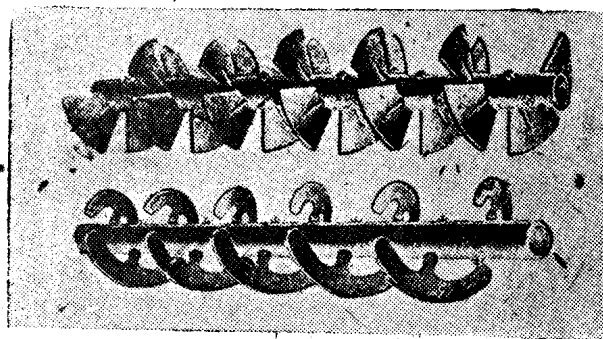


О контроле работы углесмесительных машин.

Для смешивания различных сортов углей, что имеет место в различных случаях практики (коксовое дело, брикетное производство и пр.), употребляются различные машины. Если смешивание углей сопровождается одновременным измельчением их, то в таком случае применяют обыкновенно дезинтеграторы, которые дают однородную смесь; удовлетворительное смешивание достигается также и на молотковых дробилках. В некоторых случаях дезинтеграторы употребляют только для смешивания уже измельченных углей, при чем производительность этих машин при прочих равных условиях значительно возрастает по сравнению с работой их на измельчение¹⁾. Однако вследствие ударов, которые испытывают при работе дезинтегратора частицы угля, в этом случае должно иметь место добавочное измельчение, главным образом более крупных зерен, и в результате — иной гранулометрический состав смеси сравнительно с отдельными углями, поступившими на смешивание, что в некоторых случаях может оказаться нежелательным.

Далее, для смешивания измельченных углей употребляются лопастные шнеки с обыкновенными или фасонными (фиг. 1) лопатками, а также смесители, подобные изображенному на фиг. 2, которые имеются на новых



Фиг. 1.

коксовых заводах, работающих при дозировке измельченных углей, с большой производительностью. В отличие от быстроходных машин (дезинтеграторы и молотковые дробилки), которые по характеру своей работы дают однообразное и достаточно полное смешивание, эффект смешения на шнеках может быть весьма различным; он зависит от формы, числа и расположения лопаток и от длины шнека.

Перемешивающее действие смесителей второго типа (фиг. 2) должно быть основано на отбрасывании частиц падающего сверху угля пальцами валов *A* и *B* и направлением их по различным траекториям и с различными скоростями, в зависимости от размера частиц.

Полнота смешения в этом случае, очевидно, должна зависеть от количества угля, подаваемого в единицу времени на рабочие валы машины, скорости вращения этих валов, величины, числа и расположения пальцев. Как показала практика, смешение углей на таких машинах при скорости вращения 50 об. мин., с которой они работают, оказывается совершенно неудовлетворительным.

Таким образом степень смешения углей на некоторых машинах может быть весьма различной. Для коксовой шихты, кроме того, и при удовлетворительном смешивании на той или другой машине, полнота смешения

¹⁾ Чечотт Г. О. „Обогащение полезных ископаемых“. Вып. IV и V. 1927.

может быть нарушена при дальнейшем перемещении шихты. Такое явление, носящее название сегрегации, может иметь место вследствие сотрясений на ленте, подающей шихту из смесительного отделения на турму, а также при падении шихты в бункер турмы. Все это влечет за собою необходимость соответствующего контроля.

