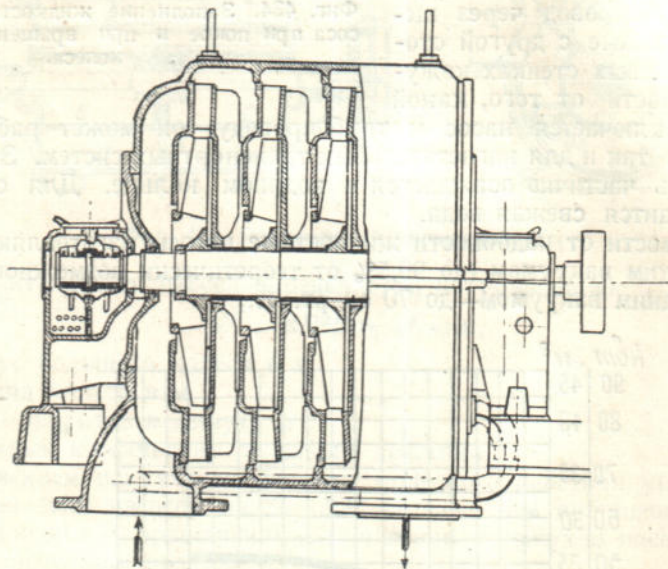


#### д) Турбонасосы

При производительности воздуха от 80 м<sup>3</sup>/мин и выше поршневые насосы с успехом заменяются турбовоздуходувками, которые обладают рядом весьма ценных качеств. Главнейшие из них: равномерная подача воздуха, малый вес, малые размеры насоса и фундамента, небольшая величина основных затрат и стоимости эксплуатации.

Турбонасос состоит из ряда колес, вращающихся внутри кожуха со скоростями, достигающими на окружности до 250 м/сек (фиг. 436). Вокруг колес в кожухе насоса расположены направляющие лопатки, в которые выбрасывается воздух с лопаток вращающегося колеса. Воздух, засасываемый насосом, последовательно проходит все колеса и выталкивается в нагнетательный трубопровод. Количество колес, их размер и конструкция определяют развиваемые насосом производительность и давление при нормальной эксплуатации.



Фиг. 436. Турбонасос.

Производительность  $Q_1$ , разность давлений  $H_1$  и потребляемая мощность  $N_e$  данного турбонасоса зависят от числа оборотов его, причем при одинаковом коэффициенте полезного действия эта зависимость выражается следующими соотношениями:

$$\frac{Q_1}{Q_1'} = \frac{n}{n_1}; \quad \frac{H_1}{H_1'} = \frac{n^2}{n_1^2}; \quad \frac{N_e}{N_e'} = \frac{n^3}{n_1^3}. \quad (454)$$

При постоянном числе оборотов  $n$  количество подаваемого воздуха возрастает с уменьшением преодолеваемого давления, что ведет к повышенному расходу энергии.

Так как при пневматических устройствах рабочее сопротивление трубопровода изменяется в значительных пределах в зависимости от количества транспортируемого материала, то потребление энергии турбонасосом крайне непостоянно. Количество подаваемого воздуха и потребление энергии сильно возрастают при неполной производительности транспортера, что ясно видно из графика на фиг. 437, на котором пунктирными линиями нанесены кривые производительности насоса и потребляемой им мощности в зависимости от падения давления в трубопроводе; для сравнения, сплошными линиями нанесены производительность и расход энергии обыкновенным поршневым насосом.

График на фиг. 437 наглядно показывает, что экономичная эксплуатация турбонасоса возможна только при значительных сопротивлениях трубопровода, следовательно при полной производительности установки. При неполной про-

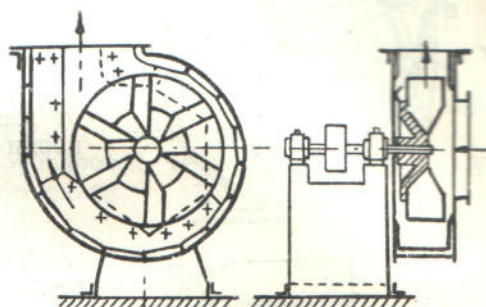
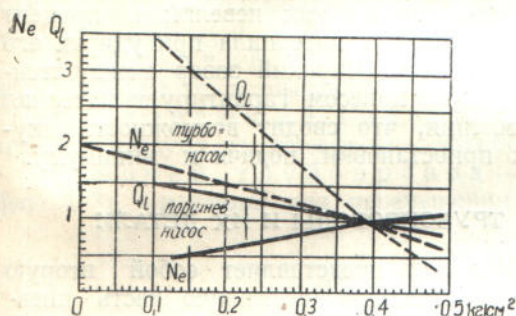


изводительности установки сопротивление трубопровода создают искусственным путем при помощи дросселирования. Такой метод регулирования применяют при приведении насоса от мотора трехфазного тока.

При приведении турбонасоса паровым двигателем или от мотора постоянного тока регулирование осуществляют изменением числа оборотов таким образом, чтобы подаваемое количество воздуха оставалось постоянным как при полной, так и при частичной производительности установки. При таком регулировании можно получить еще более благоприятную кривую для потребления энергии, чем у поршневого насоса.

### е) Насосы вентиляторного типа

При транспортировании особо легких материалов на короткие расстояния при сопротивлении трубопровода 80—200 мм вод. ст. применяют в качестве воздуходувных средств вентиляторы. Коэффициент смеси на подобных установках выбирают очень малым, а именно не больше  $\mu = 1/3$ .



Фиг. 438. Насос вентиляторного типа.

Фиг. 437. Кривые зависимости потребляемой энергии и производительности турбонасоса и поршневого насоса в зависимости от падения давления в трубопроводе.

Насосы вентиляторного типа употребляются при перемещении древесных стружек и опилок, размельченной древесины, отрубей, соломенной сечки, мелкой коры, пробок, мелких резиновых изделий, сушеных овощей и т. п. как при нагнетательной, так и при всасывающей и смешанной системах транспортирования.

При смешанной системе транспортирования материал пропускается через вентилятор, конструкция которого в этом случае несколько видоизменяется по сравнению с обычной. Крылья вращающегося колеса должны быть сделаны более толстыми, чтобы безопасно противодействовать ударам о материал. Между крыльями и кожухом оставляется значительный зазор, чтобы не могло происходить защемление частиц транспортируемого материала. Стенки кожуха снабжаются изнутри сменной облицовкой. На фиг. 438 показан вентиляторный насос подобного типа. Коэффициент полезного действия такого вентилятора 0,35—0,45.

### ж) Насосы специального назначения

На фиг. 439 представлен вентилятор для транспортирования таких длинно-волоконистых материалов, как сено, солома и т. п.<sup>1</sup>

Вал вентилятора 4 вращается на двух подшипниках 3, установленных на стойках 2. Колесо вентилятора 8 насаживается своей ступицей 6 на вал и закрепляется гайкой 5. Колесо заключено в кожухе 7. На торцевой стенке кожуха 9 имеется овальное отверстие 10, через которое материал подается в вентилятор. Отверстие окружено лотком 19, на который подается материал, подлежащий

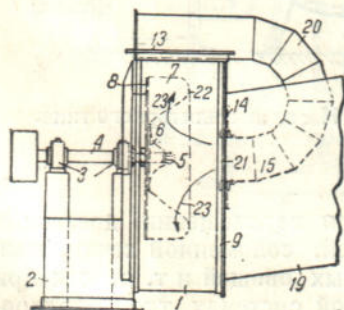
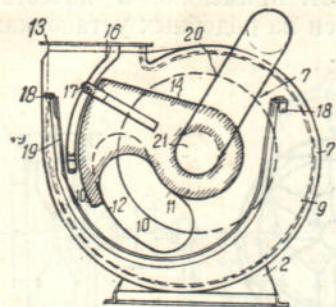
<sup>1</sup> «Fördertechnik und Frachtverkehr», 1932, № 15, 16.



транспортированию. Воздух засасывается вентилятором из трубы 15 через аксиальное отверстие 21. При помощи шибера 14, вращающегося на трубе 15, можно производить регулирование величины отверстия 10. Шибер укрепляется установочным болтом 17 на специальной шине 16.

Насос работает следующим образом: воздух, всасываемый насосом из трубы 15, попадает на лопасти вращающегося колеса и отбрасывается центробежной силой по направлению стрелок в канал диффузора, по которому движется с большой скоростью к выходному отверстию 13; материал, всасываемый через отверстие 10, встречается с передними закругленными концами лопаток 22, увлекается радиально идущей струей воздуха в канал диффузора и перемещается по последнему к выходному отверстию 13.

Вследствие эксцентричного расположения отверстия 10 — частично в зоне колеса, частично в зоне диффузора, транспортируемый материал входит в соприкосновение с лопатками колеса только на их внешнем диаметре, благодаря чему потери на механическое трение материала о лопатки невелики, точно так же как невелик и процент порчи и деградации материала при ударах его о лопатки колеса. Широкий зазор между стенкой кожуха и колесом гарантирует материал от защемления, что сводит возможность закупорки и приостановки подачи к минимуму.<sup>1</sup>



Фиг. 439. Насос для транспортирования длинноволокнистых материалов (Franz Stark).

1—кожух, 2—стойки, 3—подшипники, 4—вал, 5—гайка, 6—ступица, 7—лопасти, 8—колесо, 9—торцевая стенка кожуха, 10—отверстие, 11, 12—ограничивающие канты, 13—выходное отверстие, 14—поворотный шибер, 15—труба, 16—установочная шина, 17—болт, 18—консоль, 19—лоток, 20—рунак, 21—аксиальное отверстие, 22—границы лопаток, 23—направление струи.

## 2. ТРУБОПРОВОДЫ И ИХ ДЕТАЛИ

Трубопровод представляет собой вторую весьма существенную составную часть пневматического устройства. При правильно выбранном насосе диаметр трубопровода в значительной мере определяет часовую производительность установки, потребление энергии на тонну транспортируемого материала, требуемую величину вакуума или избытка давления. При выборе схемы трубопровода следует по возможности избегать закруглений, колен, отводов и т. п. элементов, обуславливающих местные сопротивления, увеличивающие потребление энергии. При неизбежности применения того или иного из этих элементов, ему должны быть приданы размеры и конструкция, обеспечивающие надежность в эксплуатации и возможно меньшие сопротивления.

Сообразуясь с местными условиями, нужно стремиться к сокращению общей длины трубопровода, проводя его кратчайшим путем между соответствующими конечными точками.

Если при проектировании установки возможен выбор последовательности прохождения материала по вертикальным и горизонтальным участкам трубопровода, то рекомендуется руководствоваться следующими соображениями: так как абсолютная скорость движения тела в горизонтальном трубопроводе прибли-

<sup>1</sup> О специальном типе спирального нагнетательного насоса, в котором воздух не загрязняется соприкосновением с маслом, см. в «Fördertechnik u. Fractverkehr», 1934, № 15/16, стр. 178. Подробные данные об изготовляемых в СССР вентиляторах типа «Сирокко», Горловского завода и других см. в каталоге-справочнике «Вентиляторы», составленном ст. инженером ЦАГИ В. Поликовским, изд. ВОМТ, 1932 г. Опытные характеристики вентиляторов помещены в книге «Атлас вентиляторов и дефлекторов», труды ЦАГИ, вып. 172, под редакцией инж. К. А. Ушакова. Специальная глава в этой книге посвящена теории и методике испытаний, а также измерительным приборам.



жается к скорости воздуха  $v_1$  (см. замечания после уравнения 379) и, вообще говоря, выше скорости тела в вертикальном трубопроводе, которая приближается только к  $v_1 - v_s$  (см. уравнение 354), то переход материала из горизонтальных участков в вертикальные сопровождается уменьшением его скорости и уплотнением струи, что связано с увеличением взаимного столкновения частиц и повышением сопротивления. Кроме того материал проходит сопрягающее закругление с большей скоростью, которую он имеет в конце горизонтального участка; что связано с увеличением потерь в закруглении. Поэтому, если это возможно, рекомендуют располагать трубопровод таким образом, чтобы материал сначала поднимался по вертикальной трубе на необходимую высоту, а затем уже перемещался горизонтальными трубами к месту выдачи.

Как видно из схем, представленных на фиг. 402 и 403, трубопровод по своему назначению может быть подразделен следующим образом:

**Воздухопровод** — трубопровод, служащий для перемещения воздуха, находящегося над давлением или разрежением. При всасывающей системе (фиг. 402) воздухопроводами являются участки между отделителем  $b$  и насосом  $g$ ; при нагнетательной системе (фиг. 403) — между насосом  $a$  и загрузочным устройством  $d$ .

**Выхлопной трубопровод** — трубопровод  $e$ , служащий для отвода воздуха от всасывающего насоса в атмосферу (фиг. 402).

**Всасывающий трубопровод** — трубопровод  $f$ , служащий для подвода воздуха из атмосферы к нагнетательному насосу (фиг. 403).

**Рабочий трубопровод** — трубопровод ( $c$  на фиг. 402 и  $g$  на фиг. 403), служащий для перемещения материала.

#### а) Воздухопроводы

Воздухопроводы делаются из железных тонкостенных труб. Чтобы уменьшить потери давления в воздухопроводе, диаметр его выбирается значительно больше, чем диаметр рабочего трубопровода. При выборе диаметра воздухопровода нужно иметь в виду, что количество перемещаемого по нем воздуха примерно на 10% больше теоретически необходимого, вследствие наличия различного рода неплотностей.

Скорость воздуха в воздухопроводе, за исключением киньон-насосных установок, принимается в 2—3 раза меньше, чем в рабочем трубопроводе.

Воздухопроводы нагнетательной системы испытывают избыточное давление изнутри; толщина стенки их может определяться по известной формуле для расчета тонкостенных цилиндрических сосудов:

$$\delta = \frac{qr}{R_z} + s, \quad (455)$$

здесь  $\delta$  — толщина стенки в см,

$q$  — избыток давления в воздухопроводе в кг/см<sup>2</sup>,

$R_z$  — допускаемое напряжение на разрыв,

$r$  — радиус трубы в см,

$s$  — прибавка на ржавление.

Воздухопроводы всасывающей системы испытывают избыточное давление извне, а поэтому толщина стенки, определяемая по уравнению (455), должна быть проверена еще на устойчивость.

Избыток давления, при котором круглая форма становится неустойчивой и труба сплющивается, определяется по уравнению<sup>1</sup>

$$P_0 = \frac{3E\sigma^2}{12(1-\sigma^2)r^3}, \quad (456)$$

где  $E$  — модуль упругости при растяжении (для железа  $2 \cdot 10^6$  кг/см<sup>2</sup>),  
 $\sigma$  — коэффициент Пуассона (для железа 0,28).

<sup>1</sup> Тимошенко, Курс сопротивления материалов, ч. II, перевод с английского, 1933, стр. 209.



Толщина стенки  $\delta$  должна быть выбрана таким образом, чтобы  $p_{кр}$  превышало в несколько раз действительный избыток давления  $q$ , то-есть чтобы имело место равенство

$$\frac{p_{кр}}{q} = n, \quad (457)$$

где  $n$  — коэффициент запаса устойчивости (может быть принят от 3 до 5).

По Fairbairn<sup>1</sup> толщина стенки всасывающего воздухопровода

$$\delta \geq \frac{s}{600} \sqrt{dlp} \text{ см}, \quad (458)$$

где  $d$  — диаметр трубы в см,  
 $l$  — длина трубы от фланца до фланца в см,  
 $p$  — разрежение в кг/см<sup>2</sup>,  
 $s$  — выбирается от 2,5 до 3.

На фиг. 440 показан воздухопровод из цельнотянутых отбортованных маннесмановских труб для вакуума 0,25—0,6 ат. Размеры труб и фланцев приведены в таблице 62. В качестве прокладок между фланцами служит картон, клингерит, а иногда толстая рисовальная бумага, пропитанная льняным маслом.

Таблица 62

Характеристика трубопровода из цельнотянутых отбортованных маннесмановских труб для вакуума 0,25—0,6 ат (по фиг. 440)

| Труба (мм)   |          | Фланец (мм)  |              |              |              |             |                                |              | Белты |       |     |     |              | Прокладка    |     |   | Вес (кг)<br>1 м труб |
|--------------|----------|--------------|--------------|--------------|--------------|-------------|--------------------------------|--------------|-------|-------|-----|-----|--------------|--------------|-----|---|----------------------|
| $D\emptyset$ | $\delta$ | $A\emptyset$ | $B\emptyset$ | $3\emptyset$ | $E\emptyset$ | $\emptyset$ | Пол. железо<br>Вес<br>1 фланца | $G\emptyset$ | Кл.   | $v''$ | $K$ | $L$ | $M\emptyset$ | $H\emptyset$ | $O$ |   |                      |
| 100          | 1,5      | 120          | 168          | 102          | 139          | 10          | 30                             | 0,95         | 13    | 6     | 3,8 | 25  | 40           | 124          | 102 | 2 | 3,75                 |
| 125          | 1,5      | 145          | 202          | 132          | 165          | 10          | 35                             | 1,3          | 15    | 6     | 1/2 | 30  | 45           | 150          | 120 | 2 | 4,7                  |
| 150          | 1,5      | 170          | 228          | 158          | 192          | 10          | 35                             | 1,6          | 15    | 6     | 1/2 | 30  | 45           | 175          | 152 | 2 | 5,6                  |
| 175          | 2        | 195          | 254          | 184          | 220          | 10          | 35                             | 1,8          | 15    | 8     | 1/2 | 30  | 50           | 204          | 178 | 2 | 8,7                  |
| 200          | 2        | 220          | 278          | 208          | 245          | 12          | 35                             | 2,4          | 15    | 8     | 1/2 | 30  | 50           | 250          | 202 | 2 | 9,8                  |
| 225          | 2,5      | 245          | 304          | 234          | 270          | 12          | 35                             | 2,7          | 15    | 8     | 1/2 | 30  | 55           | 255          | 228 | 3 | 14                   |
| 250          | 3        | 270          | 330          | 260          | 295          | 12          | 35                             | 2,9          | 15    | 10    | 1/2 | 30  | 55           | 278          | 252 | 3 | 18,6                 |
| 275          | 3        | 300          | 365          | 285          | 325          | 14          | 40                             | 4,2          | 18    | 10    | 5/8 | 35  | 60           | 306          | 278 | 3 | 20,5                 |
| 300          | 3        | 325          | 390          | 310          | 350          | 14          | 40                             | 4,6          | 18    | 10    | 5/8 | 35  | 60           | 330          | 304 | 3 | 22,5                 |
| 325          | 3        | 350          | 416          | 336          | 376          | 14          | 40                             | 4,9          | 18    | 12    | 6/8 | 35  | 60           | 358          | 320 | 3 | 24,1                 |
| 350          | 3,5      | 375          | 442          | 362          | 408          | 14          | 40                             | 5,2          | 18    | 12    | 5/8 | 35  | 60           | 384          | 352 | 3 | 30,2                 |
| 375          | 3,5      | 400          | 466          | 386          | 426          | 14          | 40                             | 5,6          | 18    | 12    | 5/8 | 35  | 60           | 406          | 378 | 3 | 32,5                 |
| 400          | 4        | 425          | 492          | 412          | 452          | 14          | 40                             | 5,9          | 18    | 12    | 5/8 | 35  | 60           | 434          | 404 | 3 | 39,6                 |
| 425          | 4        | 450          | 518          | 438          | 478          | 16          | 40                             | 7,1          | 18    | 14    | 5/8 | 35  | 65           | 458          | 430 | 3 | 42,0                 |
| 450          | 4        | 475          | 543          | 463          | 508          | 16          | 40                             | 7,5          | 18    | 14    | 5/8 | 35  | 65           | 483          | 452 | 3 | 44,5                 |
| 475          | 4        | 500          | 578          | 488          | 532          | 18          | 45                             | 10,1         | 22    | 14    | 3/4 | 40  | 75           | 510          | 478 | 3 | 46,9                 |

<sup>1</sup> «Handbuch der physikalischen und technischen Mechanik», В. VI, L. 2.



## б) Выхлопные и всасывающие трубы

Выхлопные и всасывающие трубы делаются также железными с толщиной стенки несколько меньшей, чем у воздухопровода; диаметр выбирается такой величины, чтобы скорость воздуха не превышала 10 м/сек.

Как показывают теоретические исследования и опытные наблюдения, пневматические установки, оборудованные поршневыми насосами, небезопасны в смысле явления резонанса. Вследствие периодической подачи воздуха поршневой машиной, в трубопроводе возникают продольные колебания воздушной струи, которые достигают наибольшей интенсивности при совпадении или кратности частоты толчков от насоса с частотой собственных колебаний струи.

Это явление, сопровождающееся повышенным расходом энергии насосом, называется резонансом.

Sommerfeld и Debye<sup>1</sup> исследовали теоретическим путем явления колебания и резонанса воздушной струи во всасывающем и выхлопном трубопроводах.

Исходя из основных уравнений гидродинамики (Эйлера) и уравнения непрерывности, Sommerfeld и Debye пришли к выводу, что явление резонанса в трубопроводе при одноцилиндровом насосе двойного действия наступает при числе оборотов насоса, определяемом следующим уравнением:

$$n_{кр} = \frac{60}{m} (2k + 1) \frac{a}{4l}, \quad (459)$$

здесь  $n_{кр}$  — число оборотов насоса в минуту, при котором наступает явление резонанса,

$l$  — длина трубопровода в м,

$a$  — скорость распространения звука в струе воздуха в м/сек,

$k$  — порядок обертона,

$m$  — порядок волны резонанса.

Для техники практическое значение имеет основной тон  $k = 0$ ; уравнение (459) принимает при этом более простой вид:

$$n_{кр} = \frac{60}{m} \frac{a}{4l}. \quad (460)$$

Наиболее интенсивные колебания и наибольшее потребление энергии насосом имеют место при резонансе первой волны или, как принято говорить, при резонансе первого порядка ( $m = 2$ ); резонанс второго порядка ( $m = 4$ ) сопровождается менее интенсивными колебаниями и меньшим расходом энергии.

Что касается скорости распространения звука  $a$ , то ее определение, при предположении отсутствия теплообмена с внешней средой, можно производить по уравнению Лапласа:

$$a = 20,14 \sqrt{T}, \quad (461)$$

где  $T$  — абсолютная температура воздуха.

Такие факторы как трение, теплообмен и т. п. не оказывают существенного влияния на величину скорости звука и даже частично компенсируют друг друга, а потому в расчет не вводятся.

Определение температуры во всасывающем трубопроводе не представляет никаких затруднений, определение же температуры в выхлопном трубопроводе связано с некоторыми затруднениями, так как неизвестен действительный закон, по которому проходит изменение температуры при сжатии. В этом случае температуру определяют приближенно как среднее арифметическое из температуры наружного воздуха и температуры конца сжатия.

Температура конца сжатия может быть определена из опыта или подсчитана по уравнению адиабатического процесса

$$\frac{T_2}{T_1} = \left( \frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{n-1}{n}}. \quad (462)$$

<sup>1</sup> Voissel, Mitteilungen über Forschungsarbeiten V. d. I., H. 106.



Здесь  $T_1, p_1$  — абсолютная температура и давление в начале процесса сжатия,  
 $T_2, p_2$  — абсолютная температура и давление в конце процесса сжатия,  
 $n$  — показатель адиабаты; для двухатомных газов, в частности для воздуха, он равен 1,4.

В таблице 63 приведены критические числа оборотов одноцилиндрового насоса при различных длинах всасывающего трубопровода и при скорости звука  $a = 330$  и  $390$  м/сек.

Таблица 63

Критические числа оборотов одноцилиндрового насоса

| $n_{1p}$ | при $a = 330$ м/сек    | при $a = 390$ м/сек |
|----------|------------------------|---------------------|
|          | Длина трубопровода (м) |                     |
| 80       | 31                     | 36,5                |
| 100      | 25                     | 29                  |
| 125      | 20                     | 23,5                |
| 150      | 16,5                   | 19,5                |
| 160      | 15,5                   | 18                  |

Обстоятельные опыты над всасывающими трубопроводами, опубликованные Voissel'ем,<sup>1</sup> и над выхлопными трубопроводами, опубликованные Wagenblast'ом,<sup>2</sup> полностью подтвердили теорию Sommerfeld-Debye.

Различие между критическим числом оборотов, подсчитанным по уравнению (460) и наблюдаемому из опыта, имело место только в случае наличия в трубопроводе резких изменений поперечного сечения и т. п.

Wagenblast в своих опытах над выхлопными трубопроводами занимался также выяснением влияния резонанса на потребление энергии насосом.

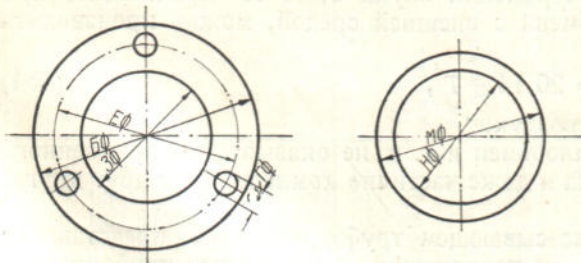
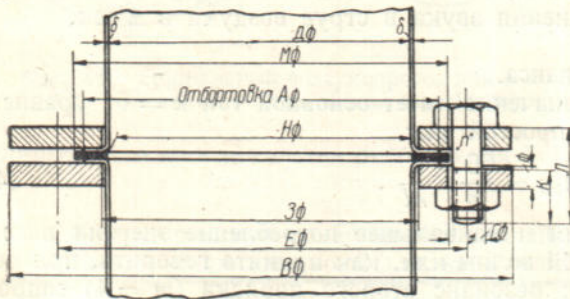
Опыты подтвердили теоретическое предположение о повышенном расходе энергии при резонансе. В отдельных случаях повышение расхода энергии вследствие резонанса достигало 40% от нормального

в) Прямолinéйные участки рабочих трубопроводов.

Прямолinéйные участки рабочих трубопроводов, предназначенные для перемещения таких материалов как уголь, кокс, зола и т. п., работающие обычно при значительной разности давлений, выполняются из маннесмановских или высокого качества сварных труб. Для транспортирования пыли, древесных опилок, шерсти и иных подобных материалов применяются также и простые клепаные трубы.

<sup>1</sup> Mitteilungen über Forschungsarbeiten V. d. I., N. 106.

<sup>2</sup> Forschungsarbeiten auf dem Gebiete Ingenieurwesens V. d. I., N. 239.



Фиг. 441. Рабочий трубопровод при разности давлений 100—800 мм вод. ст.



На фиг. 441 изображен рабочий трубопровод для разности давлений 100—800 мм вод. ст. Трубы из листового железа отбортованные. Размеры труб и фланцев приведены в таблице 64.

Таблица 64

Характеристика трубопровода для давления от 100 до 800 мм вод. ст.  
(по фиг. 441)

| Труба<br>(мм)   |          |                 | Ф л а н е ц<br>(мм) |                 |                 |                 |   |                 | Болты |       | Прокладка       |                 |
|-----------------|----------|-----------------|---------------------|-----------------|-----------------|-----------------|---|-----------------|-------|-------|-----------------|-----------------|
| Д $\varnothing$ | $\delta$ | А $\varnothing$ | З $\varnothing$     | Б $\varnothing$ | Е $\varnothing$ | Г $\varnothing$ | Ø | Штол.<br>железо | Кол.  | а"    | Н $\varnothing$ | М $\varnothing$ |
| 50              | 1        | 66              | 55                  | 105             | 80              | 10              | 6 | 25×6            | 3     | 5/16" | 51              | 71              |
| 55              | 1        | 71              | 60                  | 110             | 85              | 10              | 6 | 25×6            | 3     | 5/16" | 56              | 76              |
| 60              | 1        | 76              | 65                  | 115             | 90              | 10              | 6 | 25×6            | 3     | 5/16" | 61              | 81              |
| 65              | 1        | 81              | 70                  | 120             | 95              | 10              | 6 | 25×6            | 3     | 5/16" | 66              | 86              |
| 70              | 1        | 86              | 75                  | 125             | 100             | 10              | 6 | 25×6            | 3     | 5/16" | 71              | 91              |
| 75              | 1        | 91              | 80                  | 130             | 105             | 10              | 6 | 25×6            | 3     | 5/16" | 76              | 96              |
| 80              | 1        | 96              | 85                  | 135             | 110             | 10              | 6 | 25×6            | 3     | 5/16" | 81              | 101             |
| 85              | 1        | 101             | 90                  | 140             | 115             | 10              | 6 | 25×6            | 3     | 5/16" | 86              | 106             |
| 90              | 1        | 106             | 95                  | 145             | 120             | 10              | 6 | 25×6            | 4     | 5/16" | 91              | 111             |
| 95              | 1        | 111             | 100                 | 150             | 125             | 10              | 6 | 25×6            | 4     | 5/16" | 96              | 116             |
| 100             | 1        | 116             | 105                 | 155             | 130             | 10              | 6 | 25×6            | 4     | 5/16" | 101             | 121             |
| 105             | 1        | 121             | 110                 | 160             | 135             | 10              | 6 | 25×6            | 4     | 5/16" | 106             | 126             |
| 110             | 1        | 126             | 115                 | 165             | 140             | 10              | 6 | 25×6            | 4     | 5/16" | 111             | 131             |
| 115             | 1        | 131             | 120                 | 170             | 145             | 10              | 6 | 25×6            | 4     | 5/16" | 116             | 136             |
| 120             | 1        | 136             | 125                 | 175             | 150             | 10              | 6 | 25×6            | 4     | 5/16" | 121             | 141             |
| 125             | 1        | 141             | 130                 | 180             | 155             | 10              | 6 | 25×6            | 4     | 5/16" | 126             | 146             |
| 130             | 1        | 146             | 135                 | 185             | 160             | 10              | 6 | 25×6            | 6     | 5/16" | 131             | 151             |
| 135             | 1        | 151             | 140                 | 190             | 165             | 10              | 6 | 25×6            | 6     | 5/16" | 135             | 156             |
| 140             | 1        | 156             | 145                 | 195             | 170             | 10              | 6 | 25×6            | 6     | 5/16" | 141             | 161             |
| 145             | 1        | 161             | 150                 | 200             | 175             | 10              | 6 | 25×6            | 6     | 5/16" | 146             | 166             |
| 150             | 1        | 166             | 155                 | 205             | 180             | 10              | 6 | 25×6            | 6     | 5/16" | 151             | 171             |
| 155             | 1        | 175             | 160                 | 210             | 185             | 10              | 6 | 25×6            | 6     | 5/16" | 156             | 176             |
| 160             | 1        | 180             | 165                 | 215             | 190             | 10              | 6 | 25×6            | 6     | 5/16" | 161             | 181             |
| 165             | 1        | 185             | 170                 | 220             | 195             | 10              | 6 | 25×6            | 6     | 5/16" | 166             | 186             |
| 170             | 1        | 190             | 175                 | 225             | 200             | 10              | 6 | 25×6            | 6     | 5/16" | 171             | 191             |
| 175             | 1        | 195             | 180                 | 230             | 205             | 10              | 6 | 25×6            | 6     | 5/16" | 176             | 196             |
| 180             | 1        | 200             | 185                 | 235             | 210             | 10              | 6 | 25×6            | 6     | 5/16" | 181             | 201             |
| 190             | 1        | 210             | 195                 | 245             | 220             | 10              | 6 | 25×6            | 6     | 5/16" | 191             | 211             |
| 200             | 1        | 220             | 205                 | 255             | 230             | 10              | 6 | 25×6            | 6     | 5/16" | 201             | 221             |
| 210             | 1,5      | 230             | 218                 | 278             | 248             | 13              | 8 | 30×8            | 8     | 3/8"  | 211             | 237             |
| 220             | 1,5      | 240             | 228                 | 288             | 258             | 13              | 8 | 30×8            | 8     | 3/8"  | 221             | 247             |
| 230             | 1,5      | 250             | 238                 | 298             | 268             | 13              | 8 | 30×8            | 8     | 3/8"  | 231             | 257             |
| 240             | 1,5      | 260             | 248                 | 308             | 278             | 13              | 8 | 30×8            | 8     | 3/8"  | 241             | 267             |

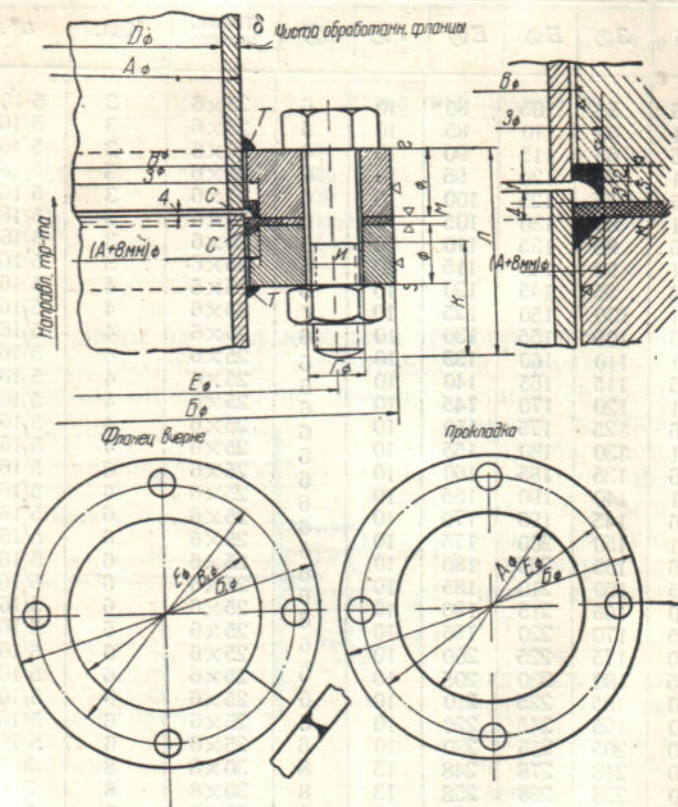
На фиг. 442 изображен рабочий трубопровод для вакуума от 0,25 до 0,6 ат го нормальям того же завода. Трубы цельнотянутые, маннесмановские, фланцы приварены. Размеры в таблице 65.

