, гречневая, просянная и т. п.

---

Ист. инж. С. Ф. Балагузина.

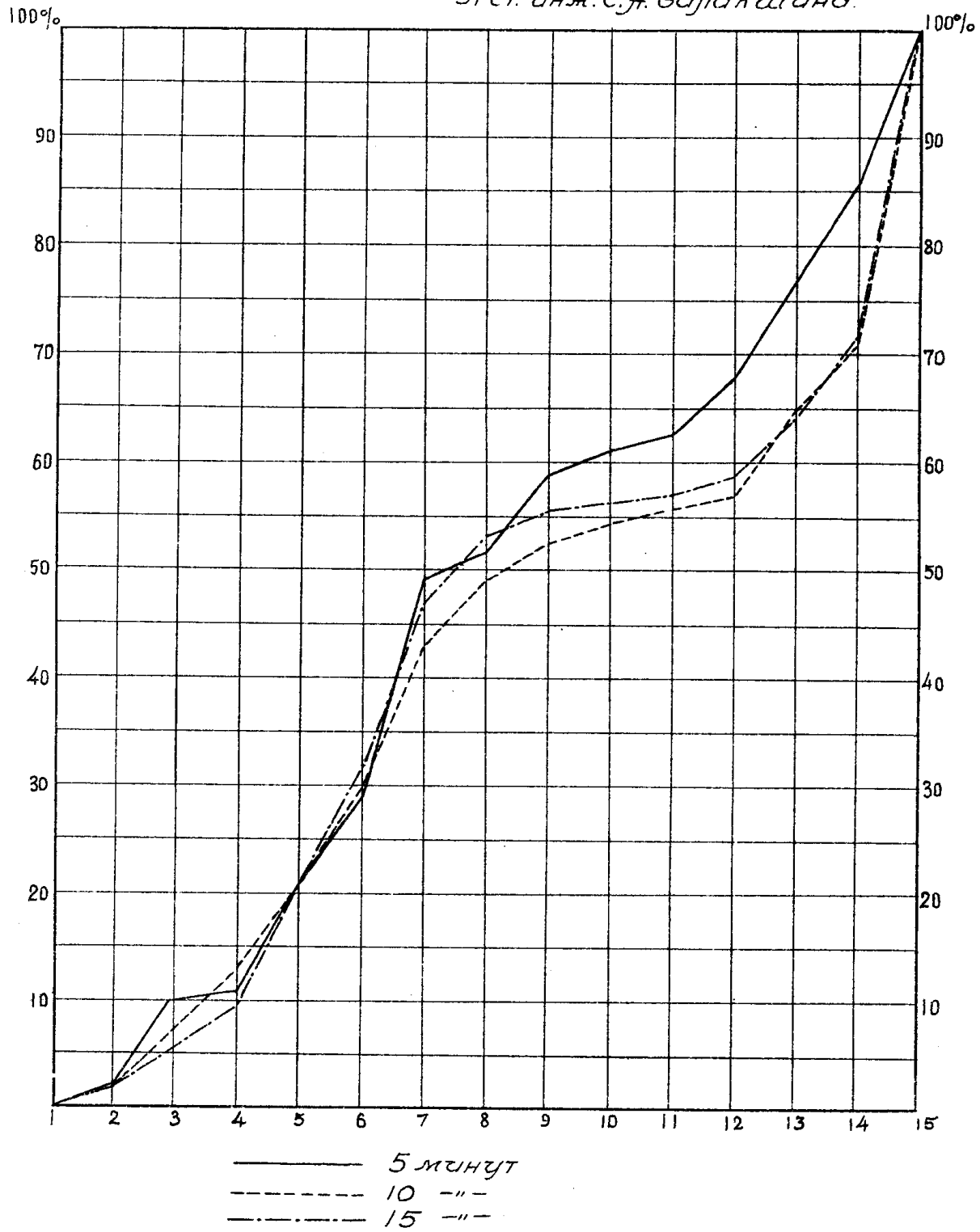


Рис. 9. Изменение куммулятивной кривой крупности в зависимости от продолжительности просевания.