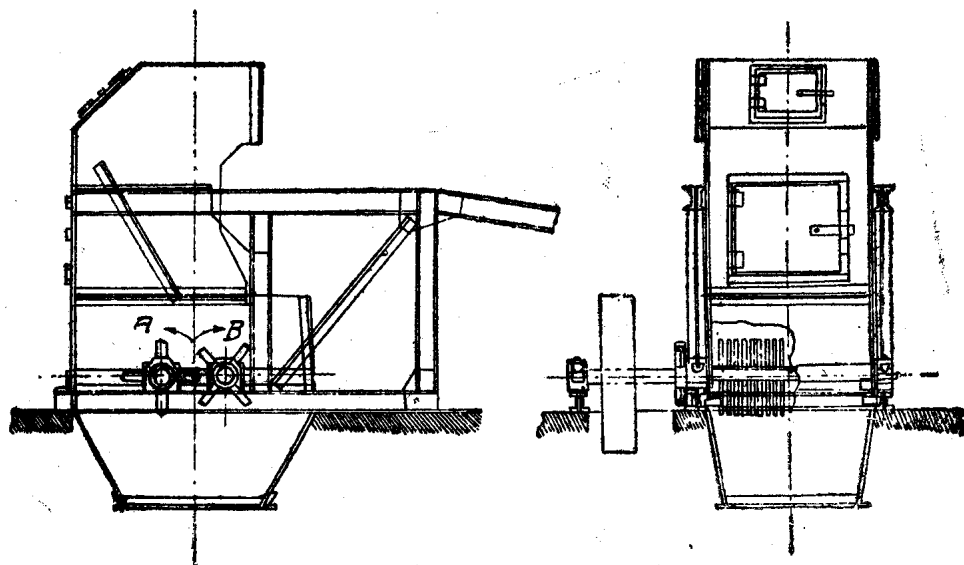
В настоящей статье делается попытка наметить пути этого контроля применительно к коксовой шихте, где степень смешения имеет большое значение, оказывая влияние на качество получаемого кокса.

Таких путей можно наметить два:

- 1) Определение степени смешения на основании сопоставления данных анализа отдельных углей и смеси.
- 2) Моделирование смесительных аппаратов и установление с их помощью условий работы, необходимых для полного смешения углей.

I.

Принципиально суждение о полноте смешения углей могло бы производиться сопоставлением данных технического анализа (зола и летучие), которому всегда подвергаются отдельные компоненты и готовая шихта. Для выяснения того, насколько это практически надежно в смысле точности, рассмотрим несколько примеров.



Фиг. 2.

Положим, что проба шихты берется с ленты, подающей шихту на турму. При неполном смешении, во взятой порции отдельные компоненты будут находиться не в том соотношении, в котором они должны быть согласно заданному составу шихты; это соотношение сохранится при последующей разделке взятой порции для аналитической пробы, в которой, таким образом, содержание золы и летучих будет иным по сравнению с расчетным. В числах это может выразиться следующим образом.

По содержанию золы. Согласно существующим нормам содержание золы в коксе (A_k^c) не должно превышать 11—12%. Принимая валовой выход кокса в среднем в 75%, количество золы в углях, идущих на коксование (A_y^c) должно быть:

$$A_y^c = \frac{A_k^c \cdot 75}{100} = \frac{12.75}{100} = 9\%$$

В условиях Кузбасса без обогащения углей эту цифру можно увеличить до 10⁰/₀. Наименьшее содержание золы в углях, идущих на коксование, можно принять в 7⁰/₀¹⁾.

Положим, что при этих крайних цифрах для золы шихта состоит из двух компонентов в отношении 1:1 (Таб. 1).

Таблица I.

Угли	I A ^c : 10 ⁰ / ₀	II A ^c : 7 ⁰ / ₀	A ^c в смеси ⁰ / ₀
%	50	50	8,5

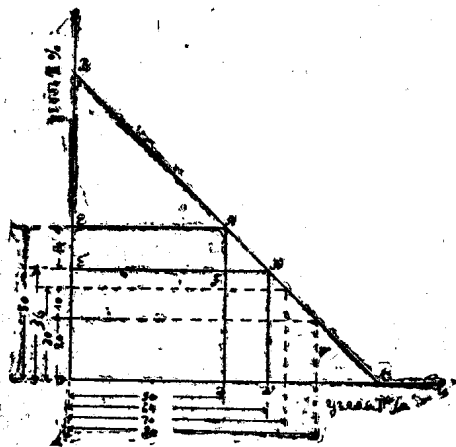
Точность определения золы для малозольных углей ($A^c < 12^0/0$) принята равной 0,2⁰/₀ для одной и той же лаборатории и 0,5⁰/₀—для разных лабораторий²⁾.