Материалом для прокладок служит картон, клингерит, а для горячих материалов — асбест. Иногда, как и на воздухопроводах, в качестве прокладок применяется рисовальная бумага, пропитанная льняным маслом.

Правильный выбор диаметра рабочего трубопровода является одной из наиболее трудных и ответственных задач конструктора при проектировании транспортной установки.

Выбор диаметра рабочего трубопровода определяется не только родом транспортируемого материала и производительностью, но и длиной транспортирования, конфигурацией трубопровода, наличием разного рода местных сопротивлений, склонностью материала прилипать к стенкам и спекаться. Чем длиннее и сложнее трубопровод, тем труднее произвести выбор его диаметра. Для всякой установки заданной производительности, при заданной схеме трубопровода,





Фиг. 442. Рабочий трубопровод при вакууме от 0,25 до 0,6 ат (завод им. Шевченко).]

Примечание:

- 1) Материал фланцев полос. ж-30, ОСТ 13.  
 » прокладок картон. (для холод. материалов).  
 » прокладок асбест. (для горячих материалов);
- 2) Трубы: цельнотянутые тип «Маннесман».
- 3) Отверстия сверлить по шаблону.  
 Сварной непрерывный шов кругом для труб диаметром до 100,5 мм  
 и шов секциями 20 мм с промежут. 50 мм для труб диаметром 103,5—290 мм.



## Характеристика трубопровода для вакуума 0,25 — 0,6 ат (по фиг. 442)

| Труба |      |      | Ф л а н е ц |     |     |     |                |     |                  |                  |       | Полное<br>напряжение | Балы |   |     |    |    | Про-<br>кладки. |     |   | Сечение трубы<br>в мм <sup>2</sup> | Вес            |      | 1 метра<br>трубы (кг) |
|-------|------|------|-------------|-----|-----|-----|----------------|-----|------------------|------------------|-------|----------------------|------|---|-----|----|----|-----------------|-----|---|------------------------------------|----------------|------|-----------------------|
|       |      |      | Чистый      |     |     |     |                |     | Черн.            |                  |       |                      | В    | К | Л   | М  | А  | В               | М   | Ø |                                    | Ø <sub>1</sub> |      |                       |
| D Ø   | A Ø  | с    | B Ø         | Б Ø | Е Ø | Г Ø | Ø <sub>1</sub> | З Ø | В <sub>1</sub> Ø | В <sub>1</sub> Ø | Ø     | Ø <sub>1</sub>       |      |   |     |    |    |                 |     |   | К мм.                              |                | н"   | К                     |
| 54,0  | 60   | 3    | 60,5        | 130 | 97  | 15  | 10             | 12  | 68               | 56               | 136   | 40                   | 40   | 3 | 1/2 | 30 | 45 | 60              | 130 | 2 | 0,229                              | 0,77           | 0,92 | 4,2                   |
| 57,5  | 63,5 | 3    | 64          | 133 | 100 | 15  | 10             | 12  | 71,5             | 95,5             | 138,5 | 42                   | 42   | 3 | 1/2 | 30 | 45 | 63,5            | 133 | 2 | 0,260                              | 0,79           | 0,95 | 4,45                  |
| 64    | 70   | 3    | 70,5        | 140 | 108 | 15  | 12             | 14  | 78               | 66               | 146   | 40                   | 40   | 4 | 1/2 | 30 | 50 | 70              | 140 | 2 | 0,332                              | 1,01           | 1,18 | 4,9                   |
| 70    | 76   | 3    | 76,5        | 146 | 114 | 15  | 12             | 14  | 84               | 72               | 152   | 40                   | 40   | 4 | 1/2 | 30 | 50 | 76              | 146 | 2 | 0,385                              | 1,07           | 1,25 | 5,35                  |
| 76,5  | 83   | 3,25 | 83,5        | 160 | 130 | 15  | 12             | 14  | 91               | 78               | 168   | 45                   | 45   | 4 | 1/2 | 30 | 50 | 83              | 160 | 2 | 0,460                              | 1,14           | 1,33 | 6,35                  |
| 82,5  | 89   | 3,25 | 89,5        | 159 | 130 | 15  | 14             | 16  | 97               | 85               | 165   | 40                   | 40   | 4 | 1/2 | 30 | 50 | 89              | 159 | 2 | 0,535                              | 1,4            | 1,6  | 6,78                  |
| 88,5  | 95   | 3,25 | 95,5        | 175 | 145 | 15  | 14             | 16  | 103              | 91               | 181   | 45                   | 45   | 4 | 1/2 | 30 | 50 | 95              | 175 | 2 | 0,615                              | 1,77           | 2,02 | 7,3                   |
| 94,5  | 102  | 3,75 | 103         | 182 | 145 | 15  | 14             | 16  | 110              | 98               | 188   | 45                   | 45   | 4 | 1/2 | 30 | 50 | 102             | 182 | 2 | 0,701                              | 1,86           | 2,13 | 9,1                   |
| 100,5 | 108  | 3,75 | 109         | 188 | 155 | 15  | 14             | 16  | 116              | 104              | 194   | 45                   | 45   | 4 | 1/2 | 30 | 50 | 108             | 188 | 2 | 0,793                              | 1,94           | 2,21 | 9,56                  |
| 106,5 | 114  | 3,75 | 115         | 194 | 155 | 15  | 14             | 16  | 122              | 110              | 200   | 45                   | 45   | 4 | 1/2 | 30 | 50 | 114             | 194 | 2 | 0,890                              | 2,07           | 2,32 | 10,1                  |
| 113   | 121  | 4,0  | 122         | 202 | 175 | 15  | 16             | 18  | 129              | 117              | 207   | 45                   | 45   | 4 | 1/2 | 30 | 55 | 121             | 202 | 2 | 1,003                              | 2,45           | 2,73 | 11,5                  |
| 119   | 127  | 4,0  | 128         | 207 | 175 | 15  | 16             | 18  | 135              | 123              | 213   | 45                   | 45   | 4 | 1/2 | 30 | 55 | 127             | 207 | 2 | 1,112                              | 2,52           | 2,83 | 12,0                  |
| 125   | 133  | 4,0  | 134         | 224 | 185 | 18  | 16             | 18  | 141              | 129              | 229   | 50                   | 50   | 4 | 5/8 | 35 | 60 | 133             | 224 | 2 | 1,227                              | 3,05           | 3,43 | 12,7                  |
| 131   | 140  | 4,5  | 141         | 230 | 185 | 18  | 16             | 18  | 148              | 136              | 236   | 50                   | 50   | 4 | 5/8 | 35 | 60 | 140             | 230 | 2 | 1,348                              | 3,13           | 3,52 | 14,9                  |
| 137   | 146  | 4,5  | 147         | 236 | 200 | 18  | 16             | 18  | 154              | 142              | 242   | 50                   | 50   | 4 | 5/8 | 35 | 60 | 146             | 236 | 2 | 1,474                              | 3,24           | 3,64 | 15,6                  |
| 143   | 152  | 4,5  | 153,5       | 242 | 200 | 18  | 16             | 18  | 160              | 148              | 246   | 50                   | 50   | 4 | 5/8 | 35 | 60 | 152             | 242 | 2 | 1,606                              | 3,34           | 3,75 | 16,2                  |
| 150   | 159  | 4,5  | 160,5       | 249 | 215 | 18  | 16             | 18  | 167              | 155              | 255   | 50                   | 50   | 4 | 5/8 | 35 | 60 | 159             | 249 | 2 | 1,767                              | 3,46           | 3,88 | 17,0                  |
| 156   | 165  | 4,5  | 166,5       | 255 | 215 | 18  | 16             | 18  | 173              | 161              | 261   | 50                   | 50   | 4 | 5/8 | 35 | 60 | 165             | 255 | 2 | 1,911                              | 3,56           | 4,0  | 17,7                  |
| 162   | 171  | 4,5  | 172,5       | 270 | 235 | 18  | 18             | 20  | 179              | 168              | 278   | 56                   | 56   | 6 | 5/8 | 40 | 65 | 171             | 270 | 2 | 2,065                              | 4,05           | 4,5  | 18,3                  |
| 169   | 178  | 4,5  | 179,5       | 270 | 235 | 18  | 18             | 20  | 186              | 175              | 275   | 50                   | 50   | 6 | 5/8 | 40 | 65 | 178             | 270 | 2 | 2,243                              | 4,90           | 4,65 | 19,1                  |
| 180   | 191  | 5,5  | 192,5       | 284 | 250 | 18  | 18             | 20  | 199              | 188              | 288   | 50                   | 50   | 6 | 5/8 | 40 | 65 | 191             | 281 | 2 | 2,545                              | 4,45           | 4,95 | 24,9                  |
| 192   | 203  | 5,5  | 205         | 293 | 260 | 18  | 18             | 20  | 211              | 199              | 299   | 50                   | 50   | 6 | 5/8 | 40 | 65 | 203             | 293 | 2 | 2,895                              | 4,7            | 5,2  | 26,6                  |
| 203   | 216  | 6,5  | 218         | 308 | 279 | 18  | 18             | 20  | 224              | 214              | 314   | 50                   | 50   | 6 | 5/8 | 40 | 65 | 216             | 308 | 2 | 2,234                              | 4,95           | 5,5  | 33,2                  |
| 216   | 229  | 6,5  | 231         | 322 | 290 | 18  | 18             | 20  | 237              | 227              | 327   | 50                   | 50   | 6 | 5/8 | 40 | 65 | 229             | 322 | 2 | 3,664                              | 5,2            | 5,76 | 35,3                  |
| 228   | 241  | 6,5  | 243         | 351 | 305 | 21  | 20             | 22  | 249              | 237              | 357   | 60                   | 60   | 8 | 3/4 | 40 | 70 | 241             | 351 | 2 | 4,082                              | 7,5            | 8,3  | 37,7                  |
| 241   | 254  | 6,5  | 256         | 364 | 320 | 21  | 20             | 22  | 262              | 250              | 370   | 60                   | 60   | 8 | 3/4 | 40 | 70 | 254             | 364 | 2 | 4,562                              | 7,85           | 8,65 | 39,3                  |
| 253   | 267  | 7,0  | 269         | 377 | 335 | 21  | 20             | 22  | 275              | 263              | 383   | 60                   | 60   | 8 | 3/4 | 40 | 70 | 267             | 377 | 2 | 5,027                              | 8,22           | 9,05 | 44,7                  |
| 264   | 279  | 7,5  | 281         | 392 | 350 | 21  | 20             | 22  | 287              | 277              | 397   | 60                   | 60   | 8 | 3/4 | 40 | 70 | 279             | 392 | 2 | 5,474                              | 8,50           | 5,4  | 50,0                  |
| 277   | 292  | 7,5  | 294         | 402 | 360 | 21  | 20             | 22  | 300              | 288              | 408   | 60                   | 60   | 8 | 3/4 | 40 | 70 | 292             | 402 | 2 | 6,026                              | 8,9            | 9    |                       |
| 290   | 305  | 7,5  | 307         | 415 | 375 | 21  | 20             | 22  | 313              | 301              | 421   | 60                   | 60   | 8 | 3/4 | 40 | 70 | 305             | 415 | 2 | 6,600                              | 9,25           |      |                       |



для транспортирования того или иного материала может быть выбран трубопровод определенного диаметра с определенной средней скоростью воздуха, при которых установка работает с наибольшей экономичностью, однако определение такого наивыгоднейшего диаметра расчетным путем весьма затруднительно. Правильный выбор диаметра в настоящее время считается возможным выполнять главным образом на основании постановки соответствующих опытов, что связано со значительными расходами и далеко не всегда практикуется. Поэтому при назначении диаметра рабочего трубопровода приходится обращаться к опыту находящихся в эксплуатации установок, подходящих по своему характеру к проектируемой.

При этом задаются обычно коэффициентом смеси  $\mu = \frac{Q_m}{Q_l}$  и скоростью воздуха в трубопроводе  $v_l$ , а затем уже подсчитывают, какой необходим диаметр, чтобы обеспечить принятые  $\mu$  и  $v_l$ . Определенный таким образом диаметр трубопровода является некоторым средним, так как рабочий трубопровод выполняется часто переменного диаметра.

Разница диаметров в начале и в конце трубопровода должна быть тем значительней, чем значительней разность давлений между его концами. Если трубопровод выполнить по всей длине постоянного диаметра, то, вследствие изменения давления вдоль трубопровода и связанного с ним изменения объема протекающего воздуха, скорость последнего может достигнуть недопустимо больших значений. Идеальной формой рабочего трубопровода была бы конусообразная; в действительности же диаметр трубопровода увеличивают ступенями по мере увеличения удельного объема воздуха, соединяя две соседних трубы разного диаметра коническим переходом. Однако сохранение одинаковой скорости течения воздуха во всех участках трубопровода также не было бы правильным, так как переносная сила струи воздуха при данной его скорости в сильной степени зависит от диаметра трубопровода. Так, например, по данным Vamag-Meguïn, для перемещения зерна по трубопроводу диаметром 100 мм ( $F = 78,5 \text{ см}^2$ ), при нормальном наполнении, достаточна средняя скорость воздуха в 20 м/сек, а для перемещения того же зерна по трубопроводу диаметром 140 мм ( $F = 154 \text{ см}^2$ ) необходима скорость воздуха около 37 м/сек, так как при меньшей скорости возможно оседание частиц и закупорка трубопровода. Увеличение скорости приблизительно пропорционально увеличению площади поперечного сечения трубопровода.

На фиг. 443 нанесены кривые изменения производительности и часового и удельного расхода воздуха в зависимости от диаметра трубы при постоянной длине трубопровода и наиболее целесообразном давлении дутья.<sup>1</sup> Сплошные линии соединяют точки, полученные на основании прделанных опытов, пунктирными линиями они продолжены до значений, опытом не проверенных. Как видно из графика, удельный расход воздуха (на 1 м<sup>3</sup> транспортируемого материала) увеличивается с увеличением диаметра трубопровода.

Как уже указывалось выше, при определении диаметра рабочего трубопровода задаются обычно коэффициентом смеси  $\mu = \frac{Q_m}{Q_l}$  и рабочей скоростью воздуха в трубопроводе  $v_l$ .

Затем определяется часовой расход воздуха  $Q_l = \frac{Q_m}{\mu}$  и диаметр трубопровода из уравнения:

$$v_l \frac{\pi d^2}{4} = \frac{Q_l}{3600 \cdot \gamma_l}, \quad (463)$$

$$d = \sqrt{\frac{4Q_l}{3600 \pi \gamma_l v_l}}. \quad (464)$$

Здесь  $d$  — диаметр трубопровода в свету в м,

$\gamma_l$  — удельный вес воздуха в кг/м<sup>3</sup>,

$v_l$  — скорость воздуха в м/сек,

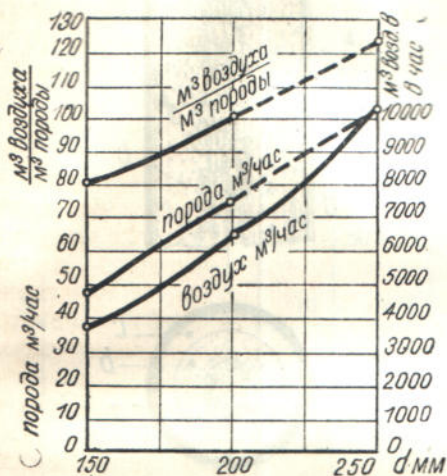
$Q_l$  — расход воздуха в кг/час.

<sup>1</sup> «Glückauf», 1931, стр. 46.

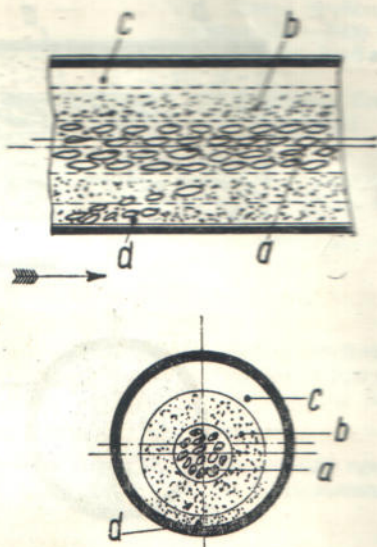


Величина коэффициента смеси зависит от рода транспортируемого материала, его влажности, способности к спеканию, наличия в трубопроводе закруглений и всякого рода местных сопротивлений. Чем меньше коэффициент смеси, тем меньше возможность оседания материала, тем меньше опасность закупорки трубопровода.

На фиг. 444, 445 и 446 изображено наблюдавшееся в ряде случаев типичное распределение транспортируемого материала по сечению трубопровода при нормальном и чрезмерно большом значении коэффициента смеси  $\mu$ . При движении по трубопроводу транспортируемый материал — зерно, уголь орешек и т. п. — располагается концентрическими окружностями, причем в центре концентрируются более тяжелые частицы материала, вокруг ядра тяжелых частиц располагаются более легкие частицы пыли, которые окружаются кольцом почти чистого воздуха.



Фиг. 443. Изменение производительности, часового и удельного расхода воздуха в зависимости от диаметра трубопровода.



Фиг. 444. Горизонтальный трубопровод при нормальном нагружении: а — куски материала, б — мелкие частицы, с — слой воздуха, d — случайные куски.

При нормальном значении коэффициента  $\mu$ , при транспортировании по горизонтальным и вертикальным участкам, со стенками трубопровода входят в соприкосновение только зона чистого воздуха и зона пыли, главная же масса тяжелых частиц материала, за исключением отдельных кусков, движется по средине сечения, не касаясь стенок.

При чрезмерно большом значении  $\mu$  центральное ядро движущегося материала становится столь значительным, что при движении по горизонтальным участкам нижние частицы ядра в большом количестве наталкиваются на стенки трубопровода, отскакивают от них и врезаются в основную струю материала, нарушают нормальный ее поток, расстраивают режим транспортирования и ведут к образованию пробок и закупорке трубопровода.

Однако усиление надежности транспортирования при малых значениях  $\mu$  связано с увеличением расхода энергии на тонну перемещаемого материала. Количественное влияние различных факторов на величину  $\mu$  пока столь мало изучено, что при выборе его в каждом отдельном случае приходится иногда больше пользоваться опытом и чутьем проектировщика, а также, к сожалению, нередко разноречивыми сведениями о работающих установках, чем непосредственно расчетом.

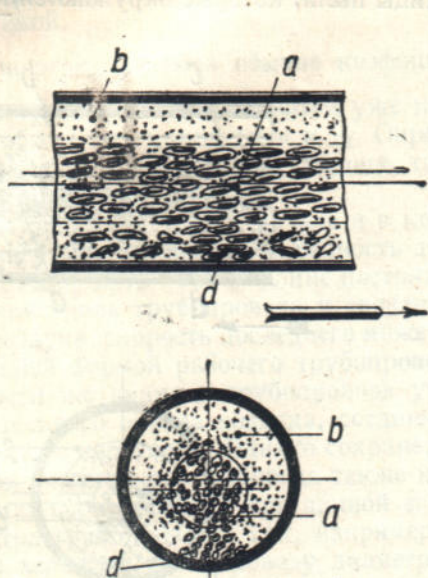
Скорость воздуха в трубопроводе  $v_1$  берется несколько выше скорости падения  $v_s$ . Чем выше отношение  $v_1 : v_s$ , тем меньше вероятность закупорки трубопровода, но тем больше расход энергии на транспортирование. Стремлением о обеспечить достаточную надежность транспорти-



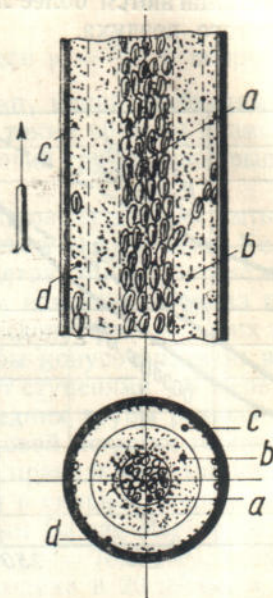
рования при наименьшем возможном расходе энергии и определяется правильный выбор отношения  $v_1 : v_s$ .

В среднем это отношение колеблется в пределах 1,1 — 2,0. Высшие значения принимают при транспортировании влажных, подверженных спеканию материалов при длинных трубопроводах с наличием большого количества разного рода местных сопротивлений. Более низкие пределы берут при перемещении таких материалов как древесные стружки, щепки и при несложной схеме трубопровода.

В таблице 66 (см. стр. 359) приведены значения коэффициента смеси и скорости воздуха для некоторых установок. Однако в каждом частном случае значения  $\mu$  и  $v_1$  могут значительно отличаться от приведенных в этой таблице.



Фиг. 445. Горизонтальный трубопровод при чрезмерном нагружении: *a*—куски материала, *b*—мелкие частицы, соприкасающиеся со стенками, *d*—куски материала, скользящие по стенкам.



Фиг. 446. Вертикальный трубопровод при нормальном нагружении: *a*—куски материала, *b*—мелкие частицы, *c*—слой воздуха, *d*—случайные куски.

Проектирование разветвленных трубопроводов производится таким же образом, как и неразветвленного, но выбор диаметров трубопроводов и скоростей течения воздуха в отдельных ответвлениях и главной магистрали производится так, чтобы существовало равенство давлений в местах разветвления. Расчет разветвленного трубопровода целесообразней начинать с участков с наименьшей производительностью, так как в противном случае расчетный диаметр наименьшего трубопровода может получиться меньше практически выполнимого, и весь расчет в этом случае приходится повторить снова. Впрочем, практически при сложных трубопроводах расчет обычно приходится повторить несколько раз в разных вариантах для получения наиболее удовлетворительного.

Размещение рабочих трубопроводов нужно производить по возможности в местах, удобных для осмотра и наблюдения. Необходимо избегать закапывания их в землю или замуровывания в стены, так как это очень неблагоприятно сказывается на изнашиваемости трубопроводов. Опыты показывают, что закопанные или замурованные трубопроводы изнашиваются значительно быстрее трубопроводов, опирающихся на отдельные опоры или подвешенных на проводочных канатах и железных тросах. Объяснение этому явлению нужно искать в том, что удары частиц материала о стенки при подвешенных или опертых трубопроводах в значительной мере смягчаются благодаря упругости последних. Закопанные и замурованные трубопроводы лишены возможности вибрировать, вследствие чего значительно большая часть кинетической энергии удара частиц материала затрачивается на истирание трубопровода.



Данные о коэффициенте смеси и скорости воздуха

| № по пор. | Наименование материала                                  | Часовая производительность (т) | Диаметр трубопровода (мм) | $\mu = \frac{Q_m}{Q_l}$ | $v_l$ (м/сек) | Откуда заимствовано                    | Примечание  |
|-----------|---|--------------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------|--|---|
| 1         | Угольная пыль .   | —                              | —                         | 30—40                   | 5—8           | —                                      | Длина трубопровода 200—2000 м.<br>Давление 2—6 ат.        |
| 2         | » » .   | 49—60                          | 200                       | 27                      | 13—18         | Балхашский металлургический завод      | По проекту Союзтранстехпрома                              |
| 3         | Зерно . . . . .   | —                              | —                         | 22                      | 22—26         | Wagner                                 | $h = \frac{\gamma_l v_l^2}{2g} =$<br>= 30—04 мм. вод. ст. |
| 4         | » . . . . .   | —                              | 50—250                    | —                       | —             | Vamag                                  | —   |
| 5         | » . . . . .   | 10                             | 106,5                     | 9,3                     | 28            | »                                      | Длина трубопровода 100 м при высоте подъема 10 м          |
| 6         | Пшеница . . . .   | —                              | —                         | 40—58                   | —             | Cramp                                  | По данным проф. П. С. Козьмина                            |
| 7         | » . . . . .   | 100                            | 200                       | —                       | —             | Broughton                              | То же   |
| 8         | » . . . . .   | 1000                           | 600                       | —                       | —             | »                                      | »   |
| 9         | Зола . . . . .  | 4; 6;<br>10                    | 150; 200;<br>300          | —                       | —             | Zimmer                                 | »   |
| 10        | Стружки, опилки.  | —                              | —                         | не больше 0,5           | —             | Karg                                   | —   |
| 11        | Стружки, опилки, сечка, высевка, пробка и т. п. . . . . | —                              | —                         | 0,33                    | 15—20         | Wagner                                 | —   |
| 12        | Сода . . . . .  | 2,5<br>14                      | 76<br>216                 | 3,5—3                   | 40—35         | Тихвинский глиноземный завод           | По проекту Союзтранстехпрома                              |
| 13        | Глинозем . . . . .                                      | 6                              | 100                       | 3                       | 55            | »                                      | То же   |
| 14        | Колошниковая пыль . . . . .                             | 4,5                            | 44                        | 8,4                     | 19            | Металлургический завод им. Петровского | Проектный сектор зав. им. Петровского                     |
| 15        | Солод . . . . .   | —                              | —                         | —                       | 16—20         | Wagner                                 | $h = \frac{\gamma_l v_l^2}{2g} =$<br>= 15—25 мм вод. ст.  |



Закапывание трубопроводов нежелательно также и из условия своевременного обнаружения просачивания воздуха через неплотности в соединениях или через отверстия, появившиеся в результате износа труб. Мнение, что земля служит защитой от неплотности, неверно.

Если при закопанном трубопроводе возникает предположение о наличии прососов воздуха, то обнаружение мест прососа возможно следующим образом.

При всасывающей системе в начале трубопровода вводят дроссель с целью повышения вакуума, затем равномерно поливают водой землю вдоль линии расположения трубопровода; в местах неплотностей в трубопроводе влага исчезает значительно быстрее, что и служит искомым признаком.

При нагнетательной системе землю вдоль линии расположения трубопровода поливают раствором воды с мылом и маслом. Возле мест расположения неплотностей появляются небольшие пузыри. При этом целесообразно работать при повышенном давлении.

Точно также нерационально располагать трубопроводы в местах, где они могут быть подвержены непосредственному влиянию солнечных лучей, так как в жаркое время года производительность транспортирования от этого заметно снижается.

Аналогичное влияние на производительность транспортера оказывает близость трубопроводов к установкам, работающим при высокой температуре (котлы, печи). Для уменьшения вредного влияния высокой температуры целесообразно покрывать трубопроводы изоляцией. Значительное влияние на снижение производительности транспортера оказывает неудовлетворительное состояние внутренней поверхности труб. Трубы, выбираемые для рабочего трубопровода, должны иметь гладкую внутреннюю поверхность, свободную от окалины и ржавчины, не должны иметь приливов и раковин — тогда с самого начала, не ожидая «прирабатывания», можно достигнуть нормальной производительности транспортирования. При «приработавшемся» трубопроводе с шлифованными перемещаемым материалом стенками производительность повышается в среднем на 8—15%, а иногда и больше. С целью ускорения процесса «прирабатывания» часто вначале эксплуатации нового трубопровода транспортируют материалы, содержащие значительное количество мелкого песка, который быстро отшлифовывает внутреннюю поверхность труб.

#### г) Колёна, закругления и фланцы

Закругления и колена, неизбежные почти в каждом пневматическом транспортере, оказывают заметное влияние на общий расход энергии на установке. Неправильный выбор радиуса закругления ведет не только к чрезмерному увеличению расхода энергии, но и может явиться причиной закупорки трубопровода. Радиус закругления должен быть выбран таким образом, чтобы тело, входящее с прямолинейного участка трубопровода, ударялось только о наружные стенки закругления, но отнюдь не о внутренние. Отталкиваясь, оно должно проходить касательно к оси закругления (фиг. 447).

Если обозначим:  $r$  — радиус трубы на закруглении, в свету,  $x$  — число толчков тела при проходе закругления,  $\beta$  — угол охватываемый закруглением,  $R$  — радиус закругления, то из треугольника  $Oab$  (фиг. 447) получим:

$$(R + r) \cos \frac{\beta}{2x} = R, \quad (465)$$

откуда

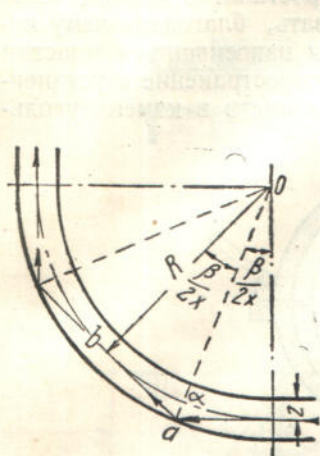
$$R = \frac{r \cos \frac{\beta}{2x}}{1 - \cos \frac{\beta}{2x}}, \quad (466)$$



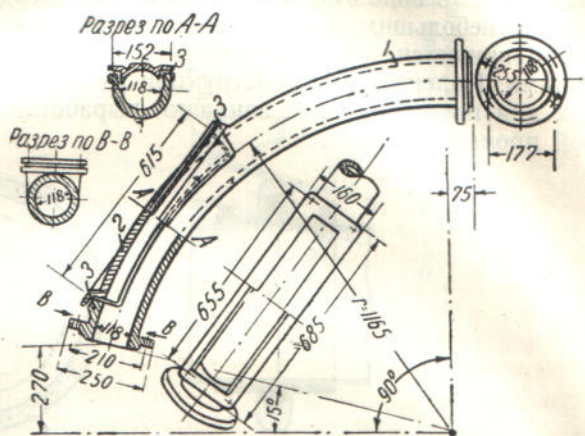
При угле закругления  $\beta = 90^\circ$  уравнение примет вид:

$$R = \frac{r \cos \frac{45^\circ}{x}}{1 - \cos \frac{45^\circ}{x}} \quad (467)$$

Обычно число толчков  $x$  можно принимать равным двум.



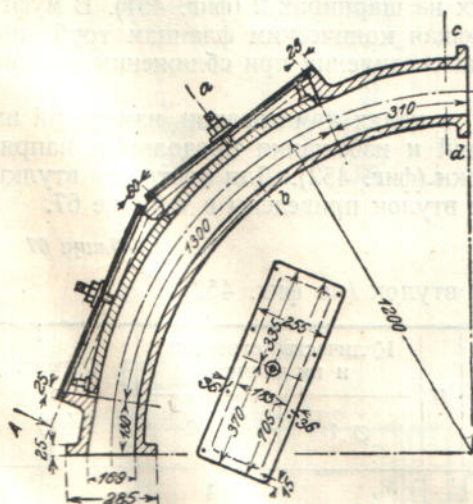
Фиг. 447. Движение кусков по закруглению.