Ист. инж. С. Я. Бопайкина.

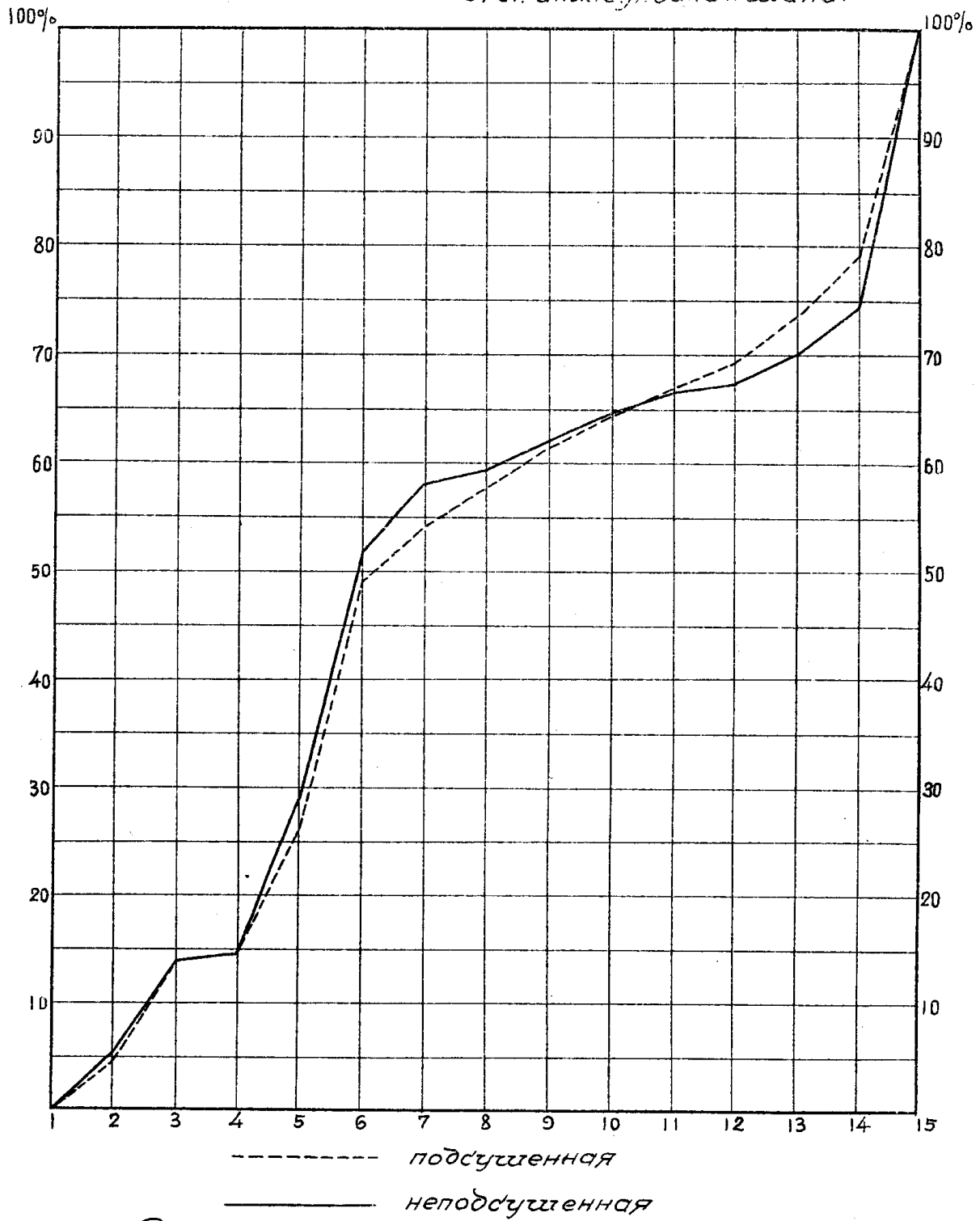


Рис. 10. Влияние влажности исследуемого продукта (муки) на куммулятивную кривую крупности.