Положим, что для вышеприведенной шихты в двух параллельных определениях найдено золы (A^c): 8,85⁰/₀ и 9,00⁰/₀. При точности 0,2⁰/₀ это может быть принято. Среднее из обеих цифр дает $A^c = 8,92^0/0$. Если количество I и II угля в смеси с этим количеством золы будет $x^0/0$ и $y^0/0$, то соответственно таблице I имеем:

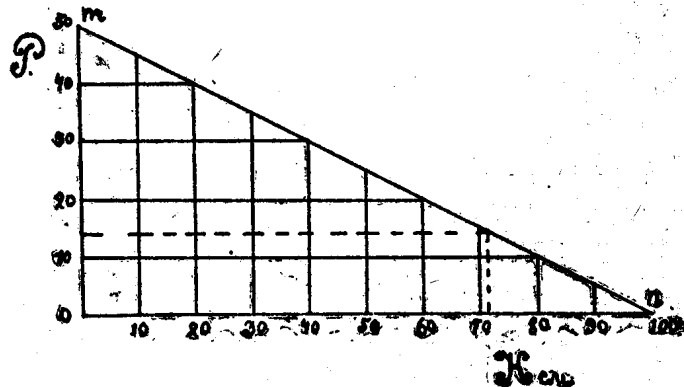
$$\begin{aligned} 10x + 7y &= 8,92 \times 100; & x &= 64\%; & y &= 36\%. \\ x + y &= 100. \end{aligned}$$

На графике (фиг. 3, масштаб 1 мм = 1⁰/₀) нормальной шихты из 50⁰/₀ угля I и 50⁰/₀ угля II отвечает точка A; при изменении состава смеси эта точка перемещается по прямой BC в ту или другую сторону. Для взятого примера при соотношении I уг: II уг = 64:36 состав смеси будет отвечать точке A¹.

Невязка выражается отрезком AF, который назовем P. Величина этого отрезка в данном случае может изменяться от 0 до 50; если P = 0, то смешение полное и, вводя понятие о коэффициенте смешения ($\kappa_{см}$), можем сказать, что в этом случае, т. е. при P = 0, $\kappa_{см} = 100$. Если P = 50, то никакого смешения нет и $\kappa_{см} = 0$.



Фиг. 3.



Фиг. 4.

¹⁾ В. Я. Алексеев: «Характеристика и теплотехническая оценка каменноугольных топлив Западной Сибири», 1934 г.

²⁾ ОСТ ВКС 7151 (с I) I 1935 г. С. 6.

Таким образом, величина $\kappa_{см}$ изменяется по прямой mn (фиг. 4), так, что для всякого значения P (вмм), определяемого по графику фиг. 3, мы находим по графику фиг. 4 коэффициент смешения.

Для взятого примера $P=14$ мм, откуда $\kappa_{см}=72$.

Если бы нормальная шихта должна была состоять из углей I и II в отношении 64:36, а смешение соответствовало бы отношению 1:1, то невязка выражалась бы тем же значением отрезка $A=P$, а качество смешения тем же коэффициентом, равным 72.

Пределы изменения невязки и максимум ее величины, при которой $\kappa_{см}=0$, различны в зависимости от соотношения компонента. Так, например, если нормальная смесь должна состоять из 70% угля I и 30% угля II, а полученная смесь содержит угля I: 80% и угля II: 20% (фиг. 3, пунктир), то невязка будет изменяться от 0 до 30. Соответственно этому строится график фиг. 4.

Чувствительность определения степени смешения по количеству золы при точности 0,2% будет

$$8,50 + 0,2 = 8,70.$$

Откуда по предыдущему имеем.

Круглое:

уголь I: 57%;

уголь II: 43%;

$\kappa_{см}: 83$.

При точности 0,5%:

$$8,50 + 0,50 = 9,00\%$$

уголь I: 67%;

уголь II: 33%;

$\kappa_{см}: 67$.

В последнем случае чувствительность очень низка, т. е. при точности 0,5% можно обнаружить лишь очень плохое смешение с коэффициентом смешения не выше 67.

В качестве другого фактора для определения степени смешения углей можно взять содержание летучих веществ.

Для углей, идущих в коксовые шихты, среднее количество летучих веществ можно принять в следующих цифрах¹⁾.

Осиновский (ПЖ)	$V_r: 29,00\%$
Ленинский (Г)	" : 40,00%
Прокопьевский (ПС)	" : 18,50%
Прокопьевский (К)	" : 22,00%
Анжеро-Судженский (ПС)	" : 16,00%
Кемеровский (ПЖ)	" : 30,50%
Кемеровский (ПС)	" : 16,00%

Положим, что имеем шихту из углей Осиновского ПЖ (I) и Прокопьевского ПС (II) в отношении 1:1 (Табл. II).

Таблица II

Угли	I $v_r=29\%$	II $v_r=18,5\%$	v_r в смеси %
%	50	50	23,75

¹⁾ В. Я. Алексеев:—, Характеристика и теплотехническая оценка каменноугольных топлив Западной Сибири*, 1934 год.