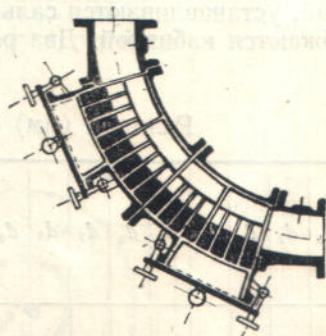
Фиг. 448. Колено с одной съемной крышкой.

Вследствие наталкивания струи материала на стенки закруглений последние быстро изнашиваются и приходят в негодность.

Повышения срока службы закруглений достигают или увеличением толщины стенки в месте износа или применением особых конструкций закруглений, в которых места износа делаются съемными и по мере надобности заменяются новыми.



Фиг. 449. Колено с двумя съемными крышками.



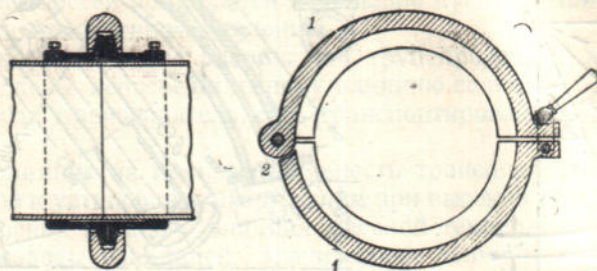
Фиг. 450. Колено системы Tokret со сменными пластинами.

На фиг. 448 изображено колено 1, снабженное в месте наибольшего износа съемной крышкой 2, привинчиваемой к колену болтами 3. Для сохранения герметичности крышка крепится на резиновой прокладке. При изнашивании вся крышка заменяется новой.



На фиг. 449 показано колено с двумя крышками.<sup>1</sup> Крышки с помощью упорных винтов поддерживают съемные плиты толщиной 30 мм. По мере изнашивания плиты заменяются новыми, крышки же остаются прежние. Уплотнение крышек достигается упругими прокладками.

В патентованной конструкции фирмы Torkret (фиг. 450) колено состоит из двух наружных патрубков, служащих для присоединения колена к трубопроводу, и двух внутренних патрубков, снабженных сменными частями.<sup>2</sup> Сменные части выполнены в виде отдельных пластин из твердой электростали. Пластины заложены с небольшим зазором, позволяющим им вибрировать, благодаря чему износ понижается. Съемные крышки служат для замены износившихся пластин новыми. Колена такой конструкции имеют широкое распространение в установках для пневматической закладки выработанных пространств в каменноугольной промышленности.



Фиг. 451. Муфта для соединения труб.

Для каменноугольной же промышленности разработана в настоящее время фирмой Torkret конструкция соединения труб,<sup>3</sup> обеспечивающая быструю сборку и разборку трубопровода, что является чрезвычайно существенным в условиях эксплуатации транспорта в шахте, так как трубопровод приходится наращивать вслед за продвижением забоя и кроме того, для равномерности износа, его надо регулярно поворачивать вокруг продольной оси на угол около 90°.

Соединение труб при этом осуществляется с помощью разрезной муфты, состоящей из двух половин 1, соединенных на шарнирах 2 (фиг. 451). В муфте имеется коническая заточка, соответствующая коническим фланцам труб, посредством которой и производится затяжка соединения при сближении половинок муфты.

На длинных прямолинейных участках, в целях компенсации изменений их длины вследствие температурных колебаний и избежания продольных напряжений, устанавливаются сальниковые втулки (фиг. 452). Для плотности втулки снабжаются набивкой. Два размера таких втулок приведены в таблице 67.

Таблица 67

Размеры (мм) сальниковых втулок (по фиг. 452)

| D   | d <sub>1</sub> | d <sub>2</sub> | d <sub>3</sub> | d <sub>4</sub> | d <sub>5</sub> | d <sub>6</sub> | d <sub>7</sub> | d <sub>8</sub> | d <sub>9</sub> | K   | c   | b  | a   | H   | Количество отверстий и их диаметр |          | Ориент. вес (кг) |
|-----|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|-----|-----|----|-----|-----|-----------------------------------|----------|------------------|
|     |                |                |                |                |                |                |                |                |                |     |     |    |     |     | ∅ 1                               | ∅ 2      |                  |
| 95  | 105            | 108            | 111            | 138            | 165            | 155            | 185            | 245            | 200            | 145 | 81  | 20 | 170 | 330 | 15                                | 4<br>5,8 | ~ 70             |
| 228 | 236            | 241            | 245            | 270            | 320            | 305            | 350            | 420            | 360            | 185 | 100 | 28 | 320 | 470 | 22                                | 8<br>22  | 110              |

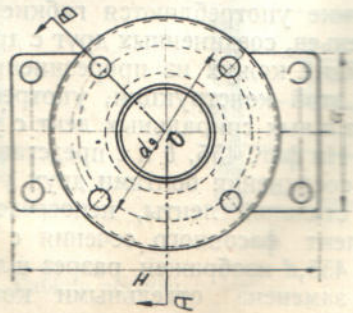
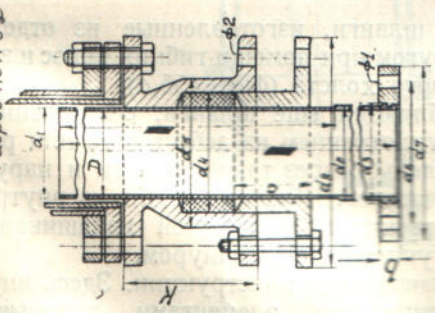
<sup>1</sup> Z. V. d. I., 1918, стр. 329.

<sup>2</sup> «Glückauf», 1928, стр. 1442; «Горный журнал» 1929, стр. 927.

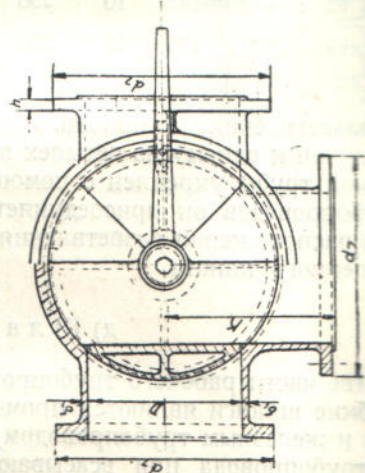
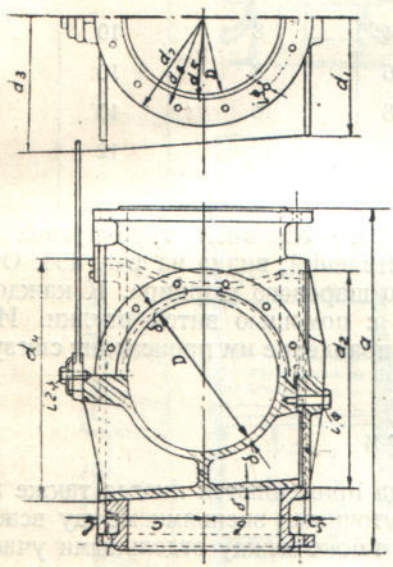
<sup>3</sup> «Glückauf», 1928, стр. 1443.



Разрез по А-А-В



Фиг. 452. Сальниковый втулка-компенсатор расширения (Стальпромежмеханизации)





Если требуется направлять поток воздуха по одному из двух трубопроводов, то применяется трехходовый кран (фиг. 453). Он состоит из корпуса с тремя проходными отверстиями, снабженными фланцами для присоединения труб и вращаемой от руки пробки. Пробка для плотности притирается к корпусу. Размеры крана приведены в таблице 68.

Таблица 68

Размеры (мм) трехходового крана (по фиг. 453)

| D   | d <sub>1</sub> | d <sub>2</sub> | d <sub>3</sub> | d <sub>4</sub> | d <sub>5</sub> | d <sub>6</sub> | d <sub>7</sub> | Колич. и<br>диам. отв.<br>i Ø | i Ø           |     |
|-----|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|-------------------------------|---------------|-----|
|     |                |                |                |                |                |                |                |                               | (в дюймах)    |     |
| 100 | 190            | 170            | 212            | 192            | 158            | 180            | 220            | 6 — 18                        | $\frac{1}{2}$ | 3/8 |
| 110 | 190            | 170            | 212            | 192            | 168            | 190            | 230            | 6 — 18                        | $\frac{1}{2}$ | 3/8 |
| 225 | 356            | 331            | 392            | 366            | 245            | 270            | 304            | 8 — 15                        | $\frac{1}{2}$ | 3/4 |
| 300 | 470            | 438,6          | 523            | 488            | 340            | 380            | 420            | 12 — 18                       | $\frac{1}{2}$ | 3/4 |

| D   | a   | s  | b   | c   | l  | K   | h  | δ  | δ <sub>1</sub> | Ориент.<br>вес. (кг) |
|-----|-----|----|-----|-----|----|-----|----|----|----------------|----------------------|
| 100 | 290 | 8  | 88  | 85  | 5  | 145 | 14 | 8  | 10             | 42                   |
| 110 | 300 | 8  | 88  | 85  | 5  | 150 | 16 | 8  | 10             | 58                   |
| 225 | 500 | 10 | 143 | 143 | 10 | 250 | 18 | 10 | 40             | 160                  |
| 300 | 560 | 10 | 190 | 190 | 10 | 330 | 20 | 12 | 12             | 180                  |

Схема разветвления, с помощью которого основной трубопровод может быть присоединен к одному из четырех ответвлений, видна на фиг. 454. Отрезок соединительной трубы укреплен с помощью шарового шарнира. К каждому из четырех трубопроводов он присоединяется с помощью витой втулки. Иногда, при высоком расположении разветвления, управление им происходит снизу с помощью опущенного каната.<sup>1</sup>

#### д) Шланги

В качестве части рабочего трубопровода применяются иногда также гибкие шланги. Гибкие шланги являются промежуточными звеньями между всасывающим соплом и железным трубопроводом, а также между отдельными участками железного трубопровода при всасывающих системах транспортирования при необходимости обслуживания соплом некоторого пространства, например, склада угля, железнодорожного вагона, трюма корабля и т. п. (фиг. 402). При этом гибкая шланга обеспечивает необходимую маневренность рабочему, обслуживающему сопло.

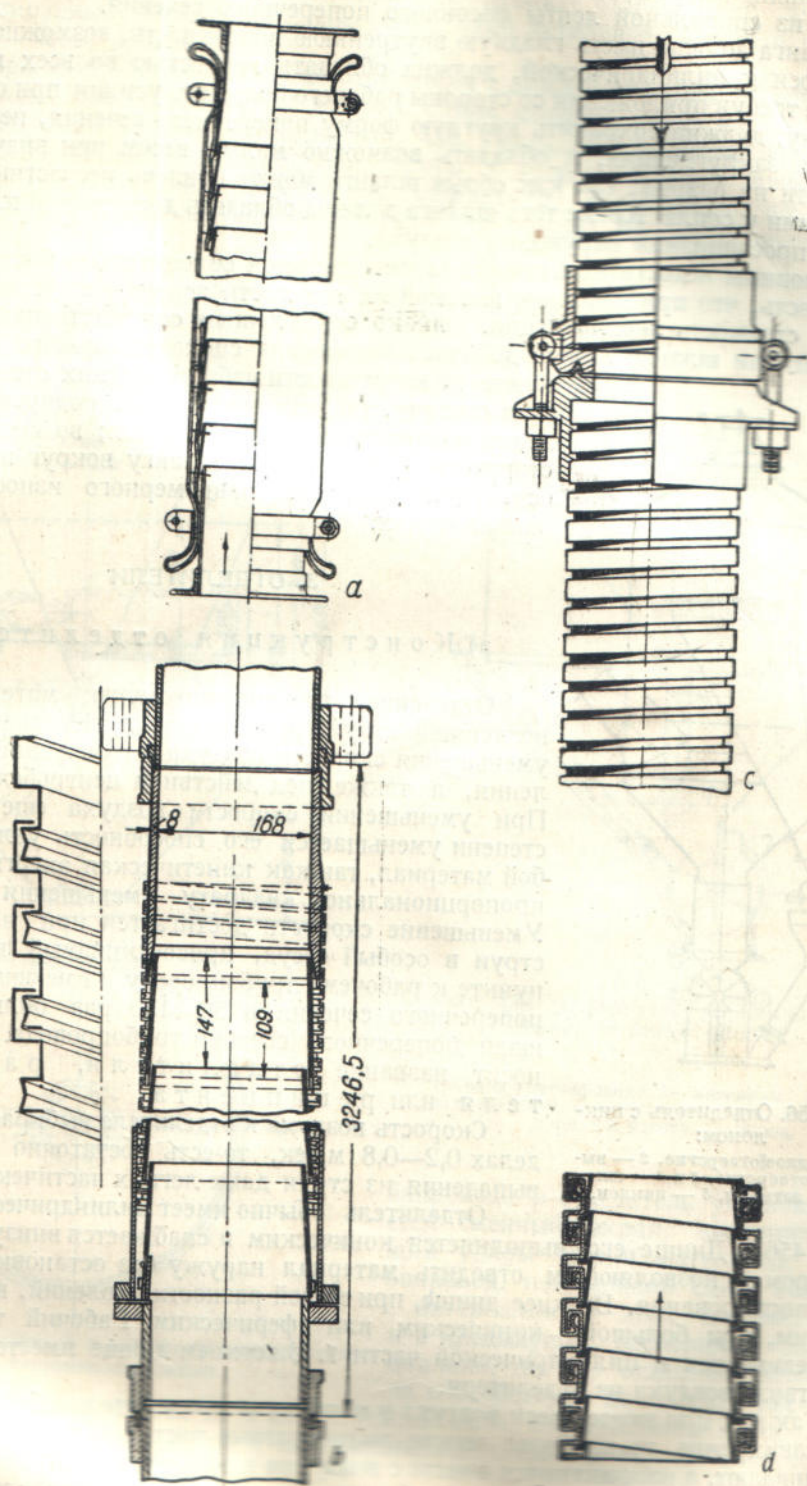
В практике употребляются гибкие шланги, изготовленные из отдельных стальных звеньев, соединенных друг с другом при помощи гибких полос и заключенных в общий кожух из прорезиненного холста (фиг. 455,а).

Помимо этой конструкции, употребляются еще шланги, составленные из фасонных стальных спиральных лент с уплотнением из асбестового или резинового шнура. На фиг. 455, б и с представлены разрез такой шланги и наружный вид в месте соединения болтами двух участков. Шланга состоит из внутренней спиральной стальной ленты, непосредственно подверженной изнашиванию, и наружных лент фасонного сечения с уплотняющим шнуром.

На фиг. 455, д изображен разрез шланги иной конструкции. Здесь внутренняя лента заменена отдельными коническими элементами, которые при

<sup>1</sup> «Mechanical Handling», 1935, № 2, стр. 37.





Фиг. 455. Гибкие шланги.

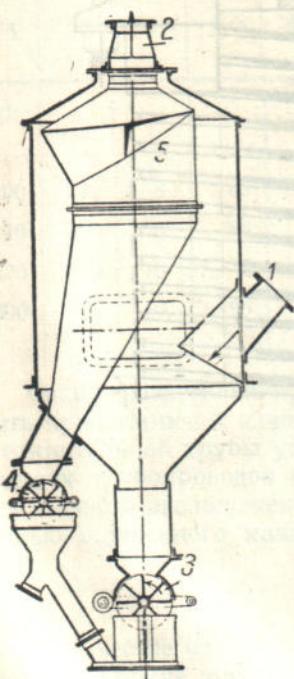
а—шланга из стальных звеньев с конусом из профинишного холста; б—шланга из фасонных спиральных лент; с—наружный вид шланга из фасонных стальных спиральных лент; д—шланга из стальных звеньев с конусом из фасонных спиральных лент.



изнашивании вынимаются и заменяются новыми. Наружная уплотняющая часть состоит из спиральной ленты фасонного поперечного сечения.

Шланга должна иметь гладкую внутреннюю поверхность, возможно приближающуюся к цилиндрической, должна обладать гибкостью во всех направлениях, не требуя приложения со стороны рабочего большого усилия при отгибании в сторону, должна сохранять круглую форму поперечного сечения, не сплющиваясь на закруглениях, и обладать возможно малым весом при значительной прочности на разрыв, так как обрыв шланга может повлечь несчастный случай с рабочими у сопла. Кроме того шланга должна обладать достаточной плотностью против просачивания наружного воздуха.

Основным недостатком гибких шланг является сравнительно быстрая изнашиваемость, что при довольно высокой их стоимости ложится ощутимым бременем на стоимость эксплуатации. Однако соблюдением соответственных правил эксплуатации шланги можно добиться повышения срока ее службы. Для этого нужно по возможности избегать резких отводов шланга в сторону, так как при малых радиусах закругления изнашиваемость повышается; во время работы стараться поворачивать шлангу вокруг продольной оси, добиваясь этим равномерного износа во всех направлениях.



Фиг. 456. Отделитель с циклоном:

1 — входное отверстие, 2 — выходное отверстие, 3 и 4 — шлюзовые затворы, 5 — циклон.

### 3. ОТДЕЛИТЕЛИ

#### а) Конструкция отделителей

Отделение транспортируемого материала от воздушной струи производят путем значительного уменьшения скорости воздуха и изменения ее направления, а также под действием центробежной силы. При уменьшении скорости воздуха еще в большей степени уменьшается его способность увлекать с собой материал, так как кинетическая энергия убывает пропорционально квадрату уменьшения скорости. Уменьшение скорости достигается при поступлении струи в особый сосуд, присоединяемый в конечном пункте к рабочему трубопроводу и имеющий площадь поперечного сечения в 50—150 раз большую площади поперечного сечения трубопровода. Сосуд этот носит название отделителя, разгрузителя или реципиента.

Скорость воздуха в отделителе выбирается в пределах 0,2—0,8 м/сек, то-есть достаточно малой для выпадения из струи даже легких частичек материала.

Отделитель обычно имеет цилиндрическую форму (фиг. 456). Днище его выполняется коническим и снабжается внизу шлюзовым затвором 3, позволяющим отводить материал наружу без остановки процесса транспортирования. Верхнее днище, при малой разности давлений, выполняется плоским, при большой — коническим или сферическим. Рабочий трубопровод присоединяется к цилиндрической части 1. В верхнем днище имеется патрубок для отвода воздуха из отделителя.

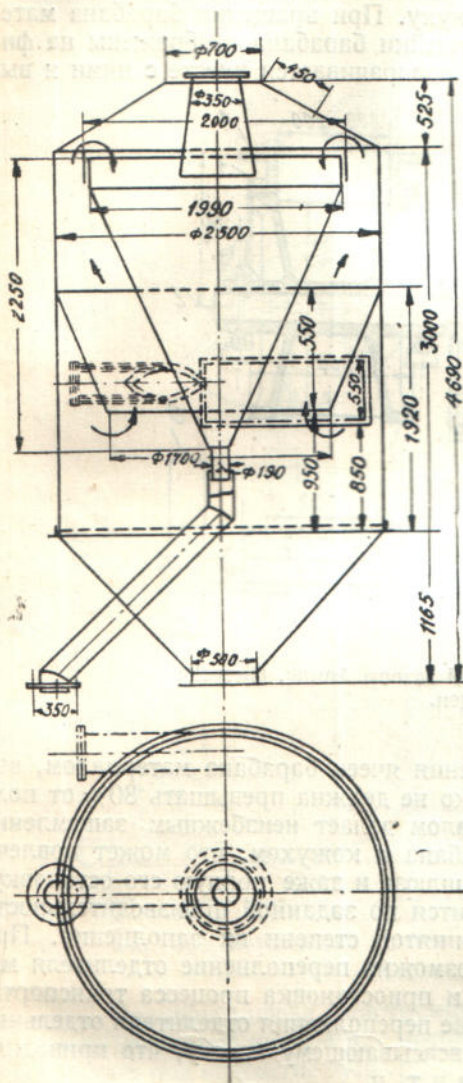
Так как при входе смеси воздуха и материала в отделитель образуется сильное завихрение, то наиболее легкие пылеобразные частички материала и пыль не выпадают, а направляются вместе с воздухом к выходному патрубку 2. Чтобы очистить воздух от этих примесей, обыкновенно в самом отделителе устраивается так называемый циклон 5. Смесь воздуха и пыли, проходя через циклон, получает криволинейное движение, причем частички пыли, как более тяжелые составляющие смеси, под действием центробежной силы отбрасываются к стенкам циклона, соприкасаясь с которыми, теряют свою скорость и скатываются вниз.



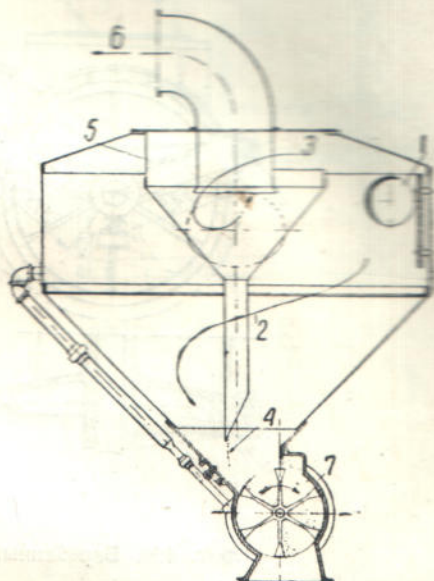
по коническому жолобу ко второму шлюзовому затвору 4, а воздух направляется вверх к выходному патрубку. <sup>1</sup> Фиг. 456 изображает отделитель с циклоном. Транспортируемый материал выходит через один шлюзовой затвор, а пыль из циклона — через другой.

Размеры одной из конструкций отделителя с циклоном видны на фиг. 457. <sup>2</sup>

Еще одна конструкция отделителя с одним шлюзом, через который выводятся и материал и пыль, видна на фиг. 458. Пыль, отделяющаяся в циклоне, сыпается по отрезку вертикальной трубы к шлюзу. Ячейки шлюза перед проходом под рабочим отверстием отделителя сообщаются по трубке с разреженным пространством отделителя (см. ниже). В месте ввода тру-



Фиг. 457. Отделитель с циклоном конструкции Стальпроммеханизации.



Фиг. 458. Отделитель с циклоном и одним шлюзом (Holly):

1—ввод трубопровода, 2—материал, 3—воздух, 4—пыль, 5—отделитель пыли, 6—трубопровод к насосу, 7—шлюз.

бопровода в отделитель устанавливается сменный экран, воспринимающий удары частиц материала. Трубопровод, подводящий смесь воздуха с материалом, в этой системе, как и в предыдущей, расположен тангенциально, так что отделению материала способствует не только уменьше-

ние скорости струи смеси, но и центробежная сила, под действием которой частицы материала прижимаются к цилиндрической стенке и теряют скорость.

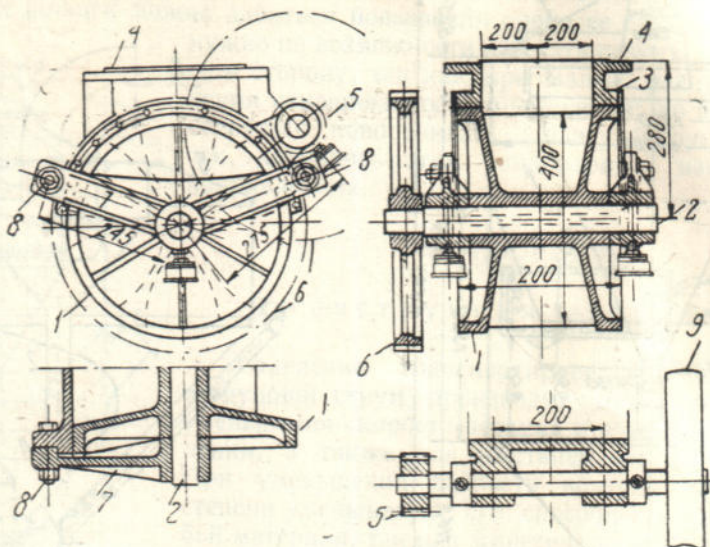
<sup>1</sup> Примерно на том же принципе основано действие так называемых воздушных сепараторов или виндзихтеров (см. ниже фиг. 483), применяемых в системе пневматического транспорта для рассортировки по крупности на 2, 3, 4 класса материалов (угля, торфа и пр.), прошедших сушильно-помольные агрегаты.

<sup>2</sup> Сборник «Обмен опытом» № 1 — 2, инж. Ф. К. Вашек, Стационарная пневматическая установка.



Из двух применяемых систем шлюзовых затворов с маятниковым и вращательным движением (барабанным) наибольшим распространением пользуются затворы барабанного (колесного) типа, приводимые во вращение от мотора. На фиг. 459 изображена одна из конструкций барабанного шлюзового затвора Amme, Giesecke & Konegen A.G.<sup>1</sup>

Затвор состоит из барабанного шлюзового колеса 1 и плотно охватывающего его, почти по полуокружности, кожуха 3. Вверху кожуха 3 снабжен фланцем 4 для присоединения к выпускному отверстию отделителя или циклона. Барабан заклинен на валу 2 и приводится во вращение от мотора при помощи шкива 9 и зубчатых колес 5 и 6. Вал 2 опирается на подшипники в перекладах 7, прикрепленных с помощью болтов 8 к кожуху. При вращении барабана материал из отделителя входит в его ячейки (ячейки барабана изображены на фигуре слева сверху пунктирными линиями), поворачивается вместе с ними и вы-



Фиг. 459. Барабанный шлюзовой затвор Amme, Giesecke und Konegen.

брасывается в атмосферу. Степень заполнения ячеек барабана материалом, вообще говоря, может быть различной, однако не должна превышать 80% от полной емкости. Переполнение ячеек материалом делает неизбежным защемление кусков между наружными кромками барабана и кожухом, что может повлечь за собой расстройство нормальной работы шлюза и даже полную его остановку. Выбор числа оборотов барабана производится по заданной производительности установки, емкости ячеек барабана и принятой степени их заполнения. При недостаточном числе оборотов барабана возможно перепополнение отделителя материалом, закупорка входного отверстия и приостановка процесса транспортирования. Известны случаи, когда вследствие перепополнения отделителя отдельные куски материала увлекались воздухом к всасывающему насосу, что приводило к поломке штоков, поршней, крейцкопфов и т. п.

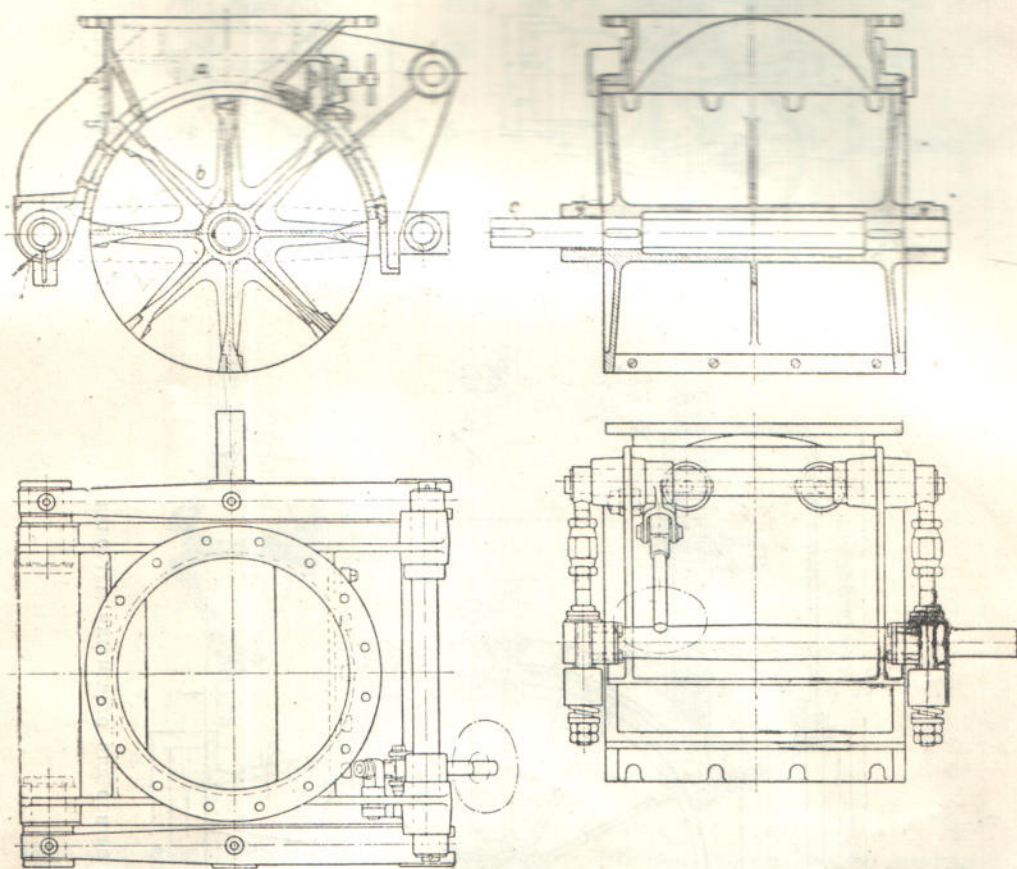
При обслуживании барабанных шлюзовых затворов необходимо принимать все меры предосторожности против затягивания в барабан одежды и т. п., так как на практике зарегистрирован ряд несчастных случаев, происшедших из-за несоблюдения правил технической безопасности.

На фиг. 460 приведена улучшенная конструкция барабанного шлюза той же фирмы Amme, Giesecke & Konegen. В улучшенной конструкции коромысло с подшипниками для вала барабана не закрепляется неподвижно к кожуху, а может поворачиваться вокруг неподвижной оси при помощи тяг эксцентрика и штур-

<sup>1</sup> Z. V. d. I., 1913, стр. 194.



вала с маховичком соединенного с рычагом эксцентрика. При срабатывании поверхности соприкосновения барабана с кожухом и нарушении плотности шлюза вращением штурвала подтягивают вверх перекладину и барабан, чем и достигают необходимой плотности. Помимо этого к кожуху, по поверхности соприкосновения его с барабаном, привинчен сменный полуцилиндр, который при изнашивании удаляется и заменяется новым. Чтобы предохранить поверхности соприкосновения от проникновения пыли, предусмотрены щетки, очищающие трущиеся поверхности барабана до прихода их в соприкосновение с полуцилиндром. Куски материала, случайно защемявшиеся между наружными кромками барабана и сменным полуцилиндром, срезаются ножами, укрепленными на внешних гранях перегородок.



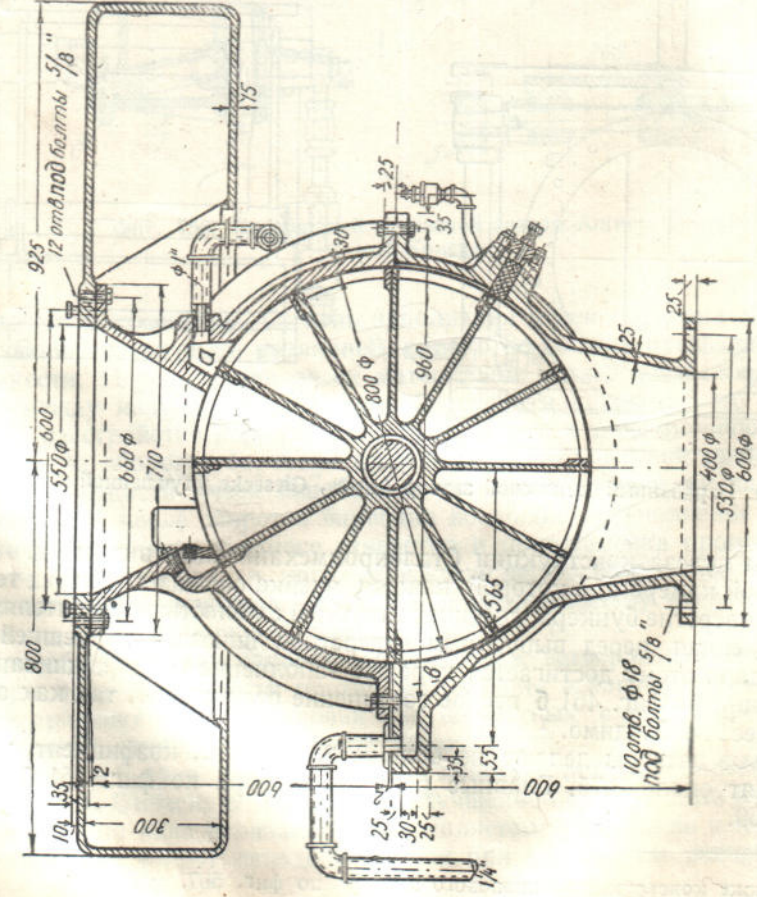
Фиг. 460. Барабанный шлюзовый затвор Amme, Giesecke улучшенной конструкции.