Ж. ст. инж. С. Ф. Баранкина.

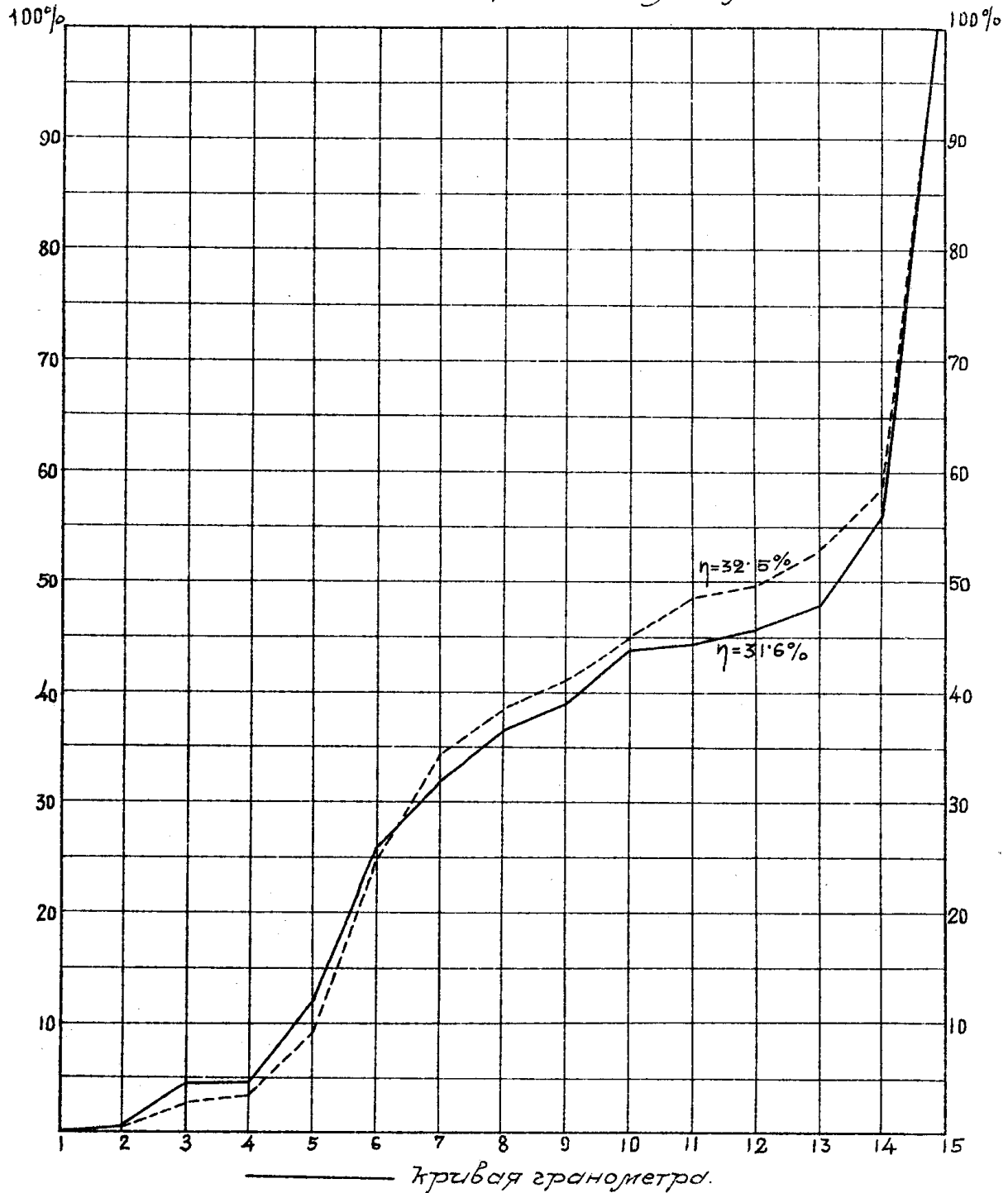


Рис. 11. Сравнение куммулятивной кривой (муки) гранометра с весовой кривой.