Допускаемые расхождения при определении летучих по стандарту составляют при спекающихся углях для одной и той же лаборатории: 0,5% и для разных лабораторий: 1%. Соответственно этому имеем:

$$23,75 + 0,5 = 24,25.$$

и далее:

$$\begin{aligned} 29x + 18,5 y &= 2425; & x &= 54,7 \\ x + y &= 100. & y &= 45,3 \end{aligned}$$

Таким образом, в смеси содержится, кругло, угля I: 55% и угля 2: 45%; для этой смеси находим по предыдущему $k_{см} = 88$.

Допуская расхождение при определении летучих в 1%, должны будем принять к расчету $V^r = 24,75\%$.

Поступая по предыдущему, получим содержание в соответствующей смеси угля I: 60% и угля II: 40%. При этом $k_{см} = 75$.

Следовательно, при учете летучих веществ имеем большую чувствительность в определении качества смешения.

В случае трехкомпонентной шихты положим что она имеет следующий состав:

Таблица III

Угли	I $A^c = 10\%$ $v^r = 29\%$	II $A^c = 8\%$ $v^r = 18,5\%$	III $A^c = 7\%$ $v^r = 22\%$	Содерж. в смеси	
				$A^c\%$	$v^r\%$
%	30	30	40	8,30	23,05

Количество золы и летучих веществ при трех компонентах будет иметь указанное значение не только при взятом соотношении их, но и при многих других соотношениях. Пусть x , y и z будут содержания в процентах углей I, II и III в смеси; тогда имеем при данном количестве летучих:

$$\begin{aligned} 30x + 18,5 y + 22z &= 2305. \\ x + y + z &= 100. \end{aligned}$$

Откуда:

$$8x - 3,5 y = 105,$$

т. е. получаем неопределенное уравнение, дающее множество значений для неизвестных.

Поэтому необходимо учитывать два фактора, т. е. количество золы и летучих веществ совместно.

Положим, что при анализе смеси получено:

$A^c = 8,50\%$ и $V^r = 23,55\%$. Имеем:

$$\begin{aligned} 10 x + 8 y + 22 z &= 850; & x &= 38,8; \\ 29 x + 18,5 y + 22 z &= 2355; & y &= 33,3; \\ x + y + z &= 100. & z &= 27,9. \end{aligned}$$

Таким образом, состав смеси будет, кругло: I уголь = 39%; II уголь = 33%; III уголь = 28%.

Соединим угли в две группы, выделив тот из них, содержание которого наиболее изменилось против того, что должно быть в нормальной смеси. Таким в данном случае будет уголь III, соответственно чему делаем такую группировку для обеих смесей:

Нормальная смесь		Полученная смесь.	
I + II ,	III	I + II ,	III
60%	40%	72%	28%

Для этих групп, как для отдельных углей, по предыдущему (фиг. 3 и 4) находим $k_{см} = 70$.

Может случиться, конечно, что угли, участвующие в смеси, будут слишком незначительно различаться между собою, например, по содержанию золы, так что нельзя будет принять ее к учету.

В таком случае может оказаться возможным воспользоваться другим показателем, например, толщиной пластического слоя, который в смесях угля, как принимают, изменяется аддитивно; при этом толщина слоя должна быть измеряема, конечно, особенно тщательно, и этот параметр при трехкомпонентной шихте может быть учтен совместно с количеством летучих.

Можно также применить предложенные автором числа мягкости, логарифмы которых в смесях углей изменяются аддитивно¹⁾. Эти числа имеют то удобство, что для различных углей они колеблются в очень широком диапазоне, что должно обуславливать большую отчетливость при характеристике углей; кроме того нахождение этих чисел быстро и несложно, что позволяет делать несколько параллельных определений и тем самым уточнять окончательный результат.

Толщина пластического слоя и числа мягкости, выражая одно и то же свойство угля, не могут учитываться совместно в качестве различных показателей.

При многокомпонентных шихтах, состоящих больше чем из трех различных углей, пришлось бы учитывать большее количество показателей. Так, например, при четырех углях необходимо три показателя, что возможно только в отдельных случаях, ввиду могущего оказаться незначительного различия в значениях некоторых показателей, особенно в количестве золы.