Размеры шлюза конструкции Стальпроммеханизации видны на фиг. 461а и б. В первой камере а, с которой каждая ячейка сообщается перед тем как попадает под отверстие бункера, соединена трубкой с полостью отделителя, а камера б, расположенная перед выпускным отверстием шлюза, — с внешней атмосферой. Благодаря этому достигается хорошее заполнение и опорожнение ячеек. В конструкции по фиг. 461 б второе соединение отсутствует, так как оно значительно менее необходимо.<sup>1</sup>

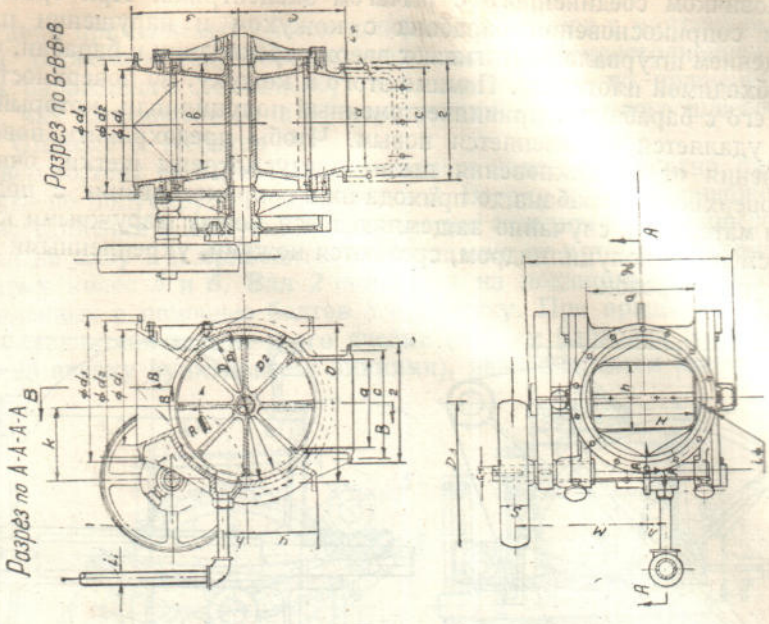
Шлюзовые затворы делают не больше 20 об/мин., коэффициент заполнения ячеек принят около 0,75. Главные размеры затвора по фиг. 461 б приведены в таблице 69.

<sup>1</sup> См. также конструкцию шлюзового затвора по фиг. 507.





Фиг. 461а. Барабанный шиловый затвор для отделителя материала.



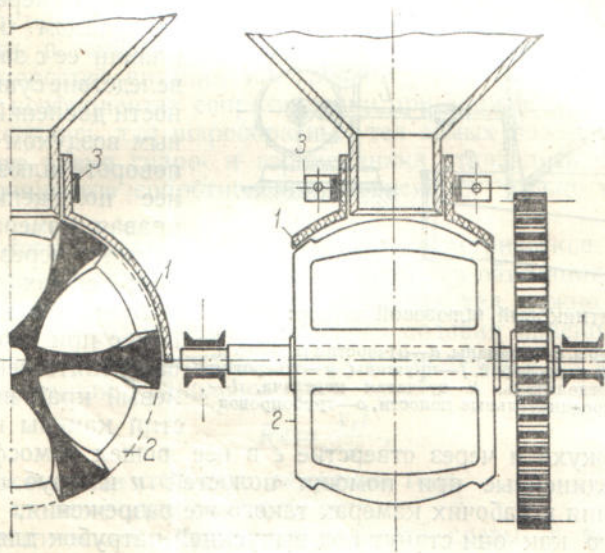
Фиг. 461б. Барабанный шиловый затвор Стальпроммс-ханизации.



## Главные размеры шлюзового затвора (по фиг. 461 б)

| № по пор. | $D$ | $D_1$ | $a$       | $b$ | $e$ | $z$ | $M$ | Производительность м <sup>3</sup> /час при 75% заполн. | Приблизительный вес (кг) |
|-----------|-----|-------|-----------|-----|-----|-----|-----|--|--------------------------|
| 1         | —   | 475   | 260       | 340 | 350 | 330 | 420 | 18 — 36  | 375                      |
| 2         | 580 | 635   | 275 × 400 | 400 | 450 | 450 | 515 | 36 — 72  | 1100                     |
| 3         | 600 | 655   | 375 × 375 | 450 | 470 | 470 | 565 | 45 — 90  | —                        |
| 4         | 630 | 690   | 325 × 450 | 520 | 550 | 515 | —   | 56 — 112   | —                        |
| 5         | 675 | 735   | 400       | 575 | 550 | 550 | —   | 67 — 135   | 1360                     |

Все перечисленные улучшения, хотя и удорожают стоимость шлюзового затвора, но делают эксплуатацию его надежней и долговечней.



Фиг. 462. Барабанный шлюзовый затвор с кожаной манжетой.

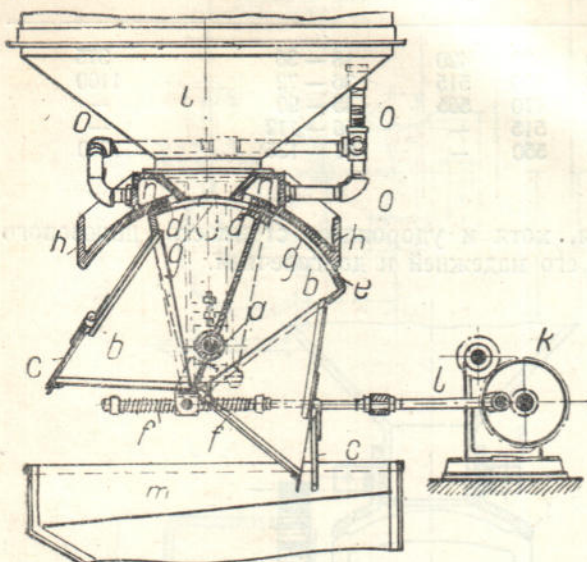
Схема оригинальной конструкции шлюзового затвора, применяемого иногда при отделителях на всасывающих системах, изображена на фиг. 462. Здесь вместо жесткого металлического кожуха устроена эластичная кожаная манжета 1. Форма барабана 2 не цилиндрическая, а шаровая, соответственно чему и манжета, склеенная из нескольких слоев прессованной кожи, представляет собой часть шаровой поверхности. Благодаря шаровой форме и значительной жесткости кожи манжета хорошо сопротивляется вдавливанию в ячейки барабана даже при довольно значительной разности давлений.

Чем больше разность давлений между наружным воздухом и отделителем, тем плотнее прижимается манжета к барабану, тем меньше, следовательно, возможность просачивания воздуха. Однако изнашивание кожи при этом увеличивается. Особое значение для уменьшения изнашивания кожи имеет смазка трущихся поверхностей графитовой пастой. Если благодаря изнашиваемости кожи значительно ухудшается плотность шлюзового затвора, то манжету немного опускают, закрепляя в новом положении хомутом 3, чем и достигается необходимая плотность. При полной изношенности манжеты ее заменяют другой. При попадании между трущимися поверхностями барабана и манжеты твердых частиц или случайных посторонних предметов, вроде гвоздей, шплинтов и т. п.,



манжета немного отклоняется, пропускает предмет и снова прижимается к барабану.

Сравнительно редко встречаются маятниковые шлюзовые затворы (фиг. 463).<sup>1</sup> Затвор состоит из двух открытых сверху рабочих камер *b*, поворачивающихся вокруг горизонтальной оси *a*, и кожуха *h*, прикрепленного к выпускному патрубку отделителя *i*. Кожух и камеры соприкасаются по поверхности кругового цилиндра. Каждая камера имеет по одному свободно висящему



Фиг. 463. Маятниковый шлюзовой затвор:

*a*—ось, *b*—рабочие камеры, *c*—клапаны, *d*—отверстия полости *n*, *e*—сообщение с внешней атмосферой, *f*—пружины, *g*—отверстия камер, *h*—кожух, *i*—отделитель, *k*—зубчатая передача, *l*—штанга, *m*—жолоб, *n*—соединительные полости, *o*—трубопровод.

клапану *c* с резиновыми прокладками. При помощи штанги *l* и зубчатой передачи *k* камерам сообщается маятниковое перемещение относительно оси *a*, благодаря чему они поочередно становятся под выпускной патрубком отделителя. В положении шлюза, изображенном на фиг. 463, левая камера загружается материалом из отделителя, клапан *е* с закрыт и прижат вследствие существующей разности давлений между наружным воздухом и камерой. При повороте шлюза в левое крайнее положение загружается правая камера, а левая выгружает через отверстие клапана *c* находящийся в ней материал в жолоб *m*. Клапан *c* при этом открывается беспрепятственно, так как левый край впускного отверстия камеры немного выдвинулся за край кожуха и через отверстие *e* в нее вошел атмосферный воздух. Отверстия *d*, соединенные при помощи полостей *n* и труб *o* с отделителем, служат для создания в рабочих камерах такого же разрежения, как и в отделителе, еще до того как они станут под выпускной патрубком для загрузки. Ось вращения *a* покоится на подвижных опорах, допускающих подтягивание шлюза вверх, если он становится недостаточно плотным вследствие истирания трущихся поверхностей.

## б) Теория и расчет отделителей

1. *О сопротивлениях движению частиц материала в воздухе.* Прежде чем перейти непосредственно к изложению метода расчета механических отделителей материала, применяющихся в установках пневматического транспорта, необходимо снова остановиться на некоторых вопросах теории относительного движения частиц материала в воздухе, так как принцип отделения транспортируемого материала от потока транспортирующего воздуха основан, как указывалось, на изменении величины скорости воздуха или ее направления, что влечет за собой возникновение движения частиц материала относительно потока воздуха и выводит их за пределы потока. Поэтому, и здесь должны быть применены теоретические положения аэродинамики твердых частиц, двигающихся в воздушной среде, причем, в соответствии с возможной величиной кусков транспортируемого материала, рассмотрению должны подлежать законы движения частиц всех крупностей в пределах от 0,001 до ~ 80 мм.

<sup>1</sup> Z. V. d. I., 1923, стр. 67.; Zimmer, The mechanical handling of material.



При определении величины сопротивления вязкой жидкости движению в ней тел, до настоящего времени применяется закон Ньютона, который дает квадратичную зависимость величины сопротивления от относительной скорости между средой и телом.

$$K = \psi F_k \frac{\rho}{2} v_r^2, \quad (468)$$

где, по предыдущему,

$F_k$  — площадь проекции тела на плоскость, перпендикулярную направлению движения тела (площадь миделевого сечения),

$v_r$  — скорость относительного движения между средой и телом,

$\rho = \frac{\gamma}{g}$  — плотность среды,

$\psi$  — коэффициент пропорциональности или так называемый коэффициент сопротивления.

Долгое время господствовало мнение, что коэффициент сопротивления  $\psi$  зависит исключительно только от формы тела и не зависит от скорости движения тела относительно среды и от геометрических размеров тела. Поэтому для вычисления сопротивления тел любых размеров применялись коэффициенты, полученные опытным путем для геометрически подобных образцов, но других размеров.

В частности, в технике пневматического транспорта существующие методы определения скоростей витания или равномерного падения тел основывались на постоянных коэффициентах сопротивления при движении шаров и полученные формулы применялись для шарообразных тел самых различных размеров.<sup>2</sup>

В настоящее время гидро- и аэромеханика отказались от применения постоянных коэффициентов сопротивления, зависящих только от формы обтекаемых тел.

Причина этого заключается в том, что геометрическое сходство тел ни в коей мере не характеризует полностью процесса обтекания тел воздухом.

Процесс обтекания геометрически подобных тел можно считать подобным только в случае сохранения механического подобия явления обтекания, которое обуславливается постоянством числа Рейнольдса.

Значение критерия Рейнольдса

$$Re = \frac{v_r l}{\nu}, \quad (469)$$

где  $v_r$  — скорость относительного движения тела,

$l$  — один из линейных размеров тела,

$\nu$  — кинематический коэффициент вязкости среды, в которой происходит движение тела.

Изменение числа Рейнольдса, как правило, имеет своим следствием изменение коэффициента сопротивления, то-есть коэффициент сопротивления является функцией числа Рейнольдса.

Приводимые ниже опытные данные всецело подтверждают этот взгляд.

Таким образом мы имеем:

$$K = \psi F_k \frac{\rho v_r^2}{2} = f(Re) F_k \frac{\rho v_r^2}{2}. \quad (470)$$

Вследствие того что мы совершенно формально придерживаемся закона сопротивления в квадратичной форме, вся сложность различного рода влияний внутреннего трения жидкости переносится на функциональную зависимость коэффициента трения от числа Рейнольдса.

Зная зависимость коэффициента сопротивления от числа Рейнольдса  $\psi = f(Re)$ , мы, тем самым, имеем возможность вычислять общее сопротивление тела определенной формы для всех жидкостей, скоростей и размеров тела. Однако

<sup>1</sup> Для удобства пользования приведенными ниже опытными кривыми и монограммами, в отличие от предыдущего (см. уравнение 324), в формулах для определения сопротивления движению тел в воздухе коэффициент сопротивления принят в два раза большим, что учитывается делением его на два.

<sup>2</sup> Инж. Л. С. Клячко, Пневматический транспорт на деревообрабатывающих предприятиях, 1927; Н. Karg, Pneumatische Materialtransport, 1927.



для другой формы и другого положения тела необходимо еще знание характерной для этой формы зависимости коэффициента сопротивления от числа Рейнольдса. Следовательно каждая форма и положение тела имеют свою собственную функцию

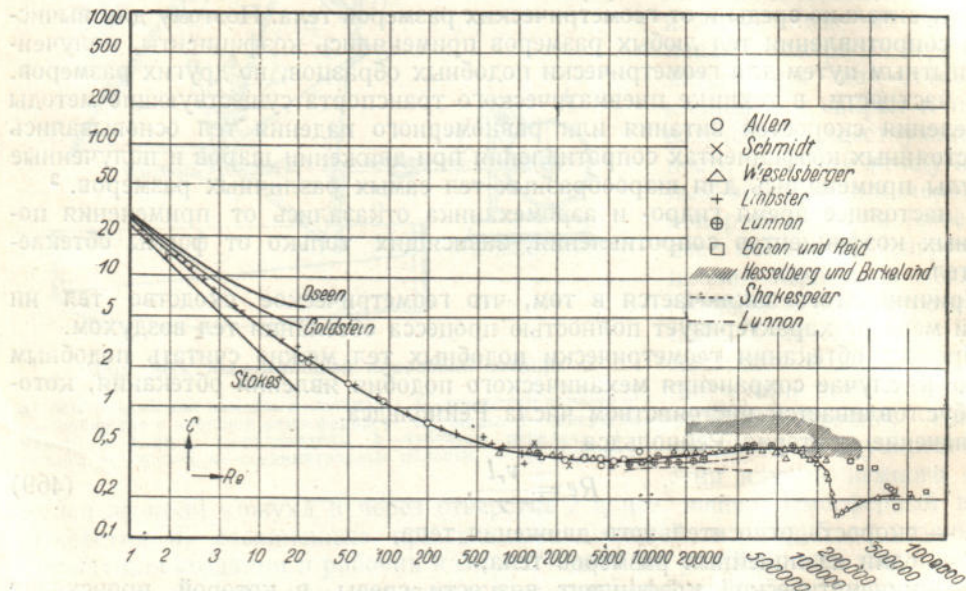
$$\psi = f(Re).$$

Для определения  $\psi$  опытным путем были проделаны многочисленные эксперименты над телами различной формы. Наиболее полно и точно значения  $\psi$  для тел шаровой формы получены в опытах Arnold'a, Allen'a, Schmidt'a, Wieselberger'a, Liebster'a, Lunnon'a и др.<sup>1</sup> для чисел Рейнольдса от 0 до  $10^6$ . Эти пределы изменения числа Рейнольдса вполне отвечают нуждам теории пневматического транспорта.

Еще в 1851 г. Стоксом был дан аналитический закон сопротивления жидкости при движении в ней шаров:

$$K = 3 \pi \nu dv_r, \quad (471)$$

где  $\mu$  — абсолютная вязкость среды.



Фиг. 464. Опытная кривая изменения коэффициента сопротивления тел шаровой формы в зависимости от числа Рейнольдса в пределах изменения от 1 до 1 000 000.

На основании этого закона и закона Ньютона, позднее было выведено значение коэффициента сопротивления в зависимости от числа Рейнольдса.

$$\psi = \frac{24}{Re}. \quad (472)$$

Oseen в 1913 г. внес изменения в эту формулу, придав ей следующий вид:

$$\psi = \frac{24}{Re} \left( 1 + \frac{3}{16} Re \right). \quad (473)$$

В 1929 г. Goldstein'ом эта зависимость дана была в виде

$$\psi = \frac{24}{Re} \left[ 1 + \frac{3}{16} Re - \frac{19}{1280} (Re)^2 + \frac{71}{20480} (Re)^3 \right]. \quad (474)$$

На фиг. 465 в логарифмических координатах даны кривые зависимости коэффициента сопротивления  $\psi$  для шаров, как функции числа Рейнольдса —  $Re$ , построенные по теоретическим формулам Стокса, Озеена, Гольдштейна и опытная

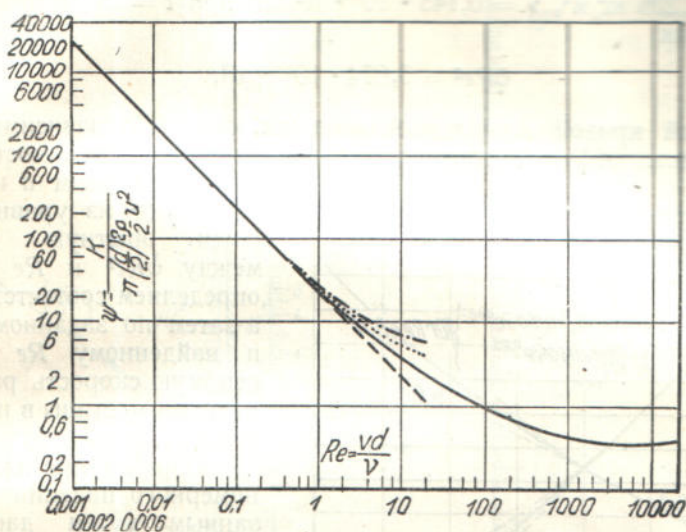
<sup>1</sup> См. Prandtl-Tietjens, Hydro- und Aeromechanik, Bnd. II, Berlin, 1931.



кривая Арнольда, Аллена и других исследователей. Из сравнения кривых видно, что до значения  $Re \leq 0,1$  опыты и теоретические формулы всех трех авторов практически совпадают.

При значении  $Re > 0,1$  кривые начинают расходиться и уже при значении  $Re = 1$  мы имеем по формуле Стокса преуменьшение на 13% по сравнению с опытной кривой и по формуле Озеена преувеличение на 3%.

При  $Re = 10$  соответственно имеем преуменьшение по Стоксу на 44% и преувеличение по Озеену на 64%. Эти отклонения достаточно значительны для того, чтобы при значениях  $Re > 0,1$  при определении  $\psi$  для шаров пользоваться экспериментальной кривой Арнольда-Аллена, а не приведенными выше теоретическими формулами.



Фиг. 465. Опытная кривая изменения коэффициента сопротивления тел шаровой формы в пределах изменения числа Рейнольдса от 0,001 до 10 000.

2. Движение тел в воздухе под влиянием силы тяжести. Определение скоростей витания или скоростей равномерного осадения. При падении тел в воздухе, благодаря наличию сопротивления воздуха движению тела, возрастающего примерно пропорционально квадрату скорости через некоторый промежуток времени, сила сопротивления становится равной силе тяжести и падение равномерным. Скорость равномерного падения тела в неподвижном воздухе соответствует скорости витания, то-есть скорости восходящего потока воздуха, при которой вес тела уравнивается подъемной силой потока и тело находится в неподвижном состоянии (не имеет абсолютной скорости). Поэтому для определения скоростей витания достаточно определить равную ей скорость равномерного падения тела в неподвижном воздухе.

При равномерном падении частицы шаровой формы имеем:

$$K = \psi F_k \frac{v_r^2 \gamma_l}{2g}; \quad (475)$$

$$K = \frac{\pi d^3}{6} (\gamma_k - \gamma_l); \quad F_k = \frac{\pi d^2}{4},$$

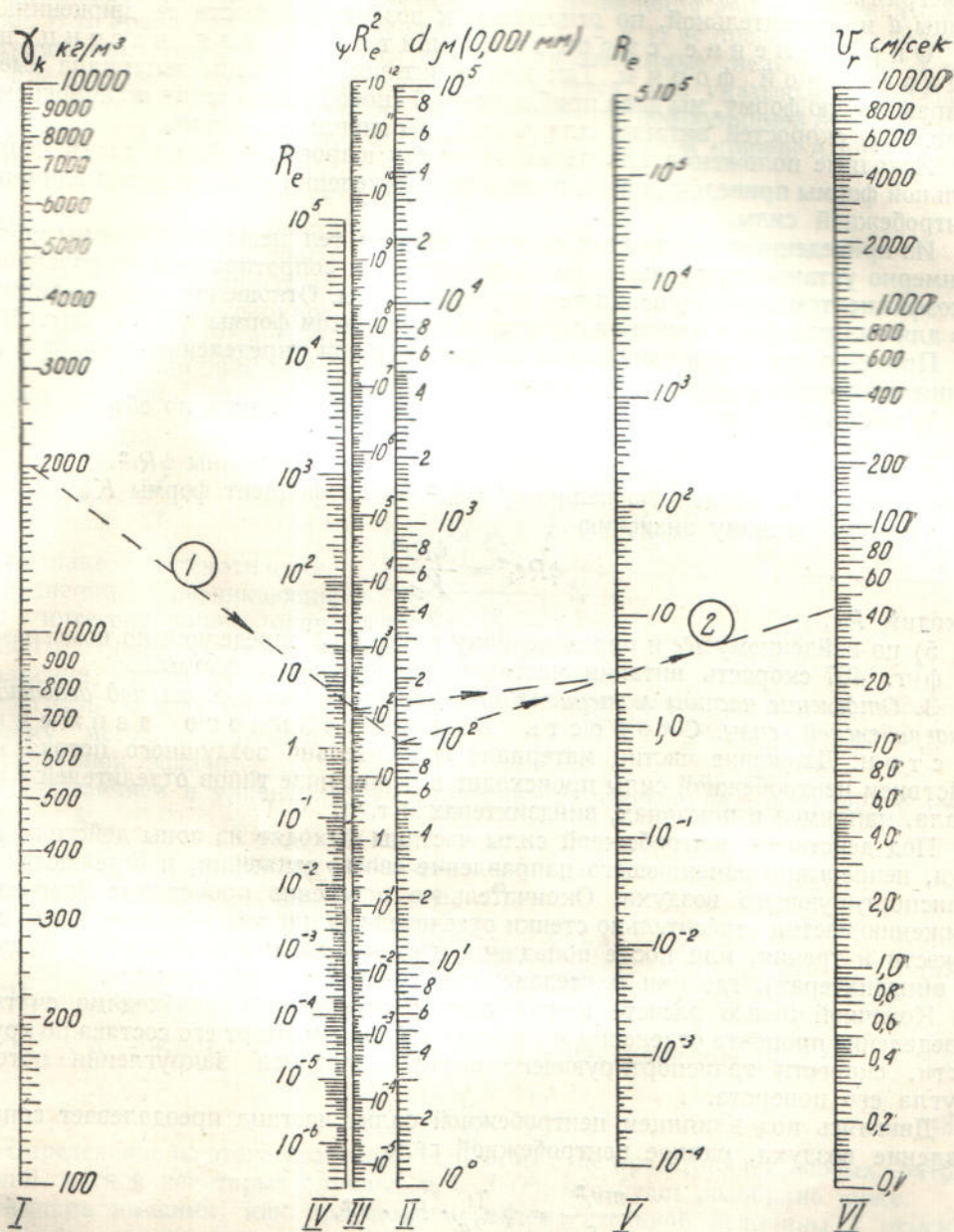
здесь  $\gamma_k$  кг/м<sup>3</sup> — удельный вес материала и  $d$  — диаметр частицы.

$$\psi v_r^2 = \frac{4}{3} \frac{d (\gamma_k - \gamma_l) g}{\gamma_l},$$









$\gamma_k = 1,226 \text{ kg/m}^3$ ;  $\psi = 0,145 \text{ cm}^2/\text{сек}$ ; (при  $t = 15^\circ\text{C}$  и  $P = 760 \text{ мм рт.ст.}$ )

$\gamma_k - \alpha - \psi R_e^2 - R_e$  ①

К. 2004

$\alpha - R - U$  ②

Фиг. 467. Номограмма для определения скорости движения тела шаровой формы.



Кроме того шкалы II, V и VI могут быть использованы (как отдельная номограмма) для определения числа Рейнольдса  $Re$  по заданным размерам частицы  $d$  и относительной, по отношению к воздуху, скорости ее движения  $v_r$ .

Определение скоростей витания для частиц неправильной формы. Так как практически частицы материала имеют неправильную форму, мы даем приближенный способ определения по номограмме (фиг. 467) скоростей витания для частиц неправильной формы.

Исходные положения для перехода от тел шаровой формы к телам неправильной формы приведены ниже, в разделе об отделении материала под влиянием центробежной силы.

Из приведенных там данных следует, что для тел нешаровой формы можно примерно установить превышение коэффициента их сопротивления по сравнению с коэффициентом сопротивления тел шаровой формы. Отношение этих коэффициентов для тел равных объемов называется коэффициентом формы  $K_\phi$  (см. фиг. 481).

При пользовании номограммой по фиг. 467 для определения скоростей витания тел неправильной формы нужно:

- 1) найти подсчетом диаметр тела шаровой формы, равного по объему интересующей нас частичке  $d_{\text{экс}}$ ,
- 2) сделать по номограмме обычное определение величины  $\phi Re^2$ ,
- 3) разделить найденную величину  $\phi Re^2$  на коэффициент формы  $K_\phi$ ,
- 4) по найденному значению

$$\phi Re_1^2 = \frac{\phi Re^2}{K_\phi} \quad (478)$$

находим  $Re$ ,

5) по найденному  $Re$  и определенному ранее  $d_{\text{экс}}$  определяем по номограмме на фиг. 467 скорость витания частички неправильной формы.

3. *Отделение частиц материала при изгибе потока воздуха под действием центробежной силы.* Скорость относительного движения частиц. Движение частиц материала относительно воздушного потока под действием центробежной силы происходит в целом ряде типов отделителей материала, например в циклонах, виндзахтерах и т. п.

Под действием центробежной силы частицы выходят из зоны действия потока, непрерывно изменяющего направление своего движения, и отделяются от транспортирующего воздуха. Окончательное отделение происходит благодаря движению частиц относительно стенки отделителя (в циклоне), под влиянием сил тяжести и трения, или после попадания частиц в зону неподвижного воздуха (в виндзахтерах), где они и оседают под действием силы тяжести.

Конечной целью расчета расчетов центробежных отделителей необходимо считать определение процента отделения материала в зависимости от его состава по крупности, скорости транспортирующего воздуха, радиуса закругления потока и угла его поворота.

Двигаясь под влиянием центробежной силы, частица преодолевает сопротивление воздуха, равное центробежной силе

$$\frac{mv_t^2}{r} = \phi \frac{\gamma_t}{2g} \cdot F_k \cdot v_r^2, \quad (479)$$

откуда

$$v_r^2 = \frac{mv_t^2 \cdot 2g}{r \cdot \phi \cdot \gamma_t \cdot F_k}. \quad (480)$$

Выражая значение  $m$  и  $F_k$  через  $d$  и  $\gamma_k$  (для частички шаровой формы), где  $d$  — диаметр, а  $\gamma_k$  — удельный вес частицы, имеем

$$v^2 = \frac{4}{3} \cdot \frac{\gamma_k}{\gamma_t} \cdot \frac{d \cdot v_t^2}{r \cdot \phi}. \quad (481)$$

О вспомогательной величине  $S$ . Для определения процента отделения материала, при повороте потока необходимо уметь определить минимальный диаметр частиц, которые успеют пройти заданную ширину потока



за время его поворота. Скорость движения частиц, согласно формуле (481), зависит от удельного веса частицы, ее диаметра, удельного веса воздуха, скорости воздуха, радиуса поворота и коэффициента сопротивления движению тела в воздухе. Во время как определение величины  $\gamma_k$ ,  $\gamma_l$ ,  $r$  и  $v_l$  не представляет больших затруднений, определить аналитически взаимозависимые величины  $\psi$ ,  $d$  и  $v_r$  не представляется возможным, так как  $\psi$  является, как указывалось в разделе определения скоростей витаний, весьма сложной опытной функцией  $Re$  (по данным L. Schiller'a и A. Neumann'a, <sup>1</sup> в соответствии с опытной кривой Arnold-Allen'a

$$\psi = \frac{24}{Re} [1 + 0,15 (Re)^{0,687}],$$

причем это уравнение действительно только для  $Re \leq 800$ .

Определение  $d_{min}$ , ввиду наличия взаимозависимых величин, возможно только после преобразования уравнения (481) в дифференциальное уравнение заменой скорости  $v_r$

через  $\frac{dr}{dt}$ :

$$v_r = \frac{dr}{dt}.$$

Однако математические затруднения, возникающие при интегрировании полученного дифференциального уравнения, заставляют нас прибегнуть к графоаналитическому методу разрешения поставленной задачи.

Подставляем в уравнение (481) значение  $d$ , выраженное через число Рейнольдса  $Re$ :

$$d = \frac{Re \nu}{v_r}$$

и получаем

$$\frac{\psi}{Re} v_r^3 = \frac{4}{3} \cdot \frac{\gamma_k}{\gamma_l} \frac{\nu \cdot v_l^2}{r}. \quad (482)$$

Принимаем следующие обозначения:

$\frac{\psi}{Re} \cdot v_r^3 = S$  — вспомогательная величина или из уравнения (482):

$$S = \frac{4}{3} \frac{\gamma_k}{\gamma_l} \cdot \frac{\nu v_l^2}{r}. \quad (483)$$

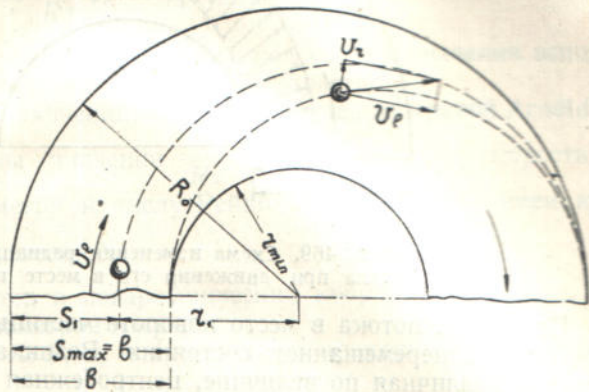
Определение из этого уравнения величины  $S$  не представляет особых затруднений, хотя в некоторых случаях  $v_l = f(r)$ , что будет разобрано ниже.

Теперь выясним, как при помощи вспомогательной величины  $S$  отыскивается  $d_{min}$  и определяется степень отделения материала.

Изменение скорости частицы материала при ее движении во время поворота струи воздуха. Условием отделения каждой частицы будет достижение этой частицей внешней границы изгибающегося потока. Чем ближе частица к внутренней границе потока, тем больший путь должна она пройти за время поворота.

В наиболее неблагоприятных условиях, с точки зрения возможности отделения, находятся частицы, двигавшиеся в начале поворота у внутренней границы потока. Эти частицы должны пересечь всю ширину потока.

Каждая частица в радиальном направлении движется с переменной скоростью (фиг. 469), закон изменения которой считаем пока неизвестным.