Ист. инж. С. Ф. Балагушина.

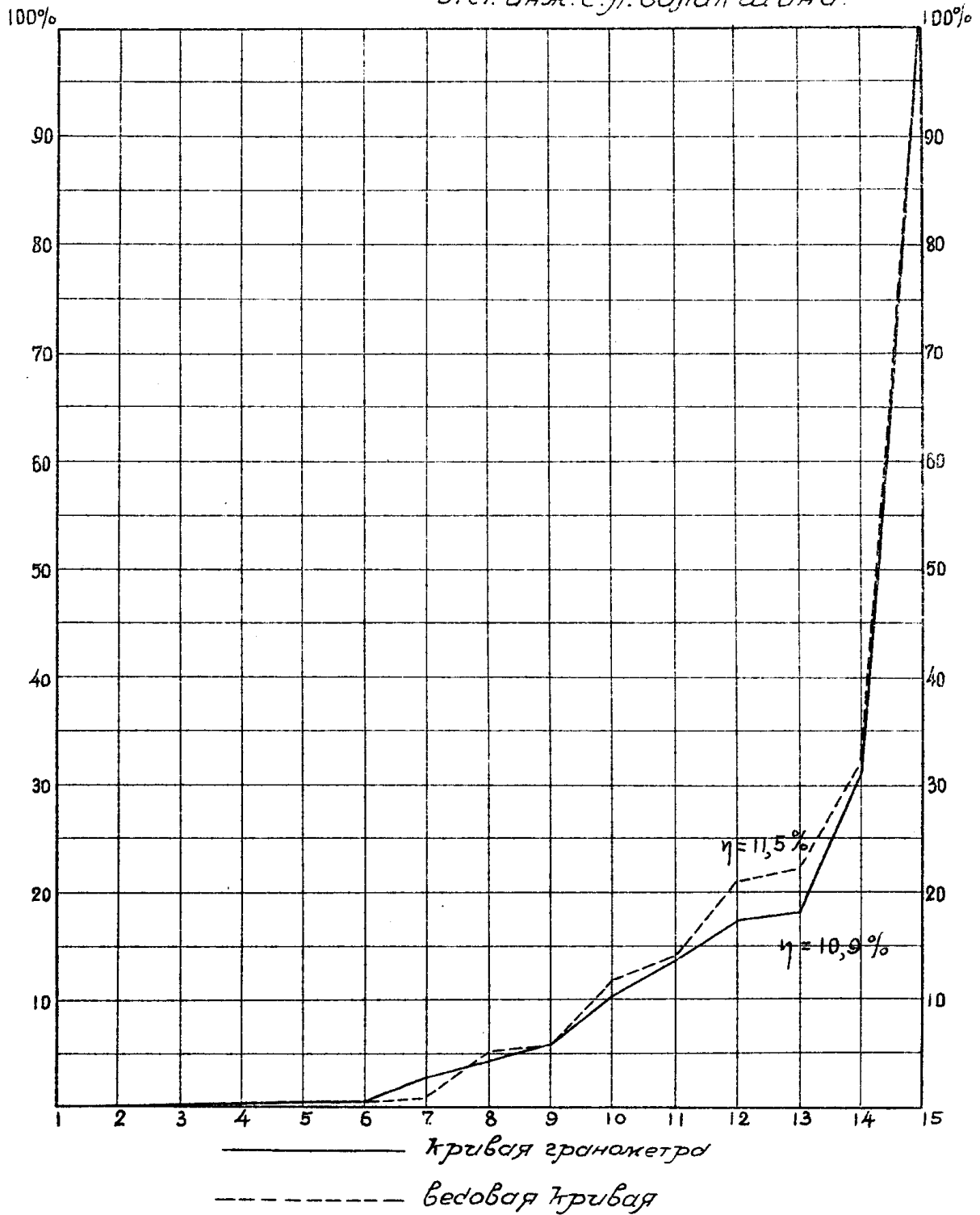


Рис. 12. Сравнение куммулятивной кривой (цемент) granulометра с веновой куммулятивной кривой.