При большем количестве углей установить состав смеси вышеуказанным путем становится уже невозможным по недостатку показателей. В таком случае возможно лишь, выбрав наиболее чувствительный показатель, сравнить его значения для тщательно приготовленной в лаборатории смеси углей, соответствующей данной шихте, и самой шихтой по пробе, взятой со сместительной ленты.

При этом, однако, нужно иметь в виду, что одинаковые значения показателей могут быть и при иных комбинациях, не соответствующих составу нормальной смеси. Поэтому при одной пробе с ленты судить о качестве смешения невозможно; необходимо взять несколько, например, 10 проб, и принять к учету тот показатель, который будет наиболее отличаться от показателя для нормальной смеси.

Положим, что шихта должна состоять из 7 углей в следующем соотношении:

	I	II	III	IV	V	VI	VII
	13%	20%	15%	27%	10%	10%	5%
V%:	22	21	20	27	18	20	17
M :	80	70	60	180	20	65	15

Возьмем для углей наиболее чувствительные показатели: количество летучих (V) и числа мягкости (M), которые, будучи принятыми в круг-

1) „Кокс и химия“ 1935 г. № 10; 1936 г. № 11.

ных цифрах, указаны в двух нижних строках под соответствующими углями.

Для такой смеси будем иметь:

$$V_c = \frac{1}{100} (22 \times 13 + 21 \times 20 + 20 \times 15 + 27 \times 27 + 18 \times 10 + 20 \times 10 + 17 \times 5) = 22\%.$$

$$\lg M_c = \frac{1}{100} (\lg 80 \times 13 + \lg 70 \times 20 + \lg 60 \times 15 + \lg 180 \times 27 + \lg 20 \times 10 + \lg 65 \times 10 + \lg 15 \times 5) = 1,8628.$$

$$M_c = 73.$$

Пусть в двух, взятых с ленты пробах шихты будет:

в пробе первой: угля I: 7%; угля IV: 33%

в пробе второй: угля IV: 15%; угля V: 22%

В таком случае количество летучих и величина M , а также разница в значениях этих показателей по сравнению с нормальной смесью ΔV и ΔM будут:

$$\begin{aligned} \text{для пробы первой} & \begin{cases} V' = 22,30\%; \Delta V = 0,3\% \\ M' = 69 & ; \Delta M = 4. \end{cases} \\ \text{для пробы второй} & \begin{cases} V'' = 20,92\%; \Delta V = 1,08 \\ M'' = 50 & ; \Delta M = 23. \end{cases} \end{aligned}$$

Считая, что точность при определении M составляет 5%, видим, что для первой смеси нельзя констатировать различие в составе против нормальной по обоим показателям. Для второй смеси это различие установить можно, причем для летучих полученная разница ΔV превышает точность определения (0,5%) в 2 раза, а для M по отношению к среднему значению $\frac{73 + 50}{2} = 61,5$ — ΔM составляет 11,5 или 18,7%, т. е. превышает точность определения (5%) в 3,7 раза.

Таким образом числа мягкости оказываются наиболее чувствительным показателем для установления качества смешения.

Вообще же аналитический контроль смешения, как видно, представляется затруднительным.

II.

Суждение о работе углесмешительной машины в отношении качества смешения в известных случаях может быть получено на основании работы аналогичной модели.

Как известно, метод моделирования, основанный на принципе подобия, применяется в настоящее время в некоторых областях техники для изучения истинного характера протекающих явлений, например, при изучении движения газов в промышленных печах.

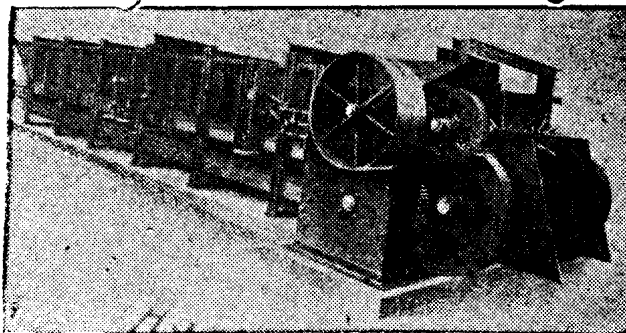
Построив модель смесительной машины желаемой конструкции, с которой бы можно было работать в лаборатории, можно произвести процесс смешения углей или других материалов, имея в виду наибольшее удобство и точность последующего контроля качества смешения по отношению к полученной смеси. При этом угли могут быть взяты сильно различающиеся по содержанию золы и летучих, или жетакые сыпучие материалы, которые легко могут быть выделены из смеси количественно.