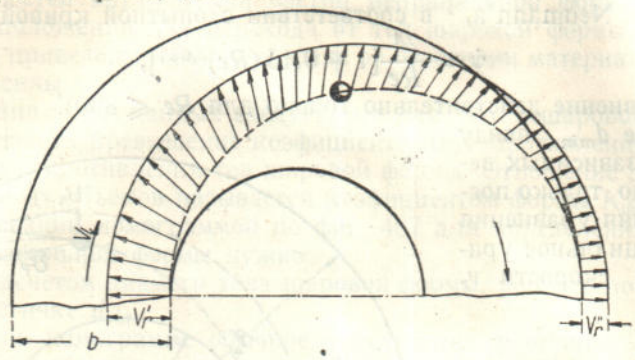


Фиг. 468. Траектория движения тела при изгибе потока воздуха.

<sup>1</sup> Z. d. V. d. I. 1933, № 12.



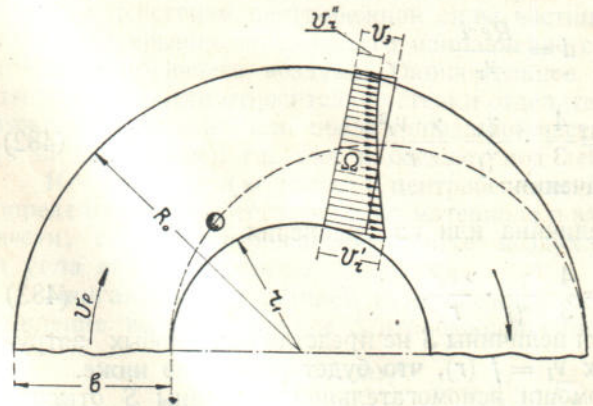
Если мы на радиусе отложим значение радиальных скоростей  $v_r$  частицы данного диаметра (фиг. 470), то  $\int_{r_1}^{r_2} v_r dr$ , выражающийся площадью  $\Omega$ , разделенный на ширину потока  $b$ , даст значение некоторой равномерной скорости  $v_0$ , с которой тело прошло бы в то же время тот же путь, что и при своем, в действительности неравномерном, движении.



Фиг. 469. Схема изменения радиальных скоростей тела при движении его в месте изгиба потока.

При входе потока в место поворота частицы различной крупности несутся в воздухе в перемешанном состоянии. Возникающая при повороте у каждой частицы, различная по величине, центробежная сила зависит, при прочих равных условиях, от массы, то-есть от размера частицы. Под действием этих различных по величине центробежных сил частицы пересекают поток воздуха с различными скоростями.

Чем крупнее частица, тем быстрее она двигается в радиальном направлении и тем больший путь она успевает пройти за время поворота.



Фиг. 470. Эюра радиальных скоростей тела, построенная по ширине сечения потока.

Каждому расстоянию в радиальном направлении от внешней границы потока соответствует определенная минимальная крупность частицы  $d_{min}$ , при которой частица еще успеет достичь внешней границы потока при заданных радиусе, угле и времени поворота. Зная время поворота и пути, которые должны пройти частицы, находившиеся на различном расстоянии от внешней стенки, мы можем легко вычислить эквивалентные скорости для каждого расстояния от внешней границы потока и по

этим найденным эквивалентным скоростям, способом, изложенным ниже, определить минимальные диаметры отделяемых частиц, находившихся перед поворотом на данных расстояниях от внешней границы потока.

Построение диаграммы зависимости между  $v$ ,  $S$  и  $d$ . Для каждого данного диаметра частицы величина  $\frac{\phi}{Re} v_r^3$  из уравнений (461) соответствует только одному значению скорости данной частицы  $v_r$ , если зависимость между коэффициентом сопротивления тела  $\phi$  и числом Рейнольдса  $Re$  мы возьмем из опытной кривой Arnold'a, Allen'a и др.



Действительно, если дана опытная графическая зависимость вида  $\psi = f(Re)$ , то можно написать, что и

$$\frac{\psi}{Re} = f_1(Re) = f_1\left(\frac{v_r d}{\nu}\right). \quad (484)$$

Положив  $\frac{d}{\nu} = \text{const}$ , имеем

$$\frac{\psi}{Re} = f_2(v_r)$$

или соответственно

$$S = \frac{\psi}{Re} v_r^3 = f_3(v_r). \quad (485)$$

Таким образом для ряда диаметров нами были подсчитаны значения вспомогательной величины  $S$  в зависимости от величины скоростей  $v_r$ .

Для последовательного ряда значений чисел Рейнольдса из кривой Arnold'a, Allen'a и др. были определены значения  $\frac{\psi}{Re}$ . Соответственная скорость  $v_r$  определялась по данному диаметру и числу Рейнольдса. Перемножением куба скорости на  $\frac{\psi}{Re}$  получалась величина  $S$ .

На основании этих подсчетов в логарифмических координатах  $S$  и  $v_r$  построены кривые для данных диаметров частиц.

Пределы изменения величины  $S$ ,  $v_r$  и  $d$ , взятые из практических соображений, видны на фиг. 471.

Определение  $d_{min}$  по диаграмме  $v-S-d$ . Для того чтобы определить минимальный диаметр частицы, которая успеет отделиться при данном угле поворота потока  $\alpha$  и его скорости  $v_l$ , если частицы в начале поворота находились на расстоянии  $b$  от внешней границы потока, необходимо сделать следующее.

Определить время движения воздуха на повороте

$$t = \frac{2\pi r_{cp} \alpha}{v_{l(cp)}}, \quad (486)$$

где  $\alpha$  — угол поворота потока в долях окружности,

$r_{cp}$  — средний радиус поворота потока в м,

$v_{cp}$  — скорость воздуха, соответствующая этому радиусу поворота в м/сек.

Для расстояния частицы от внешней границы потока  $b = h_0 - r$  (фиг. 470) определяем величину минимальной эквивалентной скорости частицы, при которой частица успеет достичь внешней границы потока.

$$v_0 = \frac{b}{t} = \frac{R_0 - r}{t}. \quad (487)$$

Далее, для того чтобы воспользоваться диаграммой (фиг. 471) и определить  $d_{min}$ , необходимо для  $r$  и  $R_0$  найти значения вспомогательной величины

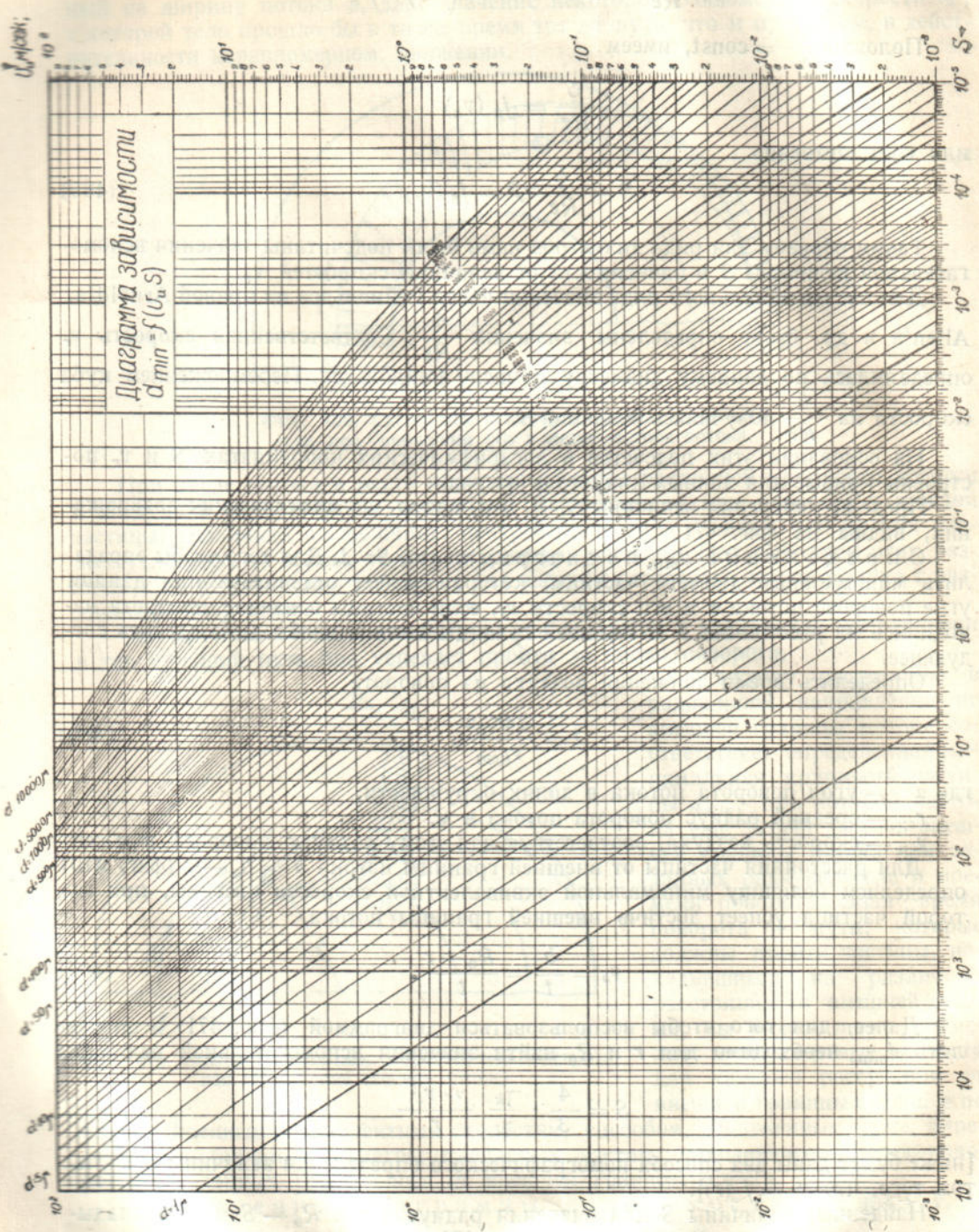
$$S = \frac{4}{3} \cdot \frac{\gamma_k}{\gamma_l} \frac{v \cdot v_l^2}{r}$$

[ниже будут даны два способа номографического определения величины  $S$  с учетом того, что  $v_r = f(r)$ ].

Найденные величины  $S$  для значений радиусов  $r$  и  $R_0$  —  $S$  и  $S_0$  откладывают на оси абсцисс диаграммы на фиг. 472.

Вертикали, проведенные через полученные значения  $S$ , отсекают отрезки кривых зависимости скоростей от величины  $S$  (а значит и от  $r$ ) для частиц каждого данного диаметра, так как эти кривые характеризуют распределение скоростей по сечению потока с шириной  $b = R_0 - r$ .

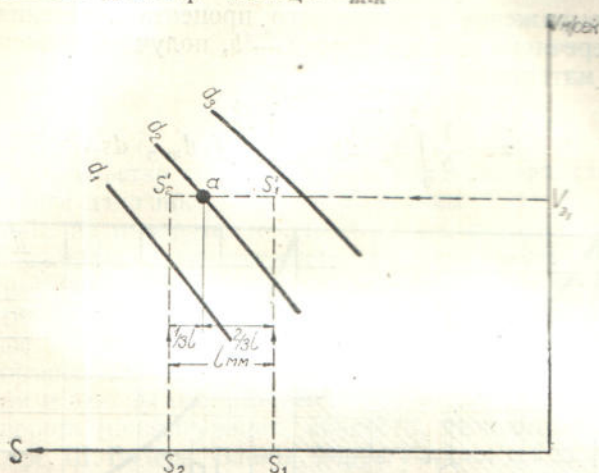




Фиг. 471. Диаграмма  $\nu-S-d_{\min}$ .



Из определения  $v_s$  следует, что оно является средним интегральным значением радиальной скорости  $v_r$  для данного расстояния  $b = R_0 - r$ . Самый же закон распределения скоростей в данном сечении потока дан отрезками кривых для различных диаметров, заключенными между нашими значениями  $S$ . Подбирая отрезок кривой, среднее интегральное значение скоростей которого равно вычисленному нами значению скорости  $v_s$ , мы тем самым определяем соответствующий минимальный диаметр частицы  $d_{min}$ .



Фиг. 472. Способ пользования диаграммой  $v-S-d_{min}$ .

Для облегчения нахождения  $d_{min}$  укажем, что, как будет разобрано ниже, значение  $S_{cp}$ , соответствующее среднему интегральному значению скорости, лежит в наших масштабах примерно на одной трети отрезка  $S_0 \leftrightarrow S$  в мм, откладывая его от большего значения  $S$  к меньшему.

Определение процента отделения материала при повороте струи (коэффициента полезного действия отделяющего устройства). Для того чтобы определить процент отделения материала при повороте струи, мы при наличии изложенного выше метода определения  $d_{min}$  воспользуемся методом Р. Rosin'a, W. Intelmann'a и E. Rammler'a.<sup>1</sup>

Распространим закономерность, которой подчиняется отдельная частица, на всю пыль в сечении струи.

Для этого возьмем элементарный объем воздуха  $h \cdot ds \cdot dl$ , находящийся на расстоянии  $S$  от внешней границы потока в момент начала его поворота (фиг. 473). Здесь  $dl$  — элементарный размер, перпендикулярный к плоскости чертежа.

Содержание материала в элементарном объеме выражается

$$dq = h \cdot ds \cdot dl \cdot \mu, \quad (488)$$

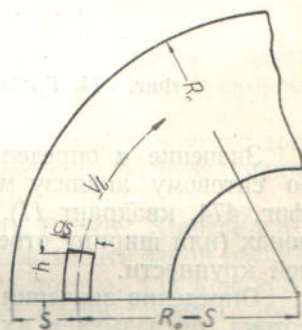
где  $\mu$  — весовая концентрация смеси в кг/кг материала/воздуха. При повороте отделяются все частицы, диаметр которых больше  $d_{min}$ , определенного по диаграмме  $v-S-d$  (фиг. 473).

Элементарное количество уловленного материала

$$dq_a = h \cdot ds \cdot dl \cdot \mu \frac{R_{(d_{min})}}{100} = h \cdot ds \cdot dl \mu \frac{f(d_{min})}{100}; \quad (489)$$

$R_{(d_{min})}$  — остаток в процентах на сите с отверстиями, равными  $d_{min}$ .

<sup>1</sup> Z. V. d. I, 1932, № 18, стр. 434.



Фиг. 473. Схема к расчету процента отделения материала.

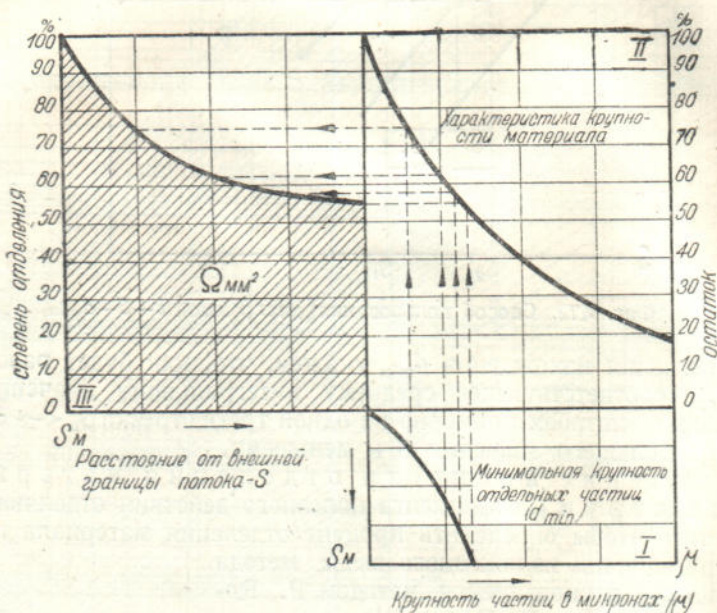


Частный процент отделения материала для рассматриваемого элемента объема или для бесконечно тонкого слоя  $h \cdot ds$  на расстоянии  $s$ —от внешней границы поворота потока

$$\alpha_s = 100 \frac{dq_s}{dq} = f(d_{min}). \quad (490)$$

Интегрируя выражение для частного процента отделения материала по всей ширине поперечного сечения потока —  $b$ , получаем значение полного процента отделения материала

$$\alpha = \frac{1}{b} \int_0^b \alpha_s \cdot ds = \frac{1}{b} \int_0^b f(d_{min}) ds. \quad (491)$$



Фиг. 474. График для определения процента отделения материала.

Значение  $\alpha$  определяем графическим способом. Для этого вначале строим по ситовому анализу материала графическую характеристику его крупности (фиг. 474, квадрант II). На оси абсцисс откладываем крупность частиц в микронах (или ширину отверстия сита), а на оси ординат — остаток на ситах данной крупности.

Определив значения  $d_{min}$  для различных расстояний  $s$  от внешней границы потока, откладываем их в квадранте I (фиг. 474).

В квадранте III на свободной оси еще раз наносится величина  $s$ . Затем обе оси  $s$  делятся на одинаковое число отрезков. Проводим соответственно какому-либо значению  $s$  линию, параллельную оси крупности до пересечения с кривой  $d_{min}$ ; далее из точки пересечения проводим под прямым углом к оси крупностей линию до пересечения с линией характеристики крупности материала и из полученной точки пересечения проводим в квадранте III линию до пересечения с ординатой соответственного значения  $s$ . Получаем значения частного коэффициента отделения материала. Проводя последовательно построения для ряда значений  $s$  и соединив все полученные точки, соответствующие частным значениям процента отделения, получаем площадь  $\Omega$  (на фиг. заштрихована). Спланиметрировав эту площадь и разделив на полную ширину потока —  $b$ , получаем полный процент отделения материала или так называемый коэффициент полезного действия отделяющего устройства.



Распределение скоростей воздуха по сечению потока при изгибе. Относительное движение частиц материала на изгибе потока воздуха под действием центробежной силы зависит от распределения скоростей в сечении самого воздушного потока.

Согласно существующей теории, в случае движения идеальной жидкости поток на повороте приобретает распределение скоростей по сечению, соответствующее так называемому закону площадей

$$v_l r = \text{const}$$

или

$$v_l = \frac{\text{const}}{r}.$$

Краткое доказательство справедливости этого закона для случая поворота идеальной жидкости дано проф. А. А. Саткевичем.<sup>1</sup>

При движении на повороте не идеальной, а реальной жидкости явление значительно усложняется и «математическая зависимость между геометрическими параметрами изогнутого канала и кинематическими и динамическими свойствами потока (поля скоростей, ускорений и сил) до сих пор не найдена».<sup>2</sup>

Значительное количество экспериментальных исследований,<sup>3</sup> частично затрагивающих интересующий нас вопрос, дает возможность установить, что характер движения и законы распределения скоростей изменяются в зависимости от условий поворота (конфигурация, скорости, вязкости и т. д.).

Из работ Сафе, Ш. Водера, Bankie, Nippert'a, Leil'я и других исследователей следует, что чем ближе мы подходим в опыте к схеме вращения идеальной жидкости, тем точнее оправдывается закон площадей. При отходе же от условия вращения идеальной жидкости в целом ряде случаев закон площадей переходит в закон постоянных угловых скоростей (статический закон вращения). Явление возникновения в некоторых случаях поворота движения жидкости по спирали мы пока не будем разбирать, так как условия возникновения и гидродинамика этого движения являются еще не изученными в достаточной степени.

Схематически движение реальной жидкости на повороте можно наметить следующим образом:

1) при вступлении жидкости в зону поворота она стремится распределить скорости потока согласно закону площадей, то-есть с возрастанием к центру поворота;

2) благодаря вязкости реальной жидкости более удаленные слои, двигаясь медленнее слоев, лежащих к центру, стараются сравниться с ними в скорости, и происходит постепенное выравнивание скоростей;

3) отсутствие движения одного слоя жидкости относительно другого достигается на последней стадии поворота, когда силы вязкости заставляют жидкость двигаться уже с выравненными угловыми скоростями.

В упомянутых выше работах Абрамовича (ЦАГИ), Bankie, Nippert'a и др. мы не находим определенных указаний на то, каков может быть закон распределения скоростей в сечении изгибающегося воздушного потока, для конкретных конструкций отделителей и сепараторов в установках пневматического транспорта, так как основные эксперименты производились над капельными жидкостями в изогнутых каналах, причем эти эксперименты давали результаты, часто противоречащие друг другу. Поэтому особо ценной является для нас экспериментальная работа проф. П. Смухнина<sup>4</sup> над реальными конструкциями

<sup>1</sup> Проф. А. А. Саткевич, Уравнение поперечного взаимодействия струй и его применение к анализу форм в жидкой жидкости. «Изв. Росс. гидротехнического ин-та», 1924, № 9.

<sup>2</sup> Г. Н. Абрамович Гидродинамика потока в изогнутых каналах, Сборник статей по пром. аэродинамике и вентиляционной, под ред. К. А. Ушакова, 1935, ЦАГИ.

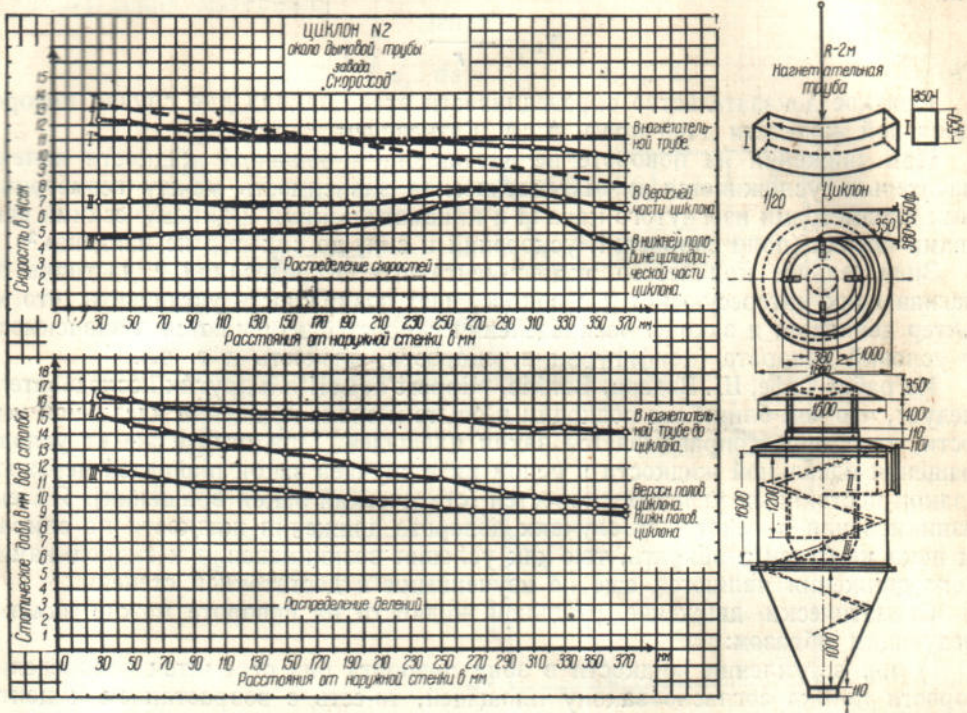
<sup>3</sup> Разбор значительного количества экспериментальных исследований поворота жидкости можно найти в цитированной выше работе инж. Г. Н. Абрамовича и в работе инж. С. Н. Сыркина, Обзор теорий циклонного процесса, ВИТЭО, 1933 (не опубликована).

<sup>4</sup> П. Смухнин, Центробежные пылеотделители-циклоны.



циклонов. В этой работе достаточно тщательно измерены интересующие нас поля скоростей в циклонах. Из анализа полученных проф. П. Смухниним данных следует, что изменение скоростей воздуха по сечению при изгибе потока весьма приближается к изменению по статическому закону, причем, чем больше радиус поворота и чем меньше ширина потока, тем с большим правом можно принять, что скорости в любых точках сечения равны между собой.

Этот закон распределения скоростей также принят Rosin'ом, Rammler'ом и Intelmann'ом при расчете циклонов.



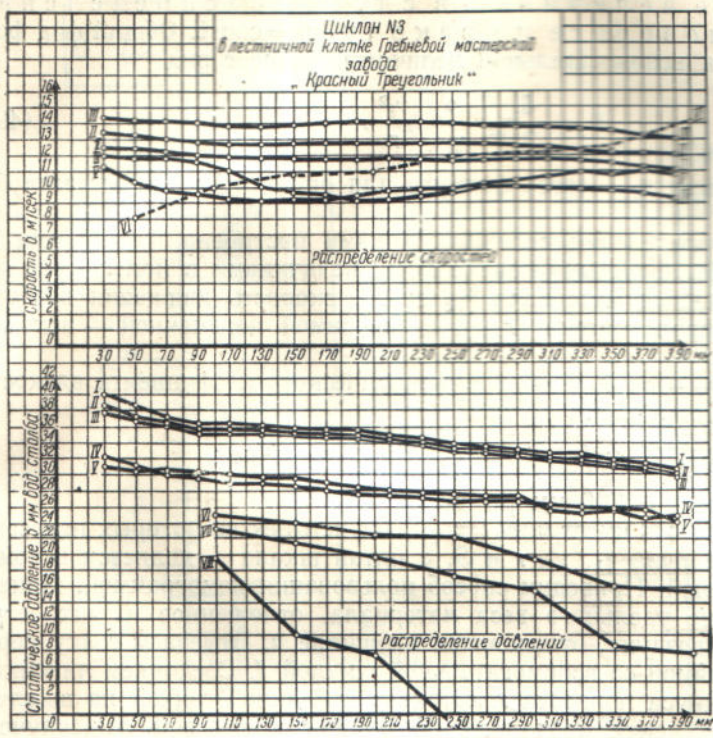
Фиг. 475. Распределение скоростей и давлений в циклонах двух конструкций (опыты проф. П. Смухнина).

На фиг. 475—477 приведены результаты экспериментов проф. П. Смухнина над циклонами. На фиг. 475, для наибольшего радиуса поворота потока, видно (кривая I), что можно с достаточной точностью считать  $v_r = \text{const}$  (пунктирная линия I').

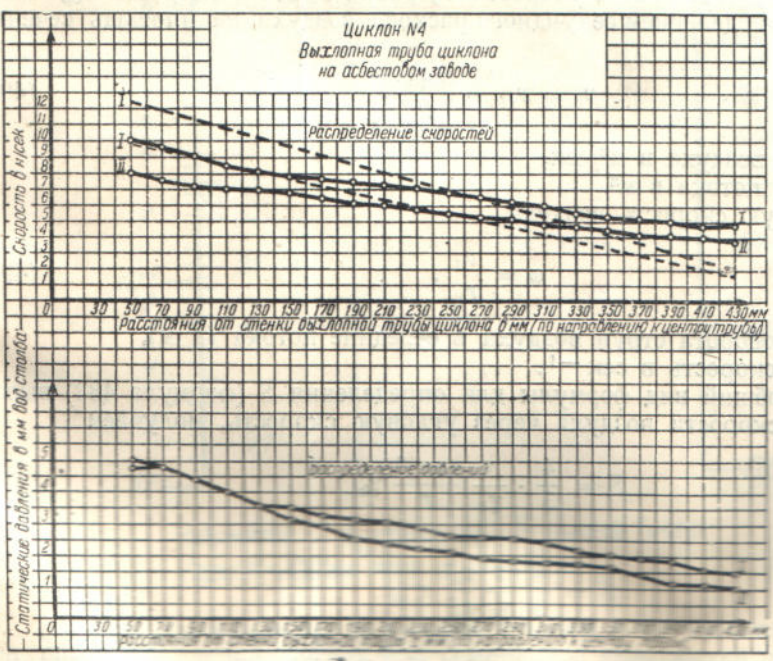
На фиг. 476, изображающей полученные результаты для другого циклона, видно, что для наибольшего радиуса кривые I, II, III еще более соответствуют допущению, что  $v_r = \text{const}$ . В случае же небольшого радиуса поворота и сравнительно широкого потока необходимо придерживаться статического распределения скоростей по сечению ( $\omega = \text{const}$ ). Эта тенденция видна на фиг. 477, на которой дано распределение скоростей вращения в выхлопной трубе циклона. Пунктиром изображены линии, точно соответствующие закону  $\omega = \text{const}$ .

Разделяя выводы проф. П. Смухнина в отношении основной тенденции распределения скоростей при изгибе потока воздуха, приближающегося тем ближе к статическому, «чем по инее удастся выравнять воздушный поток мерами конструктивного свойства», мы все же, на основании изложенного выше, примем для дальнейших расчетов, что для больших радиусов поворота и небольшой ширины потока (движение в цилиндрической части циклонов) скорость по сечению постоянна по величине, а для малых радиусов поворота и относительно широкого потока (огибание кромок в виндзахтерах) примем статический закон распределения скоростей ( $\omega = \text{const}$ ).





Фиг. 476. Распределение скоростей и давлений в циклонах двух конструкций (опыты проф. П. Смухлина).



Фиг. 477. Распределение скоростей и давлений в выхлопной трубе циклона (опыты проф. П. Смухлина).



Определение величины  $S$  в случае распределения скоростей на повороте по закону  $v_l = \text{const}$ . Общий вид формулы для определения вспомогательной величины  $S$  имеет вид

$$S = \frac{4}{3} \gamma_k \frac{\nu}{\gamma_l} \frac{v_l^2}{r}. \quad (492)$$

В данном случае при  $v_l = \text{const}$  формула для определения  $S$  остается без изменений.

Для облегчения определения величины  $S$  нами построена номограмма из выравненных точек. Независимыми переменными величинами в номограмме являются удельный вес частиц материала ( $\gamma_k$  кг/м<sup>3</sup>), скорость движения воздуха ( $v_l$  м/сек), радиус поворота потока ( $r$  м), а зависимой переменной — искомая величина  $S$ .

Значения удельного веса воздуха и кинематического коэффициента вязкости воздуха приняты постоянными:

$$\gamma_l = 1,226 \text{ кг/м}^3; \quad \nu = 0,145 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2/\text{сек},$$

то-есть для  $t = 15^\circ\text{C}$  и  $p = 760$  мм рт. ст.

Номограмма на фиг. 478 имеет пять шкал, на четырех из которых нанесены значения зависимых величин  $\gamma_k$ ,  $v_l$ ,  $r$  и  $S$ , а пятая шкала  $I$  является вспомогательной «немой» шкалой. Приводим способ пользования номограммой. Линейкой соединяем значение удельного веса материала, отложенное на шкале  $\gamma_k$ , со значением скорости воздуха, отложенным на шкале  $\nu$ . Отмечаем точку пересечения полученной прямой со вспомогательной шкалой  $I$ . Соединяем линейкой значение величины радиуса поворота  $r$  потока с найденной точкой на шкале  $I$  и отмечаем точку пересечения продолженной прямой со шкалой  $S$ . Полученная точка на шкале  $S$  и дает значение отыскиваемой вспомогательной величины  $S$ .

Определение величины  $S$  в случае распределения скоростей воздуха на повороте по закону  $v_l = \text{const} \times r$  ( $\omega = \text{const}$ ). Для преобразования общего вида формулы для определения  $S$  (формула 483) необходимо определить значение угловой скорости  $\omega$ .

В середине струи величина скорости  $v_0$  равна средней скорости  $v_{cp}$  и поэтому определяется делением секундного расхода воздуха на площадь сечения потока.

$$v_0 = v_{cp} = \frac{Q_{сек}}{F}, \quad (493)$$

где  $Q_{сек}$  — расход воздуха в м<sup>3</sup>/сек,  
 $F$  — сечение потока в м<sup>2</sup>.

Определяем угловую скорость воздуха

$$\omega = \frac{v_0}{r_0}, \quad (494)$$

где  $r_0$  — радиус поворота струи воздуха в середине потока (в м),  
 $\omega$  — угловая скорость в сек<sup>-1</sup>.