Ж. ст. инж. С. А. Балашкина.

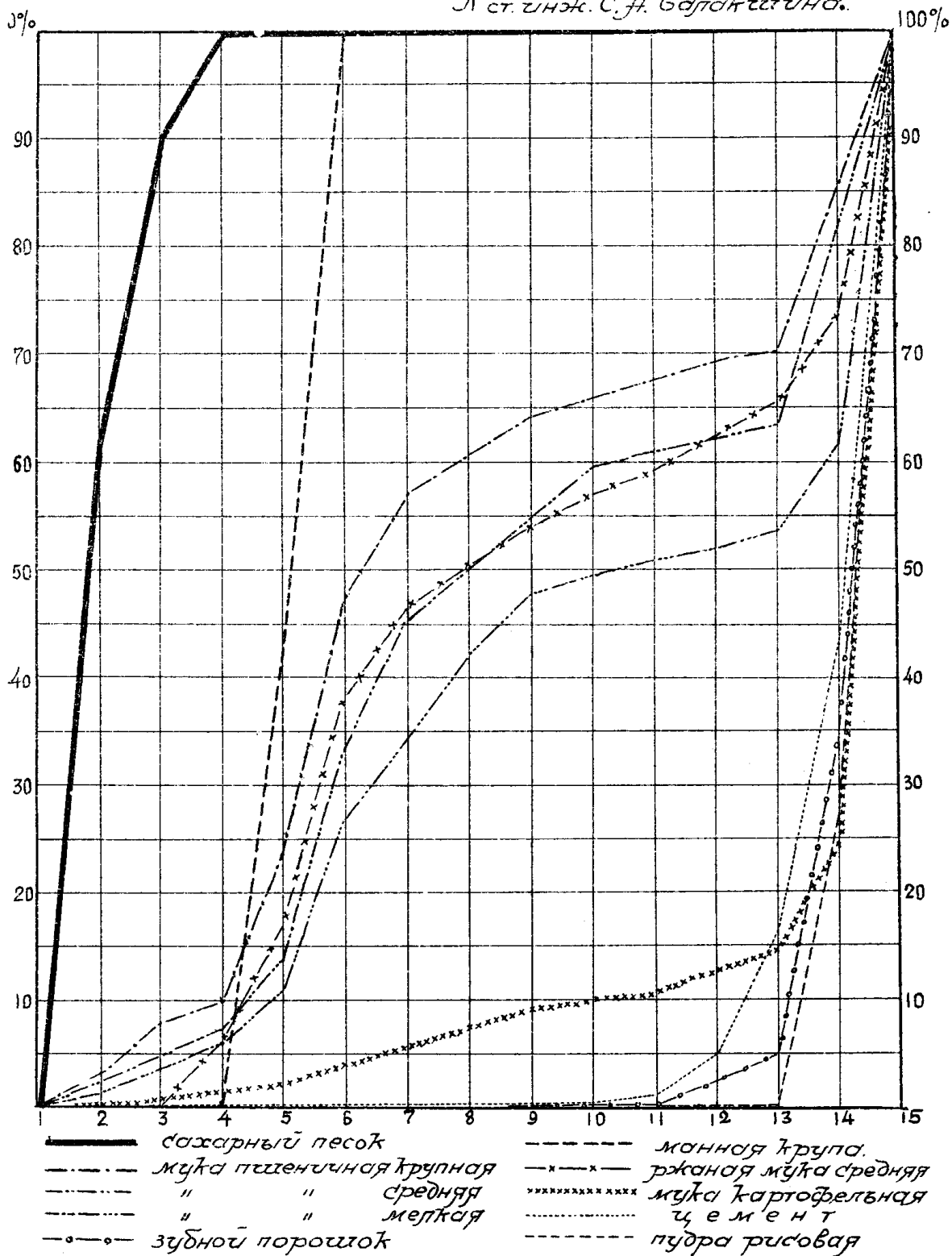


Рис. 13. Куммулятивные кривые крупности полученные гранометром для различных продуктов.