При таком исследовании учитываются все факторы, которые влияют на качество смешения, а именно: относительные размеры аппарата (определяющие также и производительность), скорости движения (вращения) рабочих органов, порядок дозирования и питания, связь между производительностью и эффектом смешения при прочих одинаковых условиях и, наконец, состояние смешиваемого материала, т. е. гранулометрический состав, степень влажности, в холодное время смерзаемость. При установлении оптимальных условий для смешения на модели, вообще говоря, можно принять, что машина аналогично сконструированная и работающая в тех же условиях даст удовлетворительное смешение.

Однако, нужно полагать, что моделирование может быть осуществлено далеко не с одинаковой легкостью и простотою в смысле достижения сходственности условий работы и получаемых результатов по отношению к смесительным машинам того или другого типа. Именно нужно полагать, что машины, в которых при их работе частицы перемешиваемого материала перемещаются в воздушном пространстве по сложным траекториям, будучи побуждаемы к тому рабочими органами машины, как, например, дезинтеграторы или смесители, подобные изображенному на фиг. 2—представили бы известные трудности при установлении сходственности в работе машины и модели, так как характер движения частиц и их взаимного перемещения в этом случае должны зависеть непосредственно от размеров машины, и, следовательно, того пространства, где происходит движение частиц.

В малом аппарате, т. е. в модели можем иметь другие условия и потому явится необходимым подробное изучение протекающих процессов для нахождения корректирующих коэффициентов.

Наоборот, для машин, в которых нет „бросания“ частиц материала и последний перемещается во всей массе внутри машины, причем частицы его двигаются по путям, длина которых находится в полной зависимости от размеров аппарата, а количество перемещающихся частиц соответствует общей массе материала, также, находясь в зависимости от величины аппарата,—для этих машин условия подобию должны устанавливаться непосредственно. К таким машинам могут быть отнесены, например, смесительные шнеки, троммели, а также смесительные машины для угля, подобные изображенной на фиг. 5.



Фиг. 5.

Для таких машин вполне возможно при помощи соответственно построенной модели выявить качество смешения, характеризуя его при помощи „коэффициента смешения“ и установить необходимые размеры аппарата, влияющие на эффект смешения (например, длину шнека).

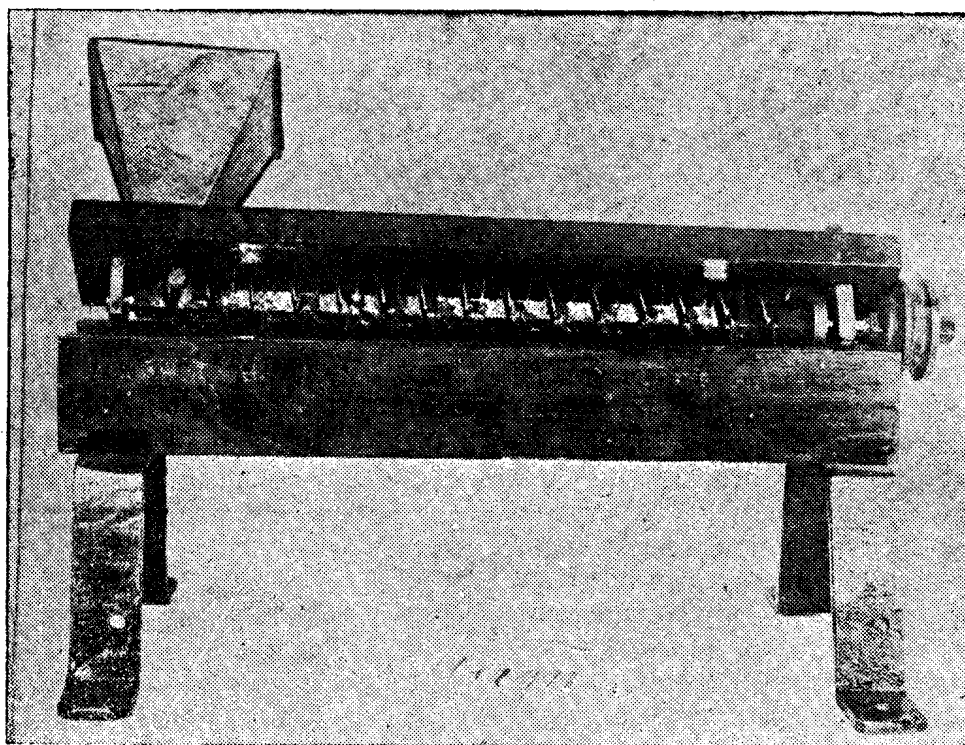
Соответствующие данные, нужно полагать, должны быть приложимы и к производственному аппарату, соответствующего устройства. Последнее, конечно, должно быть проверено на практике.