Подставив в общий вид формулы для определения  $S$  (формула 483) выражение величины скорости воздуха через угловую скорость, получаем

$$S = \frac{4}{3} \cdot \frac{\nu}{\gamma_l} \frac{(\omega r)^2}{r} \gamma_k \quad (495)$$

и окончательно

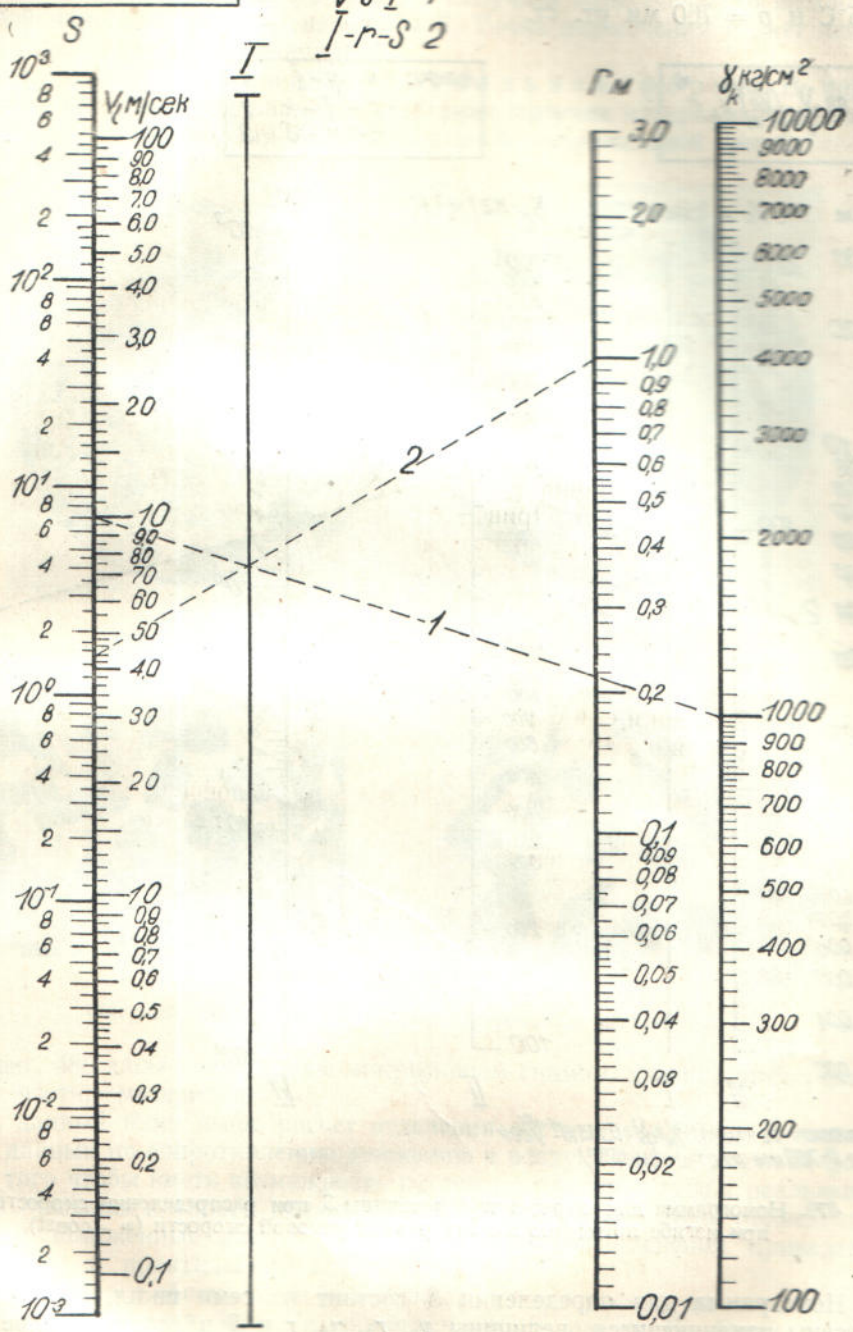
$$S = \frac{4}{3} \frac{\nu}{\gamma_l} \frac{v_0^2}{r_0^2} r \gamma_k. \quad (496)$$

Для ускорения нахождения величины  $S$  для данного случая построена номограмма (фиг. 479) из выравненных точек. Номограмма связывает пять изменяющихся величин — среднюю скорость воздуха на повороте  $v_0$  м/сек, средний



$$S = 1,23 \frac{\nu V_1^2 \delta_k}{\delta \nu \Gamma}$$

ключ  
 $V-\delta-\Gamma$  1  
 $\Gamma-r-S$  2



принято:  $\delta_k = 1220 \text{ кг/м}^3$  и  $\nu = 0,145 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2/\text{сек}$   
 (при  $P = 760 \text{ мм рт.ст.}$  и  $t = +15 \text{ C}$ )

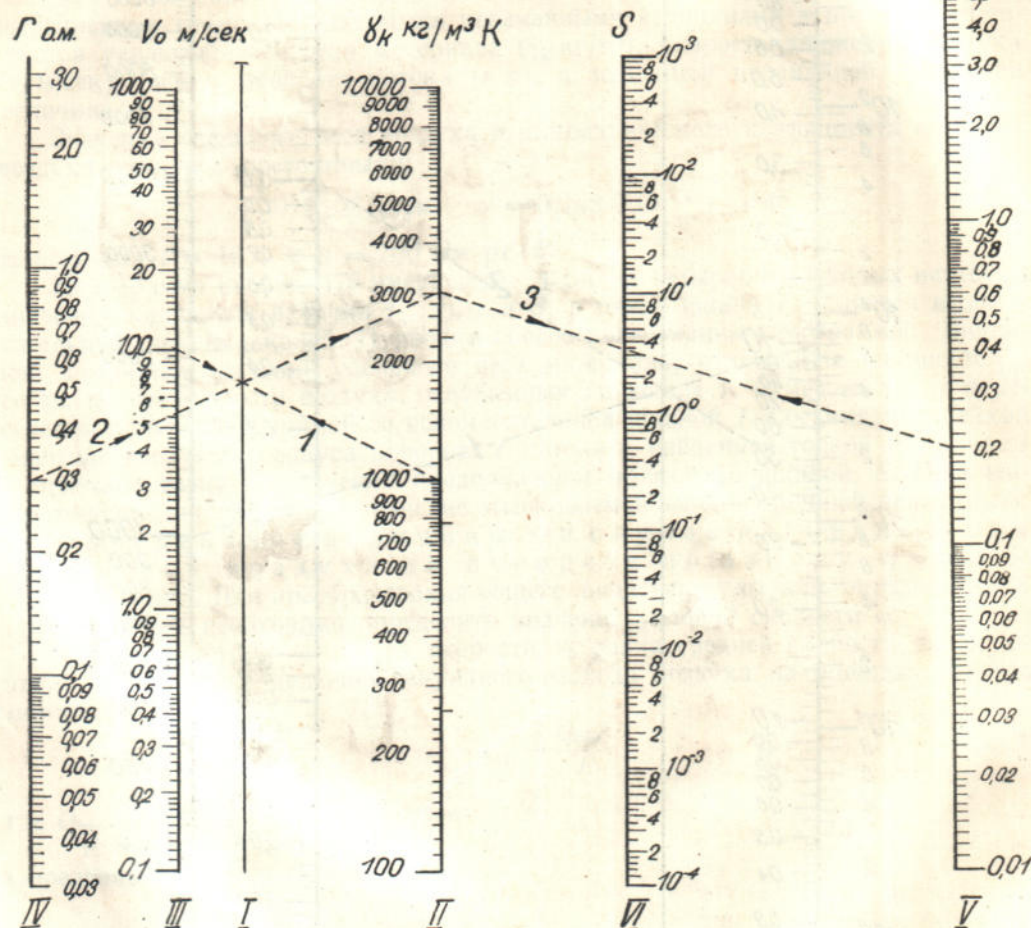
Фиг. 478. Номограмма для определения величины  $S$  при распределении скоростей воздуха при изгибе потока по закону  $v_1 = \text{const}$ .



радиус поворота  $r_0$  м, удельный вес отделяемого материала  $\gamma_k$  кг/м<sup>3</sup>, переменный радиус поворота  $r$  м и искомую вспомогательную величину  $S$ . Значения удельного веса ( $\gamma_k$ ) и кинематического коэффициента вязкости воздуха ( $\nu$ ) приняты постоянными и равными  $\gamma_k = 1,226$  кг/м<sup>3</sup>,  $\nu = 0,145 \cdot 10^{-4}$  м<sup>2</sup>/сек, то-есть для  $t = 15^\circ\text{C}$  и  $p = 760$  мм рт. ст.

$$S = 1,33 \frac{\nu}{\gamma_k} \left( \frac{v_0}{r_0} \right)^2 \gamma_k r^3$$

Ключ:  $v - \gamma - I \quad 1$   
 $r - I - k \quad 2$   
 $k - r - S \quad 3$



\* принято:  $\gamma_k = 1,226 \text{ кг/м}^3$ ,  $\nu = 0,145 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2/\text{сек}$   
 (при  $p = 760$  мм рт.ст. и  $t = 15^\circ\text{C}$ )

Фиг. 479. Номограмма для определения величины  $S$  при распределении скоростей воздуха при изгибе потока по закону равной угловой скорости ( $\omega = \text{const}$ ).

Номограмма для определения  $S$  состоит из семи шкал. На пяти из них нанесены изменяющиеся величины  $v_0$ ,  $r_0$ ,  $\gamma_k$ ,  $r$  и  $S$  и остальные две шкалы  $I$  и  $K$  являются «немыми» вспомогательными шкалами.

Способ пользования номограммой следующий.

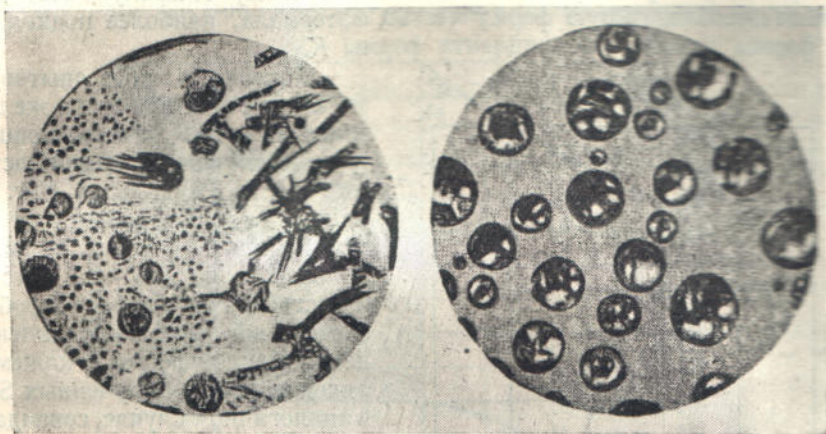
Линейкой соединяется значение удельного веса материала ( $\gamma_k$ ), взятое на шкале  $II$ , со значением средней скорости воздуха на повороте  $v_0$  (шкала  $III$ ) и отмечается точка пересечения полученной линии с вспомогательной немой шкалой  $I$ . Далее значение среднего радиуса поворота  $r_0$ , взятое на шкале  $IV$ , соединяется линейкой с замеченной точкой на вспомогательной шкале  $I$  и отыс-



живается место пересечения полученной линии с вспомогательной шкалой *K* (на шкале *II*).

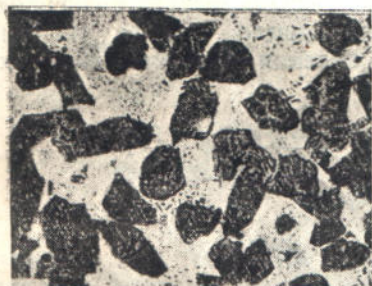
Соединив найденную точку на шкале *K* (шкала *II*) со значением радиуса поворота данной части потока (шкала *V*), получаем пересечение со шкалой *VI*, на которой нанесены значения величины *S*. Точка пересечения и дает искомое значение вспомогательной величины.

Отделение частиц неправильной формы. В практических случаях транспортирования и отделения сыпучих материалов приходится иметь дело с частицами самой разнообразной неправильной формы.



Волосистый селен

Кадмиева пыль



Пылевидный уголь

Фиг. 480. Микроснимки частиц пылевидных материалов.

На фиг. 480 даны увеличенные микроскопом снимки, дающие представление о форме частиц материала.

Весь данный нами выше расчет отделения частиц основан на экспериментальных данных по сопротивлению движению в воздухе частиц шаровой формы.

Для того чтобы иметь возможность рассчитывать устройства с реальным материалом, частицы которого имеют неправильную форму, ниже приведены некоторые приближенные данные для возможности применения приведенного выше расчета к практическим случаям.

Для некоторого обоснования возможности такого расчета мы воспользуемся данными экспериментов Schulz'a, приведенными в работе Fr. Prockat'a.<sup>1</sup>

В результате многочисленных экспериментов с кинематографическим изучением падения тел (шар, куб, необработанные тела) в воде и в масле, Schulz'y удалось дать понятие и некоторые численные значения коэффициентов формы.

Хотя и весьма неточно, но коэффициент формы дает величину коэффициента сопротивления движению в воздухе тел той или иной формы по отношению к коэффициенту сопротивления тела шаровой формы и эквивалентного по весу.

<sup>1</sup> Beitrag zur Kenntnis der Vorgänge bei der Abscheidung von Stauben, Braunkohle, 1931, №3.

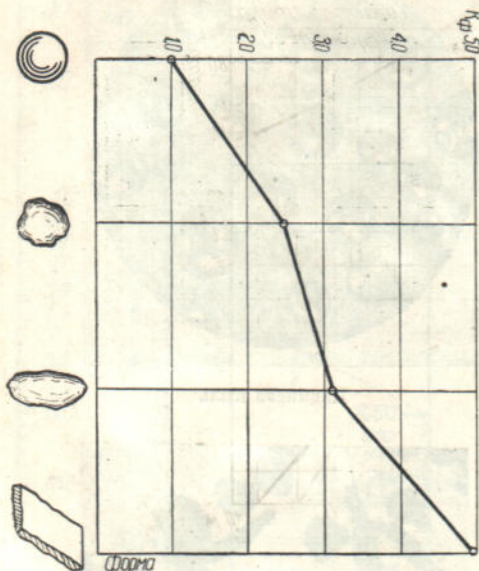


В частности имеем:

- |  |                          |
|--|--------------------------|
| 1) для тел округленной формы с неровной поверхностью . . . . . | $K_{\phi} = 2,42 (2,5),$ |
| 2) для тел продолговатой формы . . . . .                       | $K_{\phi} = 3,08 (3,0),$ |
| 3) для тел пластинчатой формы . . . . .                        | $K_{\phi} = 4,97 (5,0)$  |
| и 4) для шаровой формы эквивалентного веса . . . . .           | $K_{\phi} = 1.$          |

Для удобства пользования и ориентировки построен график (фиг. 481) зависимости  $K_{\phi}$  от формы тела.

По приведенному на фиг. 481 ориентировочному графику необходимо выбрать, зная преобладающую форму частиц материала, наиболее подходящее для данной формы значение коэффициента формы  $K_{\phi}$ .



Фиг. 481. Значение коэффициента формы для различных тел.

Конечно, данные опытов Schulz'a не могут считаться столь же достоверными и полно охватывающими различные случаи движения частиц (разные числа Рейнольдса и т. д.), как опыты Arnold'a, Allen'a и др. для тел шаровой формы, но мы будем пользоваться ими за отсутствием известных нам более подробных исследований по сопротивлению тел неправильной формы. Укажем, что порядок величин, полученных Schulz'ом в аналогичном случае, совпадает с данными Wieselberger'a<sup>1</sup> по сопротивлению цилиндрических тел.

Воспользуемся значениями  $K_{\phi}$  для нашего расчета. Из основного уравнения центробежной силы имеем

$$\frac{mv_l^2}{r} = \psi \cdot \frac{\rho}{2} F \cdot v_r^2. \quad (497)$$

В случае частиц неправильной формы будем иметь

$$\frac{mv_l^3}{r} = K_{\phi} \psi \frac{\rho}{2} F v_r^2. \quad (498)$$

После необходимых преобразований для определения вспомогательной величины  $S$  получим

$$K_{\phi} \frac{\psi}{Re} v_r^3 = S \quad (499)$$

или

$$\frac{\psi}{Re} v_r^3 = \frac{S}{K_{\phi}}. \quad (499')$$

Таким образом для случая отделения тел неправильной формы можем воспользоваться нашей диаграммой на фиг. 471 и соответственно откладывая на оси абсцисс вместо значения  $S$ , определенного по соответствующей номограмме (фиг. 478-или 479), значение  $\frac{S}{K_{\phi}}$ . Найденные из диаграммы величины  $d_{min}$  и есть величины частиц шаровой формы, эквивалентных по объему частицам неправильной формы.

4. *Примеры расчета отделителей материала.* Расчет степени отделения материала в циклоне. Требуется рассчитать отделение

<sup>1</sup> Phys. Z. Bd. 22, стр. 321, 1921.

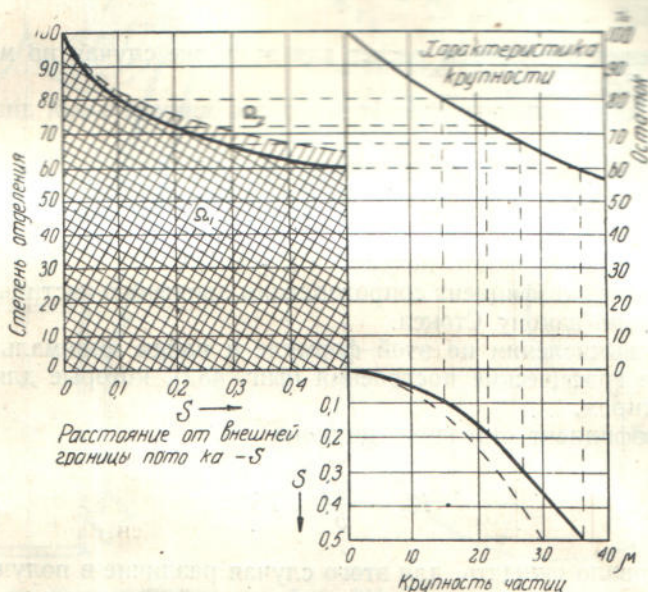


материала в циклоне при условиях: диаметр циклона  $D = 3$  м; расстояние между внутренней и внешней стенками циклона  $b = 0,5$  м; скорость вдувания воздуха с материалом в циклон  $v_l = 20$  м/сек; гранулиметрический состав материала дан на фиг. 482 в виде графической характеристики крупности. Материал — пылевидный уголь, мелкий, на 95% мельче 200  $\mu$ , удельный вес его  $\gamma_k = 1200$  кг/м<sup>3</sup>.

Определяем время поворота воздуха в циклоне

$$t = \frac{\pi D}{v_l} \cdot u, \quad (500)$$

где  $u$  — число оборотов (циркуляций) воздуха в цилиндрической части циклона.



Фиг. 482. Графическое определение процента отделения материала в циклоне.

Вследствие того что поток воздуха, ввиду малой высоты цилиндрической части циклона, успевает сделать примерно один оборот, принимаем  $u = 1$ .

Тогда

$$t = \frac{3,14 \cdot 3,0 \cdot 1}{20} = 0,47 \text{ сек.}$$

Составляем расчетную таблицу.

Таблица 70

Расчетная таблица к примеру 1

|           |     |       |       |       |       |       |
|-----------|-----|-------|-------|-------|-------|-------|
| $r$       | 1,5 | 1,4   | 1,3   | 1,2   | 1,1   | 1,0   |
| $s$       | 0,0 | 0,1   | 0,2   | 0,3   | 0,4   | 0,5   |
| $v_a$     | 0,0 | 0,213 | 0,426 | 0,639 | 0,842 | 1,065 |
| $S$       | 4,7 | 5,0   | 5,5   | 6,0   | 6,5   | 7,1   |
| $d_{min}$ | 0,0 | 1,5   | 22    | 27    | 31    | 36    |

Здесь  $r$  — радиус отдельных полос, на которые был разбит поток для расчета,  $s$  — соответствующее расстояние до внешней стенки циклона от расчетных границ,

$v_a = \frac{s}{t}$  — эквивалентная скорость для каждой расчетной полосы.



$S$  — вспомогательная величина, определяемая по номограмме (фиг. 478), составленной для случая закона равных скоростей в сечении, какой, как нами было указано выше, применим для циклона. Имея значения  $S$  и  $v_a$ , определяем с помощью диаграммы  $v - S - d_{min}$  (фиг. 471) соответствующие значения  $d_{min}$ .

По найденным значениям  $d_{min}$ ,  $S$  и имеющейся характеристике гранулиметрического состава угольной пыли строим диаграмму для определения степени отделения материала (фиг. 482). После графического интегрирования находим полный коэффициент отделения циклона.

Для нашего случая

$$K_1 = \frac{\Omega_1}{b} = 71\%.$$

Для сравнения произведем расчет для этого же случая по методу Rosin'a, Rammler'a и Intelmann'a.<sup>1</sup>

Определим для различных расчетных полос минимальный диаметр отделяемых частиц.

$$d_{min} = 3 \sqrt{\frac{\mu q}{\pi \cdot \gamma_k v_l}} \sqrt{s \left(1 - \frac{s}{D}\right) \frac{1}{u}}, \quad (501)$$

где  $\mu$  — абсолютная вязкость воздуха в кг-сек/м<sup>2</sup>.

В этой формуле коэффициент сопротивления движению частицы относительно воздуха принят по закону Стокса.

Произведя вычисления по этой формуле и найдя минимальные диаметры, производим все графические построения (фиг. 482), которые для этого случая сделаны пунктиром.

Полный коэффициент отделения циклона

$$K_2 = \frac{\Omega_2}{b} = 75\%.$$

Как и следовало ожидать, для этого случая различие в полученных результатах невелико, так как нами рассматривалось отделение весьма мелкой угольной пыли с законом сопротивления, почти точно подчиняющимся соотношениям Стокса ввиду получающихся при движении малых чисел Рейнольдса.

Например, даже для максимальной крупности пылинки, определяемой на наибольшем  $s = 0,5$ ;  $d = 30 \mu$  и при соответственном  $v_a = 1,065$  м/сек (см. расчетную таблицу)

$$Re = \frac{v_a d_{min}}{\eta} \cong 2,1,$$

то-есть даже для худшего случая движение примерно подчиняется закону Стокса.

Расчет виндзихтера (сепаратора). На фиг. 483 дана схема виндзихтера проходного типа конструкции, применяемой Стальпроммеханизацией.<sup>2</sup>

Сепарация производится за счет изменения направления потока, как это показано на фиг. 483 и 484, причем первый поворот потока не создает отделения, так как материал снова попадает в поток воздуха.

Рабочим служит второй поворот, расчет отделения материала на котором мы и произведем.

Из чертежа видно, что  $R_0 = \frac{1}{2} D = 0,65$  м.

Скорость движения воздуха, исходя из расхода и площади сечения кольца,

$$v_l = \frac{Q}{F \cdot 3600} = \frac{55\,000}{3,18 \cdot 3600} = 4,8 \text{ м/сек.}$$

<sup>1</sup> См. Z. d. V. D. I. 1932, № 18, стр. 434.

<sup>2</sup> См. Альбом выполненных конструкций «Стальпроммеханизации».



Из условий отделения материала без вторичного подхвата частиц принимаем угол поворота (см. фиг. 484)  $\alpha = 135^\circ$ , что соответствует  $u = \frac{135^\circ}{360^\circ} = 0,375$ .

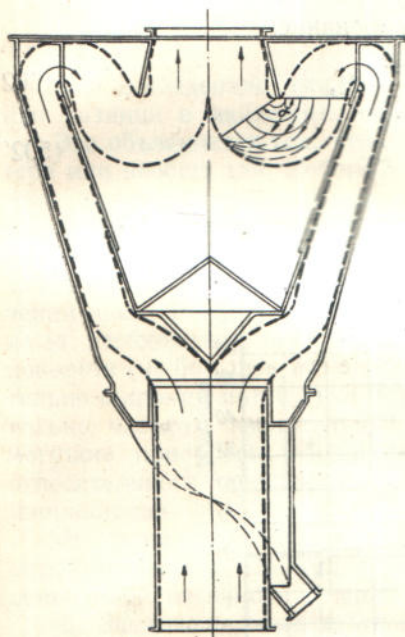
Время поворота

$$t = \frac{2\pi r_0}{v_l} u = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 0,325 \cdot 0,375}{4,8} = 0,16 \text{ сек.}$$

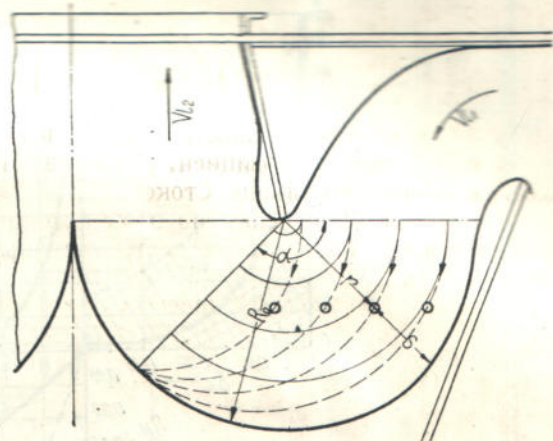
Согласно принятому нами для этого случая закону распределения скоростей по сечению потока  $v = \omega r$  принят средний радиус

$$r_0 = \frac{R_0}{2} = \frac{0,650}{2} = 0,325 \text{ м.}$$

Составляем расчетную таблицу так же, как это сделано в первом примере.



Фиг. 483. Схема работы виндзихтера.



Фиг. 484. Деталь рабочего поворота воздуха в виндзихтере.

Значения вспомогательной величины  $S$  получены нами по номограмме на фиг. 479. Затем по диаграмме  $v-S-d_{min}$  (фиг. 471) определяем искомые значения величины  $d_{min}$  и строим по найденным величинам и имеющейся характеристике гранулиметрического состава материала диаграмму для определения процента отделения материала (фиг. 485).

Таблица 71

Расчетная таблица к примеру 2

|           |                   |                   |                     |                     |                     |
|-----------|-------------------|-------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| $r$       | 0,650             | 0,500             | 0,350               | 0,200               | 0,050               |
| $s$       | 0,0               | 0,150             | 0,300               | 0,450               | 0,600               |
| $v_0$     | 0,0               | 0,935             | 1,870               | 2,81                | 3,75                |
| $S$       | $9 \cdot 10^{-1}$ | $7 \cdot 10^{-1}$ | $4,7 \cdot 10^{-1}$ | $2,7 \cdot 10^{-1}$ | $6,8 \cdot 10^{-1}$ |
| $d_{min}$ | 0,0               | 96                | 190                 | 300                 | 520                 |

Для этого случая коэффициент отделения будет:

$$K_1 = \frac{\Omega}{b} = 18\%.$$

Так же как и в первом примере, мы для сравнения проведем расчет и по методу Rosin'a, Rammler'a и Intelmann'a.

Но для этого необходимо соответственно изменить конечную формулу для  $d_{min}$ , предполагавшую равенство скоростей воздуха по сечению потока. Принимаем, так же как и для нашего расчета,

$$v_l = \omega \cdot r.$$



По исходной формуле Rosin'a и др. имеем:

$$v_k = \frac{dr}{dt} = \frac{1}{18} d_{min}^2 \frac{\gamma_k \cdot v_t^2}{\mu g};$$

подставляем значение

$$v_t^2 = \omega^2 r^2$$

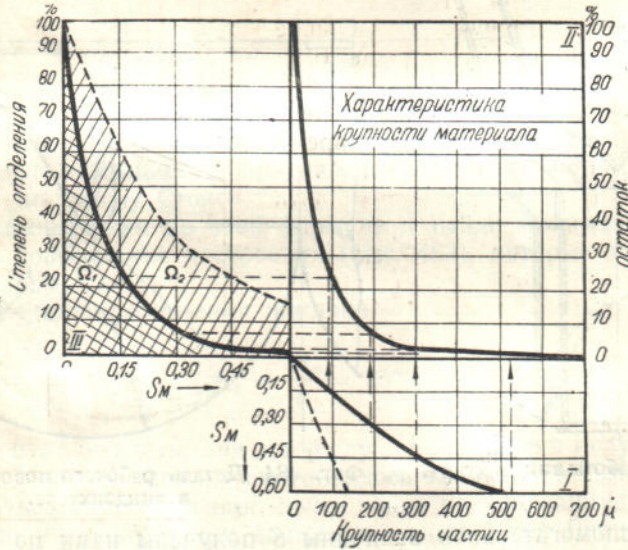
и получаем

$$\frac{dr}{dt} = \frac{1}{18} d_{min}^2 \gamma_k \frac{\omega^2 r}{\mu g}.$$

Разделяем переменные и производим интегрирование:

$$\int \frac{dr}{r} = \int \frac{1}{18} d_{min}^2 \frac{\gamma_k \omega^2}{\mu g} dt, \quad (502)$$

$$\ln r = \frac{d_{min}^2 \omega^2 \gamma_k}{18 \mu g} t + C. \quad (502')$$



Фиг. 485. Графическое определение процента отделения материала в виндзихтере.

Определяем значение постоянной интегрирования  $C$ :

при  $t = 0 \quad r = \frac{D}{2} - s,$

где  $\frac{D}{2}$  — наибольший (конечный) радиус поворота.

$$C = \ln \left( \frac{D}{2} - s \right),$$

$$\ln r - \ln \left( \frac{D}{2} - s \right) = \frac{d_{min}^2 \gamma_k \omega^2 t}{18 \mu g};$$

произведя простейшие преобразования, получим:

$$d_{min} = \sqrt{\ln \frac{r}{\frac{D}{2} - s}} \sqrt{\frac{18 \mu g}{\gamma_k \omega^2 t}}, \quad (503)$$

$$t = \frac{2\pi u}{\omega} \quad r = \frac{D}{2};$$

$$d_{min} = \sqrt{\ln \frac{D}{D - 2s}} \sqrt{\frac{18 \mu g}{\gamma_k \omega^2 2\pi u}}. \quad (504)$$



Эта формула дает значение  $d_{min}$  при законе изменения сопротивлений движению частиц относительно воздуха по закону Стокса в том случае, когда закон изменения скоростей по сечению

$$v_l = ar.$$

Для нашего случая находим расчетом по этой формуле соответствующие значения  $d_{min}$  и наносим на диаграмму (фиг. 485). Произведя графическое интегрирование, получим

$$K_2 = \frac{Q_2}{Q} = 44\%.$$

Как и следовало ожидать, для этого случая получилась весьма существенная разница в найденных процентах отделения материала.

Это объясняется тем, что для виндзихтера или вообще для любого поворота потока воздуха, где для относительного движения частиц получаются большие значения числа Рейнольдса (больше 0,1), закон Стокса не применим. Большие значения чисел Рейнольдса получаются здесь из-за необходимости в небольшое время поворота (не большее  $u$ ) пересечь сравнительно широкий поток, что могут сделать только частицы значительной крупности, могущие приобрести большую скорость относительного движения в радиальном направлении.

В таких случаях пользоваться для определения  $d_{min}$  формулой Rosin'a и др., основанной на законе Стокса, нельзя.

5. **Заключительные замечания.** Анализы ошибок. Пользуясь данными произведенных выше двух примерных расчетов, проанализируем степень точности изложенного метода пользования диаграммой  $v-S-d_{min}$  при определении  $d_{min}$ .

Для каждого расчетного слоя изгибающегося потока мы, найдя для конечных точек этого слоя значение вспомогательной величины  $S$ , откладываем ее на диаграмме  $v-S-d_{min}$  и пересекаем перпендикуляры, восстановленные из точек найденных значений  $S$ , горизонтально на высоте эквивалентной скорости, для данного слоя  $v_a$ . На расстоянии одной трети отрезка  $S_2'-S_1'$  (см. фиг. 472) от большего значения  $S$  мы отыскиваем соответствующую полученной точке  $a$  величину  $d_{min}$ .

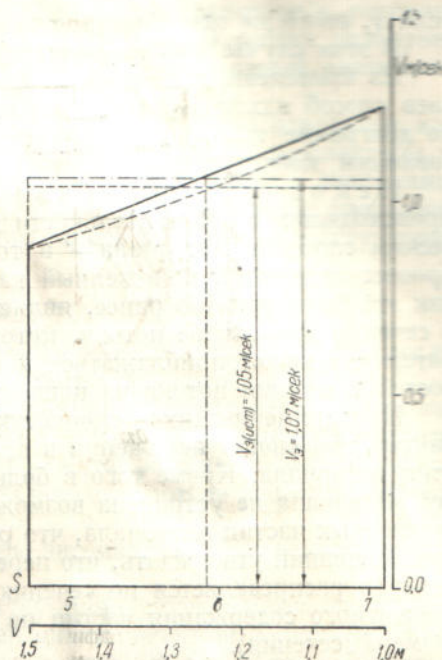
Принятие расстояния от большего значения  $S$ , равного одной трети отрезка  $S_2'-S_1'$ , при наличии логарифмических координат, в которых построена диаграмма  $v-S-d_{min}$ , соответствует среднему арифметическому значению  $S$  в нормальных координатах, при котором  $v_r \cong v_a$ .