Ист. инж. С.А. Балакшина.

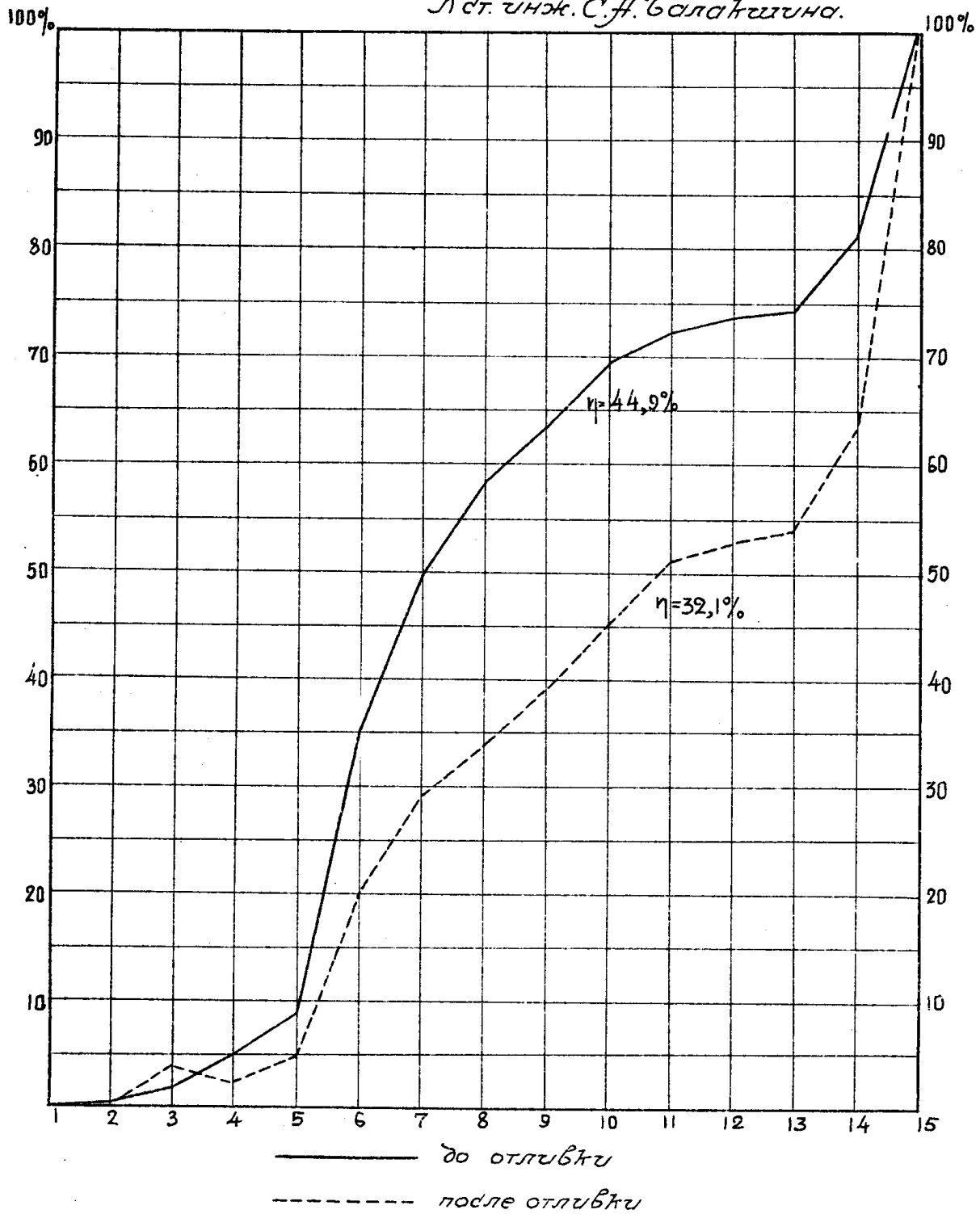


Рис. 14. Формовочный песок.