Автором была проведена в лаборатории работа по исследованию процесса смешения на модели лопастного шнека. Был построен шнек, состоящий из деревянного желоба и квадратного вала с укрепленными на нем лопатками (фиг. 6); размеры следующие: длина между центрами загрузочного и выдающего отверстий: 305 мм; полезный объем желоба 200 см³, угол, образуемый плоскостью лопатки с осью вала 80°; оси соседних лопаток повернуты на 90°. Шаг винта: 20 мм; диаметр винта: 39 мм.

Для опыта смешения были взяты кварцевый песок, мрамор и поваренная соль—все в измельчении, соответствующем прохождению через сито с отв. 1 мм. Эти вещества были выбраны для смешивания ввиду очень легкого выделения их из смеси при помощи воды и соляной кислоты.

Отвешанные материалы помещались каждый в одно из трех отделений жестяного желоба и из него равномерно высыпались в питательную воронку шнека. Через аппарат пропусклось около 1 кг общего количества материалов, на что требовалось около одной минуты.

В середине этого периода из выпускного отверстия отбиралось около 15 г смеси. Отобранная проба обрабатывалась в случае тройной смеси горячей водой до полного растворения хлористого натрия, после чего производилось фильтрование на взвешенный фильтр, который после промывания и высушивания взвешивался; вычитанием веса сухого остатка на фильтре



Фиг. 6.

из веса пробы определялось содержание в смеси поваренной соли. Далее тот же остаток обрабатывался разбавленной соляной кислотой для растворения мрамора и аналогичным образом определялось его количество.

Двойная смесь составлялась из песка и мрамора и подвергалась обработке только соляной кислотой.

Таким образом, в полученной смеси определялись количества вошедших в нее материалов. Результаты, полученные при этих опытах, таковы:

Двойная смесь: песок + мрамор в отношении 1:1.

Таблица IV

Смеси	Число пропусков через шнек	Вес взятой пробы смеси г	Содержание в смеси				К см
			Песок		Мрамор		
			г	0/0	г	0/0	
1	Один . . .	14,5	4,5	31,2	9,98	68,8	62
2	Два	14,3	6,4	44,7	7,93	55,3	89
3	Три	17,5	8,4	48,0	9,10	52,0	96,0

Таким образом, при тройном пропуске через шнек достигается очень хорошее смешение.

Тройная смесь: песок + мрамор + поваренная соль, в отношении 1:1:1.

Таблица V

Смеси	Число пропусков через шнек	Вес взятой пробы z	Содержание в смеси						$K_{см}$
			Песок		Мрамор		Поваренная соль		
			z	%	z	%	z	%	
1	Один . .	16,7	5,1	30,5	6,6	39,5	5,0	30,0	83
2	Два . . .	16,4	5,1	31,1	5,7	34,7	5,6	34,2	94

В этом случае, как видно, хорошее смешение достигается при двойном пропуске и следующие пропускания смеси через шнек не повышают коэффициента смешения, достигнутая степень которого для данного шнека является, повидимому, предельной. Вполне естественно, что для смеси из трех компонентов хорошее смешение достигается при меньшем числе пропусков, т. е. при меньшей рабочей длине шнека по сравнению с двойной смесью, так как при большем количестве сортов разнородных частиц скорее происходит их сближение.

На основании сделанных опытов можем определить длину шнека, необходимую для удовлетворительного смешения.

Рабочая длина шнека составляла 305 мм при диаметре винта $D = 39$ мм.

При двойном пропуске имеем следовательно 610 мм или $\frac{610}{39} = 15 D$; при

тройном пропуске: 915 мм или $\frac{915}{39} = 23 D$.

Таким образом, рабочая длина смесительного шнека составляет от 15 до 23 диаметров винта. Длина, равная 23 D , очевидно, гарантирует во всех случаях удовлетворительное смешение.

Аналогичным образом могут быть исследованы смесительные аппараты иного типа, с установлением условий для их работы.