На фиг. 485 показана величина ошибки для случая расчета отделения в циклоне (пример расчета № 1) для наиболее широкого расчетного слоя. Истинное изменение скорости движения частички при  $d = 36 \mu$  в зависимости от радиуса дано пунктирной кривой.

$v_a$  (ист.) равно 1,05 м/сек, а при принятии применяемого нами способа  $v_a = 1,07$  м/сек.

Ошибка составляет

$$\frac{v_a - v_a \text{ (ист.)}}{v_a} = \frac{1,07 - 1,05}{1,07} 100 = 2,24\%.$$



Фиг. 485. Графическое определение величины ошибки при пользовании диаграммой  $v-S-d_{min}$ .



В случае распределения скорости на повороте потока по закону

$$v_l = \omega r$$

имеется прямолинейная зависимость между радиусом и эквивалентной скоростью  $v_s$ , так как

$$S = k r$$

(см. формулу 496).

С изменением радиуса вспомогательная величина  $S$  изменяется по закону прямой и поэтому изменение  $v_r$  в зависимости от  $r$  совпадает с законом  $v_r = f(S)$ , что дает точное соответствие

$$v_r = v_s,$$

если  $v_r$  взято на одной трети отрезка  $S_2-S_1$ .

В этом случае ошибка равна нулю.

Из приведенных примеров определения ошибок видно, что для обоих случаев способ нахождения  $d_{min}$  на одной трети расстояния между значениями  $S$  по диаграмме  $v-S-d_{min}$  по степени точности может вполне удовлетворить требованиям конструктора.

Некоторые замечания. Необходимо указать на ряд явлений, происходящих в действительности при отделении транспортируемого пневматическим способом материала и в той или иной мере искажающих «идеальный» процесс отделения, положенный нами в основу расчетов. Недостаточно ясным, как это было указано ранее, является действительное распределение скоростей в сечении при изгибе потока, которое в каждом конкретном случае отделения материала может приближаться к одному из двух законов распределения скоростей в сечении потока на повороте.

При применяющихся скоростях движение воздуха носит турбулентный характер, что вносит искажения в принятую нами схему движения воздуха и частиц материала. Кроме того в большинстве имеющихся конструкций отделителей материала не устранена возможность вторичного подхватывания части уже отделенных частиц материала, что расчетом учесть весьма трудно. Нет достаточных оснований утверждать, что перед входом в отделитель материал вполне равномерно распределяется по сечению трубопровода (с сохранением одинакового процентного содержания частиц по гранулиметрическому составу для каждого размера сечения).

Учесть все указанные влияния расчетом не представляется возможным. Это влияние может быть учтено лишь опытным коэффициентом степени отделения, снижающими полученный нами в расчете коэффициент степени отделения. При конструировании отделителей необходимо стремиться к созданию таких конструкций, в которых причины явлений, нарушающих идеальность процесса, сводились бы к минимуму. Например, следует устранять возможность движений воздуха в поперечной плоскости, — внутренний вихрь в конической части циклона, — посредством введения в выхлопную трубу выравнивающих плоскостей, что одновременно примерно в 2—2,5 раза уменьшает гидравлическое сопротивление циклона, и т. п.

Предложенный расчет отделения материалов, основанный на изменении направления воздушного потока транспортирующего материала, устанавливает перед конструктором естественные границы степени отделения, к достижению которых он должен стремиться.

Природа изменения самой теоретической величины степени отделения материала выясняется из расчета. Это дает возможность конструктору сознательно изменять конструкции для увеличения их эффективности.

Расчет также дает возможность сознательно подойти к проектированию виндсиктеров, для которых важна не величина степени отделения, а точность разделения материала на две степени крупности. Для этого случая особо важно теоретическое определение необходимых конструктивных размеров виндсиктера и скоростей воздуха.



Настоящая работа в части определения коэффициента сопротивления движению частиц материала относительно воздуха основывалась на наиболее авторитетных из произведенных до настоящего времени опытах Arnold'a, Allen'a, Wieselberger'a и др., в пределах изменения числа Рейнольдса до  $Re \leq 10\,000$ . Это существенно отличает настоящую работу от работы Rosin'a, Rammler'a и Intelmann'a, которые приняли изменение коэффициента сопротивления по закону Стокса, то-есть в пределах применения числа Рейнольдса  $R \leq 0,1 - 1,0$  или, по классификации Гиббса,<sup>1</sup> для частиц крупностью от 0,1 до 10  $\mu$ . В работе проф. П. Смухнина, Центробежные пылеотделители-циклоны, мы находим уже указание на желательность, при расчете отделения в циклонах, введения коэффициента сопротивления, как функции числа Рейнольдса. В этой работе излагается не лишенный сложности метод постепенного подбора величин этого коэффициента путем ряда подсчетов.

Кроме того, в отличие от работы Rosin'a, Rammler'a, Intelmann'a, рассматривавших отделение материала только в циклоне, настоящая работа разбирает общий случай отделения материала на повороте потока при самых различных соотношениях ширины потока и радиуса его поворота.

В заключение отметим, что в предлагаемом методе расчета отделения материала при повороте потока воздуха (отделители — циклоны, виндзахтеры и и т. д.) благодаря применению номограмм из выравненных точек и диаграммы  $v-S-d_{min}$  сведены к минимуму все довольно сложные вычислительные операции, и весь расчет представляется простым и доступным рядовому конструктору, как это видно из разобранных примеров.

#### 4. ФИЛЬТРЫ

Во многих случаях очистки воздуха в циклоне недостаточно, тогда его после выхода из отделителя пропускают через фильтр.

Требования, предъявляемые к фильтрам, помимо полноты очистки и простоты конструкции и ухода, заключаются еще в том, что фильтр должен представлять возможно малое сопротивление движению воздуха, так как даже весьма совершенно выполняющей очистку, но вызывающий большие потери давления фильтр неэкономичен в эксплуатации.

По принципу действия различают фильтры автоматические и механические, по конструкции — сухие и мокрые.

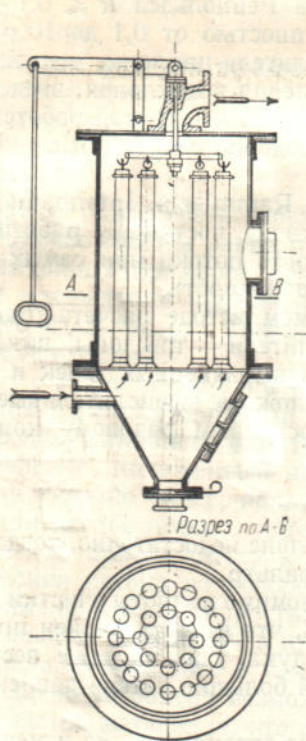
На фиг. 487 изображена типовая конструкция сухого автоматического фильтра. Фильтр состоит из камеры с верхней цилиндрической и нижней конической частями, разделенными тонкой перегородкой. В перегородке имеется большое количество круглых отверстий, к которым сверху плотно присоединяются цилиндрические мешки из какого-либо фильтрующего материала. Верхними закрытыми концами мешки подвешиваются к особым перекладинам. Загрязненный воздух поступает через патрубок в коническую часть фильтра, затем через отверстия перегородки попадает в мешки, просачивается через их стенки и уже очищенный отводится через патрубок в верхнем днище. Пыль, задержанная фильтрующими мешками, падает вниз благодаря небольшим пульсациям — «дышанию», которые они совершают при периодических толчках от поршневого насоса. Кроме того их можно встряхивать и от руки при помощи рычажной системы, к которой крепятся перекладки с подвешенными к ним мешками. Иногда в таких фильтрах применяются механические, непрерывно действующие встряхивающие аппараты. Уловленная пыль собирается внизу конической части фильтра и отводится по мере накопления через отверстие, плотно закрываемое заслонкой.

На фиг. 488 изображена несколько иная конструкция сухого фильтра. Здесь труба, подводящая загрязненный воздух, проходит через верхнее днище, и воздух, попадая в нижнюю полость фильтра, должен сделать поворот на 180° прежде чем войти в фильтрующие мешки, что способствует значительному выпадению пыли еще до прохода через стенки мешков. Очищенный воздух отводится через патрубок, расположенный эксцентрично в верхнем днище.

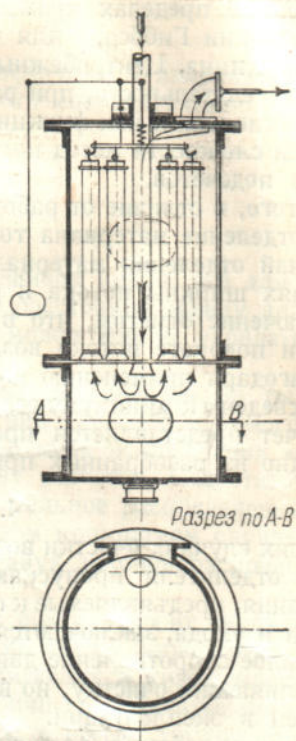
<sup>1</sup> Гиббс, Аэрозоли, Ленинград, 1929.



Для фильтрующих мешков применяются различные плотные сорта материи, в частности фланель и бязь. В заграничной практике большим распространением пользуется особый фильтрующий материал, так называемый «мольтон». Величина фильтрующей поверхности зависит от степени загрязненности воздуха, но не должна быть меньше  $1 \text{ м}^2$  на  $3 \text{ м}^3/\text{мин}$  воздуха. В некоторых конструкциях фильтр помещается в одном сосуде с разгрузителем, составляя с ним одно целое.<sup>1</sup>



Фиг. 487. Сухой рукавный фильтр.



Фиг. 488. Сухой рукавный фильтр.

С целью уменьшения механического сопротивления струе воздуха, вместо рукавных фильтров устанавливаются иногда, вслед за разгрузителем, сухие фильтры по системе, показанной на фиг. 489, основанной на действии центробежной силы.

Ввод воздушного потока во внешний конус производится здесь тангенциально, выход воздуха — через расположенный сверху конусообразный патрубок. Для более интенсивной очистки поверхности обих конусов снабжены спиралями. Главные размеры таких фильтров приведены в таблице 72.

Таблица 72

Размеры сухого фильтра в мм (по фиг. 489)

| № по пор. | $D$  | $d$ | $d_1$ | $d_2$ | $d_3$ | $d_6$ | $d_7$ | $c^*$ | $h$  | Приблизительный вес (кг) |
|-----------|------|-----|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|--------------------------|
| 1         | 1500 | 200 | 325   | 208   | 278   | 700   | 320   | 2180  | 700  | 583                      |
| 2         | 1800 | 250 | 330   | 250   | 330   | 850   | 360   | 2695  | 850  | 855                      |
| 3         | 2000 | 275 | 380   | 282   | 365   | 950   | 400   | 2840  | 950  | 998                      |
| 4         | 2400 | 350 | 450   | 362   | 442   | 1250  | 600   | 3400  | 1100 | 1672                     |

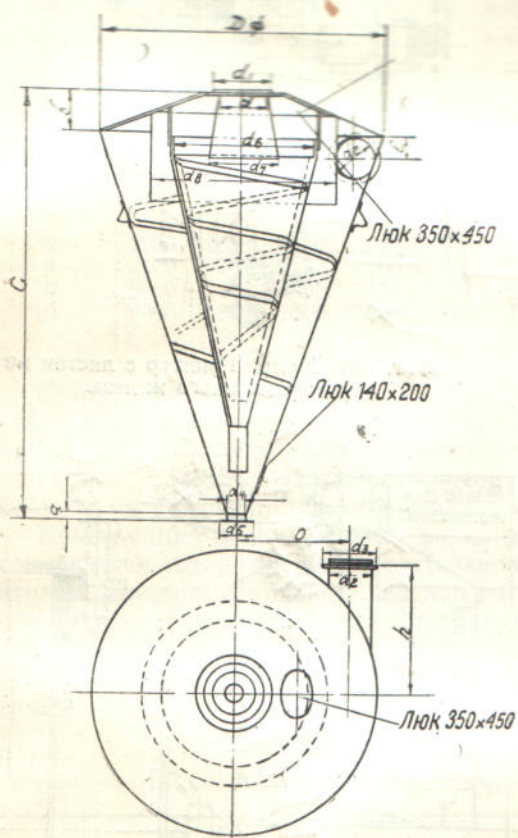
Совсем на ином принципе основана работа сухого механического фильтра, изображенного на фиг. 490.<sup>2</sup> Здесь воздух, подводимый к фильтру в нижней

<sup>1</sup> «Mechanical Handling», декабрь 1933, стр. 377. King's pneumatic conveying system.

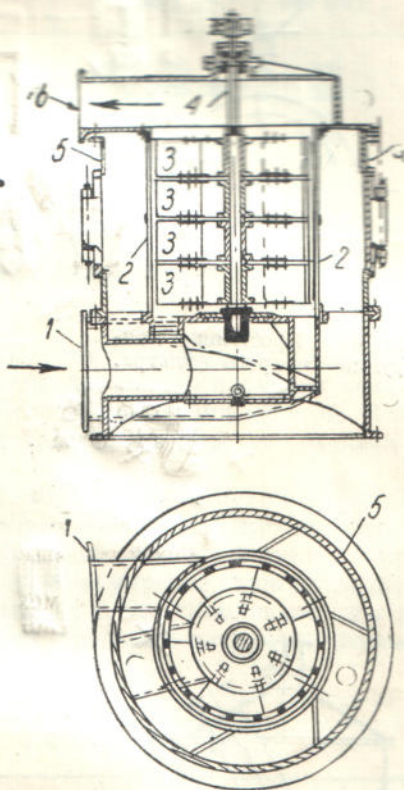
<sup>2</sup> «Fördertechnik u. Frachtverkehr», 1932, № 15, 17, стр. 179.



части через патрубок 1, попадает в цилиндрическую трубу 2 с четырьмя крыльчатými колесами 3. Колеса укреплены на вертикальном валу 4, опирающемся на шариковую опору и приводимом во вращение от электромотора. Крылья вращающихся колес примыкают с небольшим зазором к листам цилиндрической трубы, которые имеют целый ряд отверстий, соединяющих внутреннюю полость трубы с кольцевым пространством, ограниченным наружным кожухом 5. Воздух, при проходе через цилиндрическую трубу снизу вверх, увлекается крыльями вращающихся колес и приводится ими во вращение. Частицы материала и пыли, содержащиеся в воздушном потоке, отбрасываются под действием центробежной силы к периферии и проскакивают в кольцевое пространство через отверстия в стенках цилиндрической трубы. Очищенный воздух отводится через патрубок 6 в верхней части фильтра.



Фиг. 489. Сухой двухконусный фильтр (Стальпроммеханизация).



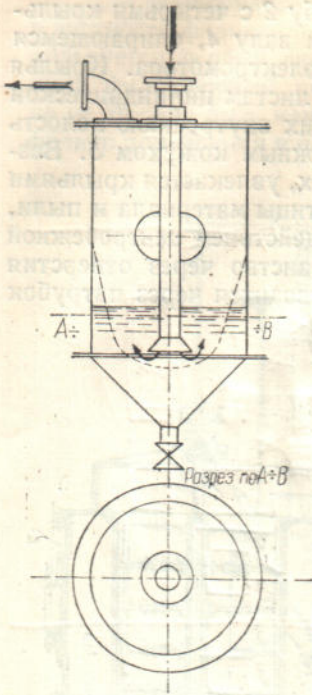
Фиг. 490. Центробежный сухой фильтр.

Мокрый фильтр простейшей конструкции (фиг. 491) состоит из цилиндрического кожуха с нижним коническим дном. Фильтр до некоторой высоты наполняется водой, в которую погружается нижний конец трубопровода, подводящего загрязненный воздух. Воздух, проходя через слой воды, очищается от пыли и отводится через патрубок в верхнем плоском дне. Степень чистоты очистки воздуха при помощи фильтра такой конструкции невысока, так как он проходит через воду в виде отдельных пузырей, не выделяя значительной части своих примесей.

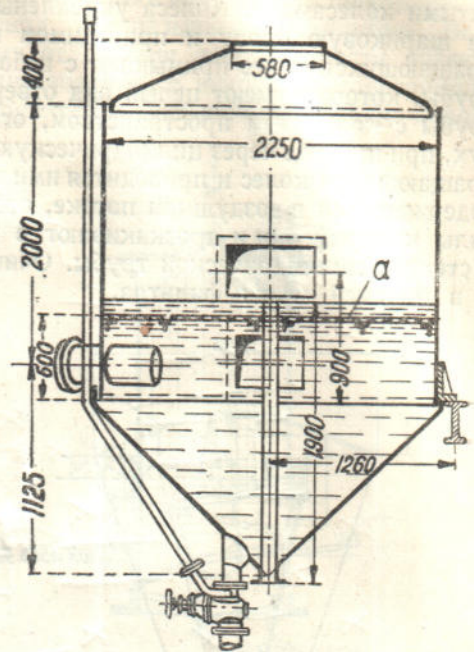
Улучшения очистки достигают с помощью железного листа *a*, снабженного мелкими отверстиями, погруженного в воду по пути движения воздуха и разбивающего его на более мелкие пузырьки (фиг. 492).<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Z. V. D. I, 1918, стр. 330.

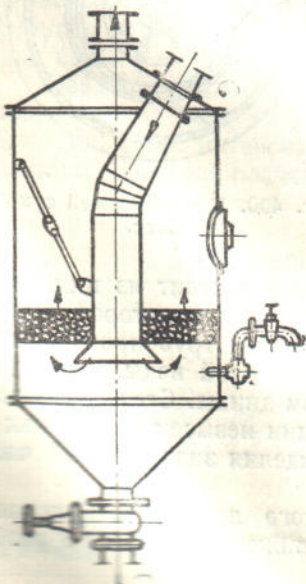




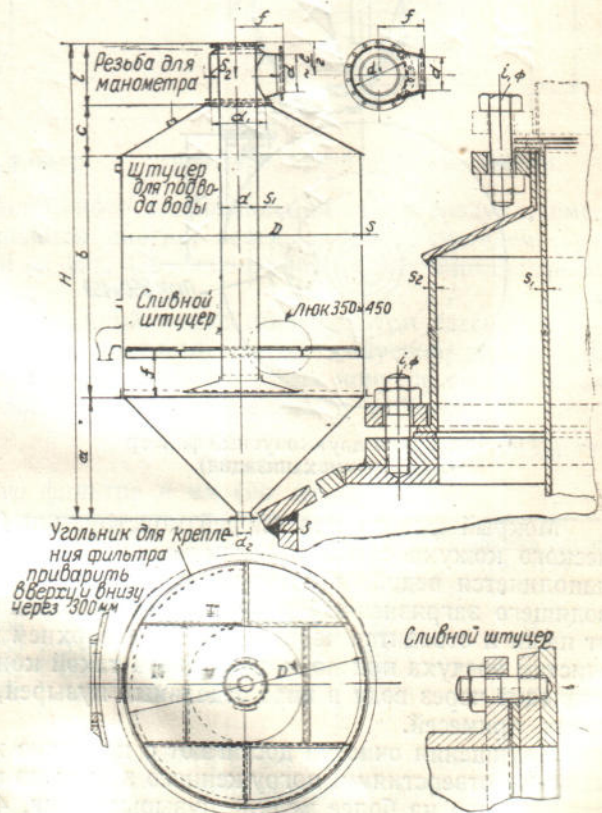
Фиг. 491. Простейшая конструкция мокрого фильтра.



Фиг. 492. Мокрый фильтр с листом из продырявленного железа.



Фиг. 493. Мокрый фильтр с фильтрующим слоем.



Фиг. 494. Мокрый фильтр конструкции Стальрек-механизации.



Еще большее улучшение качества очистки достигается с помощью фильтрующего слоя из кокса, опилок и т. п., заключенного между проволочными сетками или продырявленными железными листами (фиг. 493). Воздух, проходя через фильтрующий слой, разбивается на очень мелкие струйки и пузырьки, благодаря чему увеличивается поверхность соприкосновения его с водой и улучшается качество очистки.

Конструкция мокрого фильтра «Стальпроммеханизации» видна на фиг. 494, размеры его даны в таблице 73.

Таблица 73

Главные размеры мокрого фильтра в мм (по фиг. 494)

| № по пор. | <i>D</i> | <i>H</i> | <i>a</i> | <i>b</i> | <i>d</i> | <i>f</i> | <i>s</i> | Количество воздуха (м <sup>3</sup> /мин) | Ориентировочный вес (кг) |
|-----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|--|--------------------------|
| 1         | 800      | 1618     | 420      | 800      | 125      | 220      | 6        | 425—700                                  | 300                      |
| 2         | 1000     | 1990     | 525      | 1000     | 150      | 245      | 6—8      | 650—1200                                 | 500                      |
| 3         | 1350     | 2635     | 725      | 1350     | 225      | 300      | 8        | 1100—1800                                | 900                      |
| 4         | 1600     | 3205     | 850      | 1600     | 250      | 350      | 8        | 1700—2500                                | 1600                     |
| 5         | 1850     | 3605     | 975      | 1850     | 275      | 360      | 8        | 2300—3400                                | 2000                     |
| 6         | 2000     | 3896     | 1000     | 2000     | 300      | 375      | 10       | 2700—4000                                | 2200                     |
| 7         | 2300     | 4450     | 1150     | 2300     | 350      | 425      | 10       | 3500—5200                                | 2900                     |
| 8         | 2500     | 4865     | 1250     | 2500     | 400      | 490      | 10       | 4150—6200                                | 3500                     |
| 9         | 2800     | 5420     | 1400     | 2800     | 450      | 540      | 10       | 5200—7800                                | 4200                     |
| 10        | 3000     | 5826     | 1500     | 3000     | 475      | 590      | 12       | 6000—8800                                | 5000                     |

Взбрызгивание воды в воздух в верхней плоскости фильтра хотя и способствует отделению пыли, но практикуется редко, так как сильно насыщает воздух влагой, что неблагоприятно сказывается на работе всасывающих насосов. В таких случаях требуется устройство специальных водоотделителей, усложняющих схему и удорожающих эксплуатацию.

Конструкция водоотделителя видна на фиг. 495. Он монтируется в системе всасывающей установки непосредственно за мокрым фильтром. Подобно разгрузителем, принцип его работы основан на центробежной силе и действии внезапного уменьшения скорости воздуха. Вводный патрубок укреплен тангенциально, выводной проходит центрально сквозь нижнее днище. Спуск скопляющейся воды производится периодически или непрерывно через отдельный патрубок. Главные размеры водоотделителя даны в таблице 74.

Таблица 74

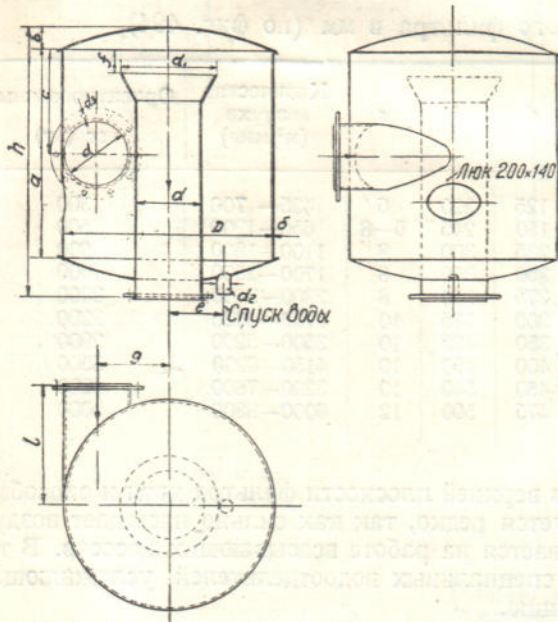
Главные размеры водоотделителя в мм (по фиг. 495)

| № по пор. | <i>D</i> | <i>d</i> | <i>a</i> | <i>f</i> | <i>h</i> | <i>δ</i> | Количество воздуха (м <sup>3</sup> /час) | Приблизительный вес (кг) |
|-----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|--|--------------------------|
| 1         | 400      | 125      | 500      | 90       | 680      | 3        | 425—700                                  | 35                       |
| 2         | 500      | 150      | 600      | 95       | 790      | 4        | 660—1200                                 | 50                       |
| 3         | 650      | 225      | 700      | 100      | 830      | 4        | 1100—1800                                | 100                      |
| 4         | 800      | 250      | 800      | 110      | 1030     | 5        | 1700—2500                                | 160                      |
| 5         | 900      | 275      | 900      | 125      | 1160     | 5        | 2300—3400                                | 190                      |
| 6         | 1000     | 300      | 1000     | 150      | 1280     | 5        | 2700—4000                                | 230                      |
| 7         | 1150     | 350      | 1150     | 150      | 1440     | 5        | 3500—5200                                | 330                      |
| 8         | 1250     | 400      | 1300     | 200      | 1625     | 6        | 4150—6200                                | 500                      |
| 9         | 1400     | 450      | 1500     | 250      | 1960     | 6        | 5200—7800                                | 600                      |
| 10        | 1500     | 475      | 1600     | 300      | 2200     | 6        | 6000—8800                                | 700                      |

При выборе сухой или мокрой системы очистки почти всегда отдают предпочтение первой из-за целого ряда существенных недостатков второй: мокрая



очистка нуждается в питании водой; грязь, образующаяся в мокрых фильтрах легко разлагается и издает специфический неприятный запах; при отсутствии автоматического наполнения фильтра водой возможны случаи несвоевременного пополнения расходуемой жидкости, что связано с ухудшением или даже полной приостановкой пылеулавливания; затем, вследствие испарения воды и сопутствующего ему увлажнения воздуха, всасывающие насосы работают с пониженной производительностью, а при сколько-нибудь продолжительных остановках подвержены ржавлению, и наконец пыль, уловленная мокрым фильтром, почти всегда является потерянной, тогда как при сухой очистке уловленная мелочь,



Фиг. 495. Водоотделитель конструкции Стальпром-механизации.

представляющая при перемещении некоторых материалов значительную ценность, может быть использована.

Однако при транспортировании материалов, обладающих высокой температурой, например горячей золы, и вообще в тех случаях, когда невозможно применение фильтрующих мешков, оказываются вполне целесообразными мокрые фильтры.

Электрофильтры до настоящего времени в пневматических установках не используются вследствие их высокой стоимости.

## 5. ЗАГРУЗОЧНЫЕ УСТРОЙСТВА

Устройства, применяемые для загрузки транспортируемого материала в рабочий трубопровод, при всасывающих и нагнетательных системах обычно значительно отличаются друг от друга как по своей конструкции, так и по принципу действия.

Во всасывающей системе загрузочные устройства в большинстве случаев забирают материал непосредственно из кучи и являются благодаря этому самопитающимися. Напротив, в нагнетательной системе, как правило, требуется применение механических дозирующих устройств, подводящих материал струей из вышележащего бункера. Поэтому загрузочные устройства при нагнетательной системе получаются значительно сложнее. К той же группе относятся и рассматриваемые в настоящем разделе питающие устройства на установках для пневматической закладки выработанного пространства рудников, так называемые закладочные машины.

### а) Загрузочные устройства при всасывающей системе

При всасывающей системе наиболее распространены особые насадки, называемые соплами.

Всасывание материала и сообщение ему нормальной скорости в трубопроводе требуют значительной доли общего расхода энергии. Чем короче трубопровод, тем выше доля расхода энергии в сопле; в некоторых установках с неудачной конструкцией сопла и короткими трубопроводами всасывание материала и сообщение ему нормальной скорости поглощают свыше половины всего расхода энергии.

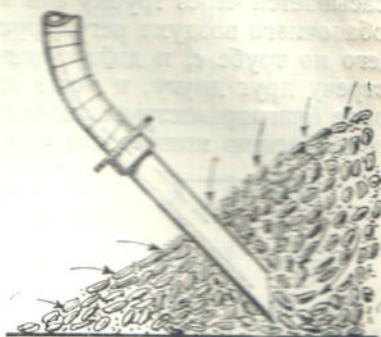
Правильный выбор конструкции и размеров сопла, а также тщательный надзор за его эксплуатацией позволяют значительно снизить долю расходуемой в нем энергии.



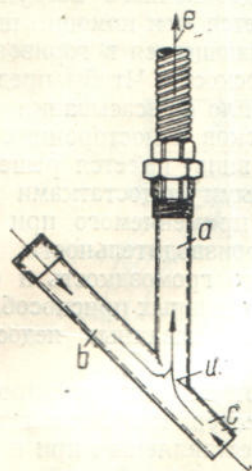
Хорошее сопло должно отличаться небольшим потреблением энергии, допускать возможность регулирования количества засасываемого материала и воздуха, причем регулирование должно быть простым и надежным и производиться без приостановки транспортирования; сопло должно само погружаться, «всасываться» в материал без добавочного усилия со стороны рабочего, но не должно «тонуть» в нем. Вес и величина сопла должны быть невелики, чтобы один рабочий имел возможность производить все необходимые манипуляции, связанные с процессом погрузки; сопло должно быть мало чувствительным к неизбежным ударам и толчкам и обладать хорошей сопротивляемостью против износа.

Сопло простейшей конструкции изображено на фиг. 496. Оно представляет собой кусок железной трубы с косым срезом для облегчения погружения в засасываемый материал и снабжено кольцевым заплечиком, который не дает соплу погрузиться слишком глубоко. С рабочим трубопроводом сопло соединяется при помощи гибкой шланги.

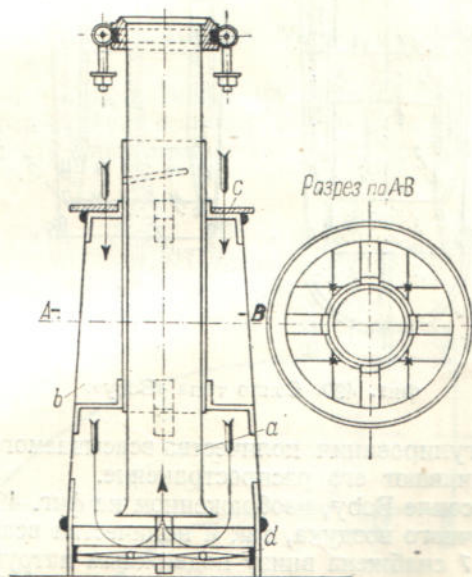
Всасывание материала из кучи возможно только при достаточной разрыхленности его, то-есть при наличии между его отдельными частицами достаточного количества атмосферного воздуха, который увлекается в сопло вследствие имеющейся разности давлений и захватывает с собой частицы материала. Чем меньше величина воздушных прослоек в куче, чем больше сопротивление верхнего слоя материала проникновению наружного воздуха, тем затруднительнее процесс всасывания.



Фиг. 496. Простейшее всасывающее сопло.



Фиг. 497. Сопло Deutschen Evaporator A. G.

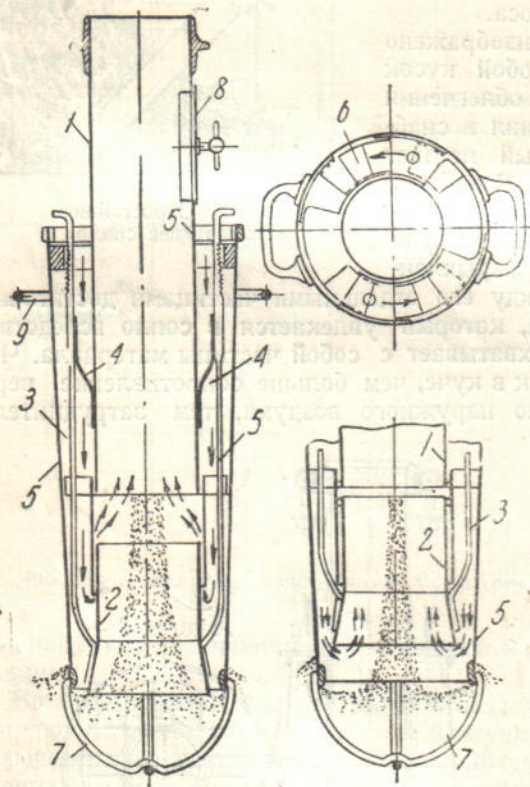


Фиг. 498. Прямое сопло с регулированием притока воздуха.

Однако для того чтобы перемещать засасываемый материал дальше по трубопроводу, необходимо сообщить ему еще в сопле значительную скорость, что может быть достигнуто только при достаточном избытке воздуха. Так как количество воздуха, засасываемого через слой материала, является недостаточным, то сопло снабжают обычно особыми щелями для притока добавочного воздуха извне. Сопло на фиг. 496 таких щелей не имеет, а потому в эксплуатации ненадежно и на практике редко применяется.



Сошло конструкции Deutschen Evaporator A. G. <sup>1</sup> (фиг. 497) не обладает указанным недостатком предыдущей конструкции. Оно состоит из двух отрезков гладкой трубы, сопряженных под углом около 135°; нижний конец с погружается в материал, всасывает его и перемещает вверх по трубе *a* к гибкой шланге *c*. Добавочный воздух, необходимый для создания значительной скорости в трубе *a*, всасывается через трубку *b* и также направляется к гибкой шланге; количество добавочного воздуха регулируется. Благодаря тому что потоки материала, идущего по трубе *c*, и добавочного воздуха, идущего по трубе *b*, направлены навстречу друг другу, в месте ответвления *u* образуется сильное завихрение, которое благоприятствует перемешиванию смеси кусков и воздуха и способствует раздроблению комков слежавшегося материала. Иногда это сопло снабжается



Фиг. 499. Сопло типа «Vobu».

несложным приспособлением для прочистки и разрыхления без остановки процесса транспортирования.

Схема прямого сопла с регулированием добавочного воздуха изображена на фиг. 498. Добавочный воздух подводится к нижней части сопла, для чего предусмотрено кольцевое пространство между трубой сопла *a* и наружным кожухом *b*. Создание встречных потоков всасываемого материала и добавочного воздуха имеет целью, как и в сопле на фиг. 497, вызвать при входе в *a* сильное завихрение и обеспечить интенсивное перемешивание материала с воздухом. Впуск добавочного воздуха регулируется при помощи шибера *c*, вращающегося в горизонтальной плоскости. Чтобы предохранить сопло от всасывания крупных кусков и посторонних предметов, внизу имеется решетка *d*. Основными недостатками этого сопла, применяемого при большой производительности, являются его громоздкость и отсутствие отдельных приспособлений

для регулирования количества всасываемого материала. Указанные недостатки ограничивают его распространение.

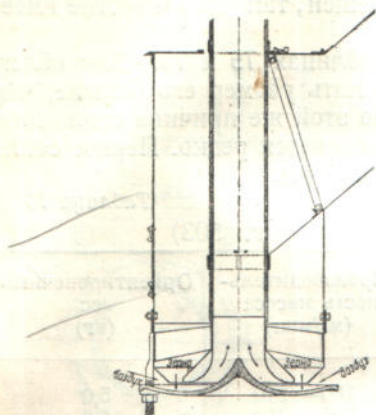
В сопле Vobu, изображенном на фиг. 499, предусмотрено как регулирование добавочного воздуха, так и количества всасываемого материала. Засасывающая труба *1* снабжена внизу подвижным патрубком *2*, переставляемым при помощи рукояток *3*. Рукоятки укрепляются в любом положении на зубчатой нарезке, к которой они прижимаются с помощью пружин *4*. Ход патрубка около 50 мм. При опускании подвижного патрубка количество всасываемого материала увеличивается, при подъеме его — уменьшается. Наружный кожух *5* образует кольцевое пространство для прохода добавочного воздуха. Количество добавочного воздуха регулируется при помощи шибера *6*, вращающегося в горизонтальной плоскости. Внизу к наружному кожуху прикреплена предохранительная проволочная сетка *7*. Дверца *8* служит для осмотра и очистки сопла, ручки *9* — для подъема и переноски. Недостатком сопла Vobu является его значительный вес.

<sup>1</sup> «Fördertechnik u. Frachtverkehr», 1932., стр. 182.

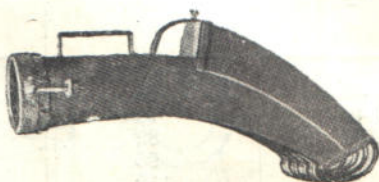
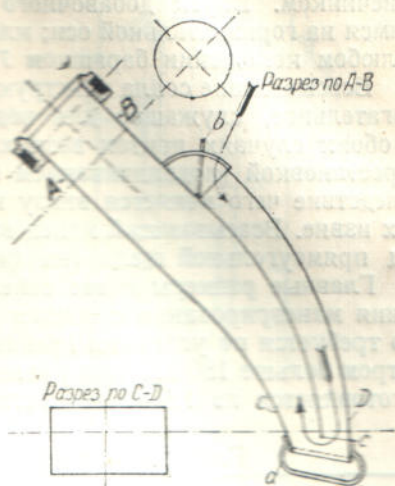


Сопло Amme, Giesecke & Konegen, изображенное на фиг. 500, служит для всасывания материала, поступающего по желобу из бункера в полость, заключенную между всасывающей трубой и кожухом. Количество воздуха регулируется подвижным днищем, подвешенным на болтах. Перемещение днища достигается завинчиванием или отвинчиванием гаек на болтах.

На фиг. 501 изображено сопло, применяемое для выбирания остатков материала из различных труднодоступных мест — железнодорожных вагонов, трю-

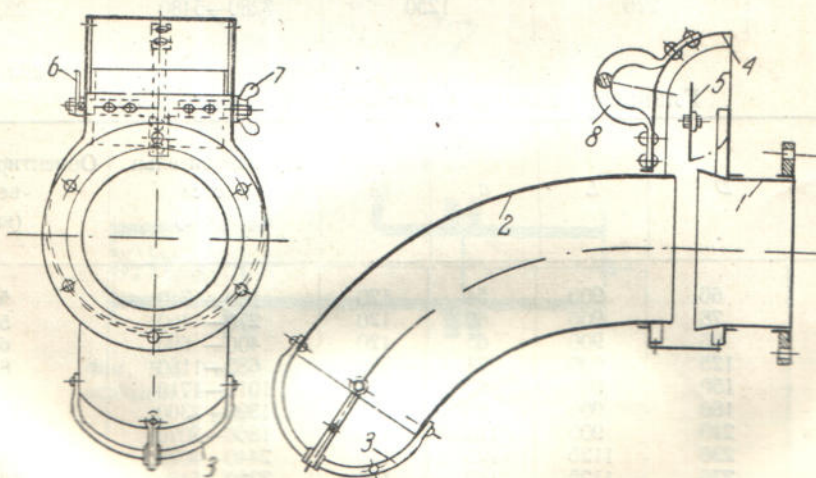


Фиг. 500. Сопло с подводом материала из бункера «Amme, Giesecke und Konegen».



Фиг. 501. Угловое сопло «Seck».

мов судов, углов и закоулков складов и т. п. Впуск добавочного воздуха регулируется клапаном *b*. Решетка *a* препятствует проникновению в сопло посторонних предметов и не дает нижнему срезу сопла опираться о пол, что повлекло бы



Фиг. 502. Угловое сопло «Reform».

прекращение подачи. Поперечное сечение сопла внизу имеет форму прямоугольника, вверху — форму круга. Сопло для остатков обладает небольшим весом и размерами и может применяться не только для своего прямого назначения — выбирания остатков, но и для всасывания из куч.



Угловое сопло Reform (фиг. 502) состоит из всасывающей трубы 1, углового наконечника 2, снабженного внизу предохранительной решеткой 3, и камеры 4, служащей для подвода добавочного воздуха и скрепления трубы с наконечником. Впуск добавочного воздуха регулируется клапаном 5, вращающимся на горизонтальной оси; клапан управляется рукояткой 6 и закрепляется в любом положении барашком 7. Рукоять 8 служит для управления соплом.

Всасывающие сопла конструкции «Стальпроммеханизации», основное и вспомогательное, служащее для подбирания остатков, видны на фиг. 503 и 504. В обоих случаях приток воздуха через кольцевое пространство регулируется перестановкой (подвинчиванием барашковых гаек на винтах) внешней трубы, вследствие чего меняется внизу кольцевой зазор, через который проходит воздух извне. Всасывающий конец второго сопла сплюснен, так что отверстие имеет вид прямоугольной щели (на фиг. 504, слева).

Главные размеры и вес сопел приведены в таблицах 75 и 76. Для облегчения маневрирования с соплом не следует принимать размер его больше, чем это требуется по условиям производительности. По этой же причине сопло диаметром больше 180 мм (при ручной переноске) применяется редко. Первое сопло изготавливается из 1,5—2 мм железа, второе — из 1,5 мм.

Таблица 75

Главные размеры (мм) и вес сопла (по фиг. 503)

| $d$   | $D$ | $L$  | Производительность насоса (м <sup>3</sup> /мин) | Ориентировочный вес (кг) |
|-------|-----|------|---|--------------------------|
| 43    | 66  | 927  | 180—310   | 5,0                      |
| 49    | 76  | 927  | 235—410   | 5,5                      |
| 54    | 82  | 927  | 285—480   | 6,0                      |
| 64    | 96  | 927  | 400—690   | 6,5                      |
| 76,5  | 115 | 927  | 575—980   | 7,0                      |
| 88,5  | 132 | 927  | 790—1370  | 8,0                      |
| 100,5 | 155 | 927  | 1010—1710                                       | 9,0                      |
| 113   | 172 | 927  | 1310—2250                                       | 10,5                     |
| 125   | 192 | 927  | 1540—2610                                       | 12,0                     |
| 137   | 210 | 927  | 1860—3070                                       | 14,0                     |
| 150   | 228 | 1030 | 2250—3790                                       | 16,5                     |
| 162   | 246 | 1030 | 2580—4360                                       | 19,0                     |
| 180   | 276 | 1250 | 3280—5480                                       | 23,0                     |

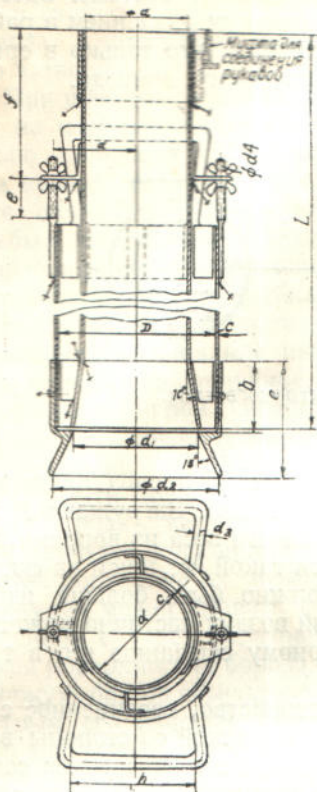
Таблица 76

Главные размеры и вес сопла (по фиг. 504)

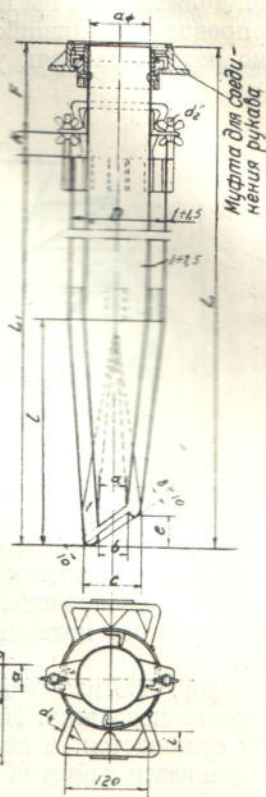
| $d$   | $D$ | $L$  | $a$ | $h$ | Производительность насоса (м <sup>3</sup> /час) | Ориентировочный вес (кг) |
|-------|-----|------|-----|-----|---|--------------------------|
| 43    | 66  | 900  | 54  | 120 | 180—310   | 5,0                      |
| 51,5  | 78  | 900  | 60  | 120 | 270—460   | 5,8                      |
| 64    | 96  | 900  | 65  | 120 | 400—690   | 6,6                      |
| 82,5  | 125 | 900  | 74  | 120 | 685—1160  | 8,0                      |
| 100,5 | 150 | 900  | 83  | 120 | 1010—1710                                       | 9,5                      |
| 119   | 180 | 900  | 94  | 120 | 1390—2360                                       | 11,0                     |
| 137   | 210 | 900  | 110 | 120 | 1860—3070                                       | 12,5                     |
| 156   | 236 | 1125 | 123 | 120 | 2440—4070                                       | 15,0                     |
| 180   | 276 | 1125 | 143 | 120 | 3280—5480                                       | 19,0                     |
| 216   | 319 | 1125 | 164 | 120 | 4600—8000                                       | 25,0                     |

Если транспортируемый материал находится в бункерах или иных аналогичных сосудах, так что место погрузки является постоянным, то впуск материала во всасывающий трубопровод производят иногда с помощью простой воронки (фиг. 505). Количество засасываемого материала регулируется заслонкой.

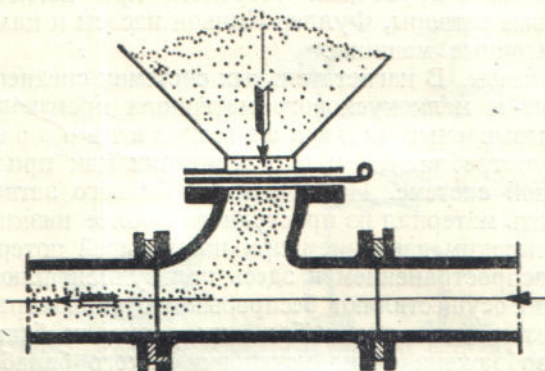




Фиг. 503. Всасывающее сопло конструкции Стальпромеханизации.



Фиг. 504. Всасывающее сопло для подбора остатков (Стальпромеханизация).



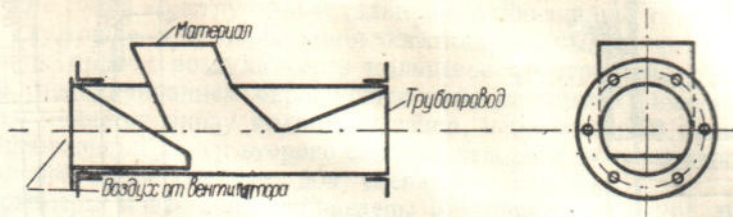
Фиг. 505. Простейшая схема ввода материала во всасывающий и в нагнетательный трубопровод в вентиляционных установках.

### б) Загрузочные устройства при нагнетательной системе

Как видно из рассмотрения конструкции загрузочных устройств, подача материала при всасывающей системе производится, как правило, без помощи каких-либо механических зачерпывающих или дозирующих устройств. Загружаемый материал сам всасывается из пространства с более высоким давлением в трубопровод с пониженным давлением.



Совсем иные условия имеют место при нагнетательной системе. Здесь материал должен быть введен из пространства с более низким давлением в рабочий трубопровод, находящийся под более высоким давлением, что только в сравнительно редких случаях удается без помощи механического привода.



Фиг. 506. Загрузочная воронка эжекторного типа.

К числу этих случаев относится ввод материала в трубопровод нагнетательных установок системы низкого сжатия (вентиляционных). Загружаемый материал поступает в трубопровод под действием силы своего веса из воронки, регулируемой заслонкой. Схема такой загрузки остается такой же, как и на фиг. 505. Сопrotивление вышележащего слоя материала должно быть больше избытка давления в трубопроводе, однако и при этом сжатый воздух частично может просачиваться через материал, препятствуя равномерному ссыпанию его в трубопровод.

На фиг. 506 изображено такое загрузочное устройство, соединенное с соплом эжекторного типа. Нагнетательная труба перед воронкой со стороны вентилятора суживается, а после воронки расширяется, причем поперечное сечение трубы меняется таким образом, чтобы расширение воздуха, выходящего с большой скоростью из суженной части трубы, происходило уже за отверстием воронки на расширяющемся участке. Благодаря этому воздух, двигаясь прямо вдоль трубопровода, увлекает за собой и частицы материала.

Основными типами загрузочных устройств при нагнетательной системе являются — шлюзовые затворы, Фуллер-Киньон насосы и камерные устройства, в том числе закладочные машины.

1. *Шлюзовые затворы.* В нагнетательных системах среднего и высокого сжатия загрузка средне- и мелкокускового материала производится весьма часто при помощи так называемых шлюзовых затворов. Такие затворы, как указывалось, употребляются и в отделителях как при всасывающей, так и при нагнетательной системе. Назначение шлюзового затвора, служащего питателем, — передавать материал из пространств с более низким давлением в пространство с более высоким давлением при наименьшей потере давления.

Наибольшим распространением и здесь пользуются шлюзовые затворы барабанного типа. Они осуществляют непрерывную равномерную подачу и дают высокую производительность при небольших размерах барабана.

На фиг. 507 изображена схема установки такого барабанного шлюзового затвора над трубопроводом. Загружаемый материал самотеком поступает из бункера *c* через патрубок *a* в ячейки вращающегося барабана *d* и высыпается вниз из ячеек под действием собственного веса в нагнетательный трубопровод *b*, где и увлекается струей воздуха по направлению стрелки. Барабан *d*, плотно соприкасаясь с кожухом *e*, препятствует просачиванию воздуха из трубопровода в бункер.

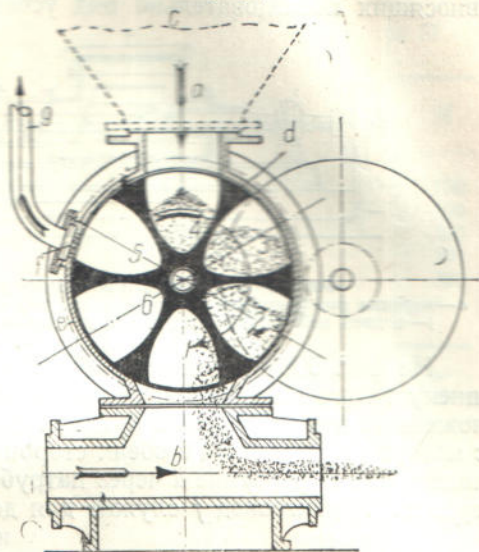
При положении барабана, изображенном на фиг. 507, ячейки *1* и *6* находятся под высоким давлением, ячейки *4*, *3* и *2* — под атмосферным, ячейка *5*, сообщаемая через отверстие *f* и трубу *g* с внешней атмосферой, — тоже под атмосферным. Предварительное понижение давления в ячейке делается с целью избежать расширения заключенного в ней воздуха под действием бункера, так как при этом ухудшается наполнение ячейки материалом. Неизбеж-



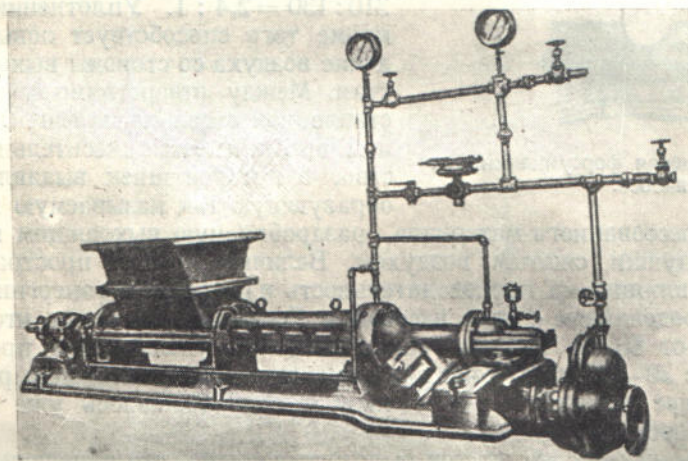
ный в этой системе выпуск некоторого количества сжатого воздуха из трубопровода в атмосферу является одним из недостатков шлюзового барабанного затвора.

При шлюзах с очень плотной пригонкой барабана к кожуху, пыль, налипающая на поверхностях соприкосновения, сильно повышает сопротивление барабана вращению, а иногда может вызвать даже полную остановку его. В целях борьбы с этим явлением между кожухом и барабаном иногда предпочитают оставлять небольшой зазор. Несмотря на то, что зазор ухудшает уплотнение, а непрерывное просачивание пыльного воздуха ускоряет изнашивание, все же шлюз с небольшой игрой считают предпочтительней абсолютно плотного шлюза.

Материал, поступающий в шлюз, должен быть предварительно очищен от всякого рода металлических включений — гвоздей, кусков проволоки и т. п., так как попадание их между барабаном и кожухом может вызвать поломку или, во всяком случае, образование на трущихся поверхностях борозд. Наличие же на кожухе борозд обычно сопровождается быстрым его износом из-за разрушающего действия струи воздуха и мелких частиц материала, устремляющихся в образовавшиеся проходы. Действие пыльной струи, особенно при абразивном материале, в данном случае аналогично действию песчаной струи пескоструйного аппарата. Очистка материала может быть произведена при помощи магнитных сепараторов обычной конструкции. Из материала также должны



Фиг. 507. Впуск материала в рабочий трубопровод нагнетательной системы с помощью барабанного шлюза.



Фиг. 508. Внешний вид насоса (винтового питателя) системы Fuller-Kinyon.

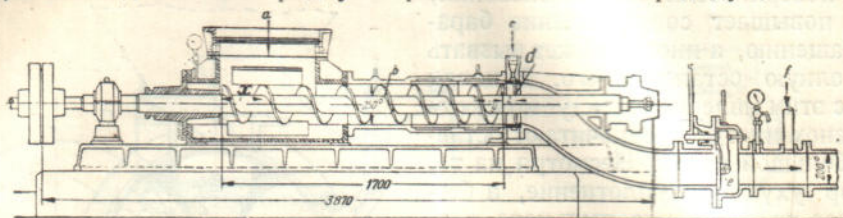
быть удалены всякие гибкие опутывающие предметы вроде тряпок, обрезков мешков, веревок и т. п.

2. *Насосы системы Фуллер-Киньон.* Весьма большое распространение при подаче в трубопровод нагнетательной системы пылевидных и мелкозернистых (примерно в зернах до 4 мм) материалов, таких как цемент, угольная пыль,



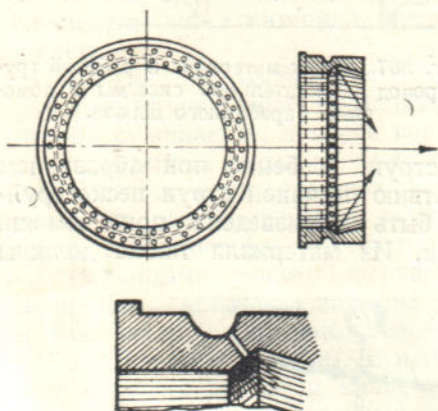
измельченный гипс, зола, калий, крахмал, кальцинированная сода и др., получили винтовые питатели, или, как их не совсем удачно называют, «винтовые насосы» системы Fuller-Kinyon (Фуллер-Киньон).

За последние годы появилось несколько новых конструкций этих устройств, вносящих последовательно ряд усовершенствований в предыдущие типы.



Фиг. 509. Продольный разрез по насосу системы Fuller-Kinyon: *a*—воронка под бункером, *b*—шнек, *c*—подвод воздуха, *d*—кольцевая форсунка, *e*—запорный клапан, *f*—подвод добавочного воздуха, *g, y*—шаг первого и последнего витков винта, *z*—смесительное пространство.

На фиг. 508 представлен общий вид, а на фиг. 509 — продольный разрез по шнеку такого насоса производительностью 50 т/час бурогоугольной пыли.<sup>1</sup> Расположенный под воронкой *a* бункера шнек *b* соединяется муфтой непосредственно с мотором и опирается с обеих сторон на подшипники. Сжатый воздух от насоса подводится к форсунке *d* через патрубок *c* и увлекает материал в рабочий трубопровод. Трубопровод *f* служит для добавочного впуска воздуха. Шнек состоит



Фиг. 510. Кольцевая форсунка киньон-насоса.

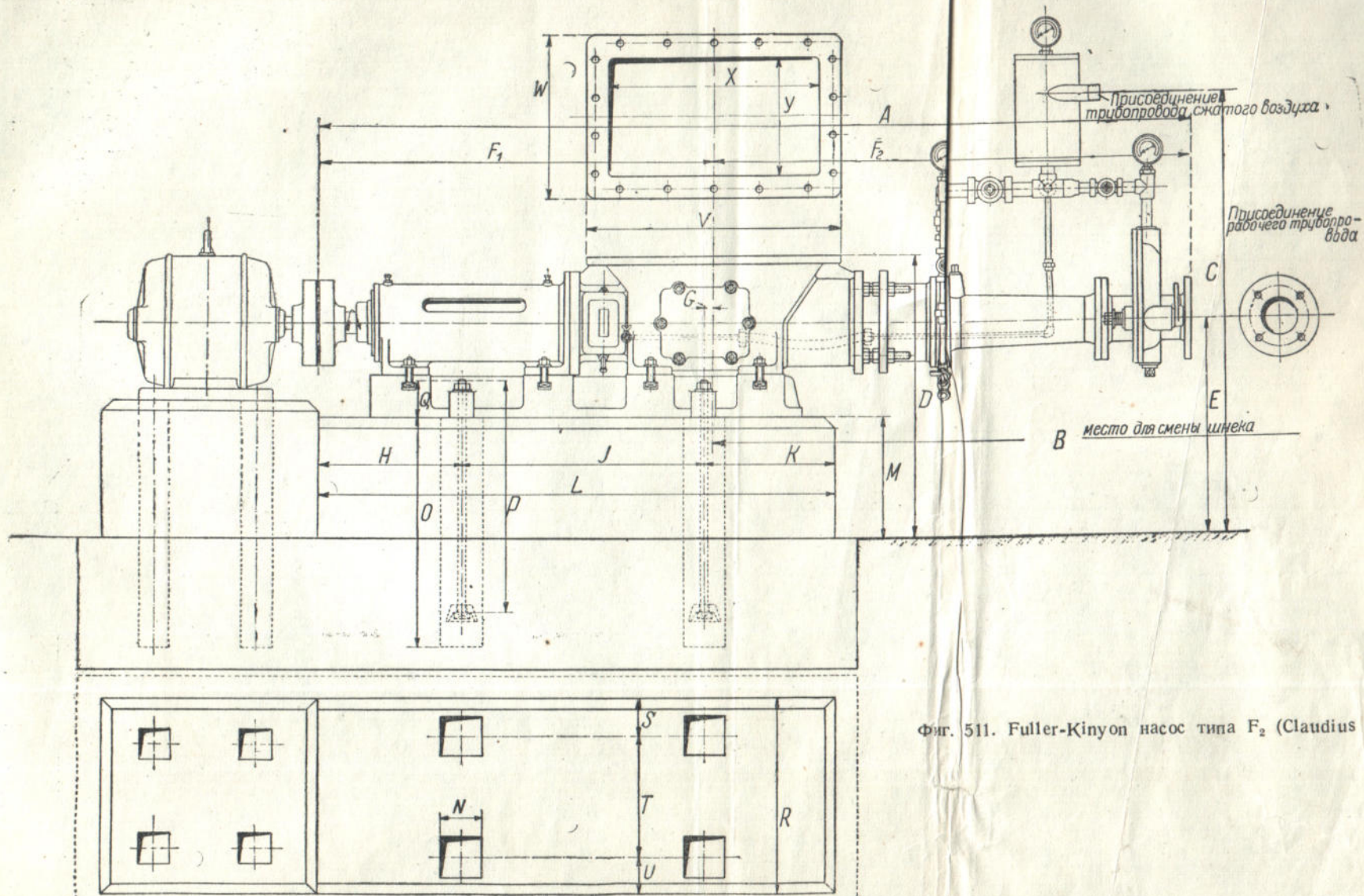
из восьми витков с наружным диаметром 250 мм. Для достижения достаточной плотности материала в кожухе шнека, препятствующей проникновению воздуха через шнек в бункер, ход витков сделан переменным и уменьшается по направлению движения материала. Отношение шага первого витка *x* к шагу последнего *y* называется коэффициентом уплотнения и в описываемом насосе составляет  $310:130 = 2,4:1$ . Уплотнению материала кроме того способствует повышенное давление воздуха со стороны выходного отверстия. Между отверстиями форсунки, представленной отдельно на фиг. 510,<sup>2</sup> и концом шнека имеется смесительное пространство, в которое шнек выдавливает пыль, образующую так называемую пылевую подушку из спрессованного материала, раздробляемую выходящим из отверстий кольцевой подушки сжатым воздухом. Величина этого пространства имеет существенное влияние на производительность и потребление энергии установкой. Так, опыты, проделанные с этим насосом в Германии, показали, что увеличение расстояния *z* от 80 до 150 мм сопровождалось увеличением производительности насоса с 30—35 до 50 т/час при незначительном увеличении расхода энергии. Дальнейшее увеличение *z* до 180 мм не сопровождалось уже увеличением производительности.

На основании этих же опытов было установлено, что изменение количества добавочного воздуха, его давления, а также места подвода оказывает второстепенное влияние на производительность насоса. Увеличение числа оборотов от нормального 970 об/мин. до 1440 об/мин. сопровождалось, понятно, увеличением производительности, достигшим 50%, однако при этом увеличение расхода энергии составляло 50—80%, так что повышение числа оборотов шнека сверх указанного оказалось нерациональным.

<sup>1</sup> Z. V. d I., 1932 № 29, стр. 712.

<sup>2</sup> Инж. А. П. Панарьин, Пневматический транспорт порошкообразных материалов насосом Фуллера, журн. «Строительные материалы», 1932, № 3, стр. 24.





Фиг. 511. Fuller-Kinyon насос типа  $F_2$  (Claudius Peters).



Значительная экономия в расходе энергии была достигнута в новой (1933 г.) конструкции насоса Фуллер-Киньон типа F. В ней отсутствует опорный подшипник на выходном конце шнека, благодаря чему ось шнека и примыкающего участка трубопровода совмещены. Такой насос представлен на фиг. 511, размеры его даны в таблице 77.

Таблица 77

Размеры киньон-насоса в мм (по фиг. 511)

| № по пор. | A    | B    | C    | D   | E   | F <sub>1</sub> | F <sub>2</sub> | G  | H   | J   | K   | L    | M   |
|-----------|------|------|------|-----|-----|----------------|----------------|----|-----|-----|-----|------|-----|
| 3         | 1990 | 1800 | 950  | 550 | 400 | 890            | 1100           | 10 | 350 | 560 | 220 | 1130 | 190 |
| 4         | 1990 | 1800 | 950  | 550 | 400 | 890            | 1100           | 10 | 350 | 560 | 220 | 1130 | 190 |
| 5         | 2586 | 2600 | 1200 | 815 | 625 | 1095           | 1196           | 30 | 400 | 695 | 375 | 1470 | 350 |
| 6         | 2586 | 2600 | 1200 | 815 | 625 | 1095           | 1196           | 30 | 400 | 695 | 375 | 1470 | 350 |
| 7 и 8     | 2800 | 3000 | 1260 | 880 | 660 | 1200           | 1600           | 35 | 450 | 750 | 400 | 1600 | 380 |

| № по пор. | N   | O    | P    | Q   | R   | S   | T   | U   | V   | W   | X   | Y   |
|-----------|-----|------|------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 3         | 90  | 600  | 600  | 100 | 500 | 100 | 300 | 100 | 550 | 380 | 450 | 280 |
| 4         | 90  | 600  | 600  | 100 | 500 | 100 | 300 | 100 | 550 | 380 | 450 | 280 |
| 5         | 120 | 810  | 800  | 110 | 620 | 105 | 410 | 105 | 736 | 470 | 610 | 340 |
| 6         | 120 | 810  | 800  | 110 | 620 | 105 | 410 | 105 | 736 | 470 | 610 | 340 |
| 7 и 8     | 150 | 1020 | 1000 | 120 | 760 | 120 | 520 | 120 | 780 | 500 | 630 | 350 |

Большим шагом вперед в применении киньон-насосных установок явился переход от системы высокого давления воздуха, обычно 5—6 ат, к системе низкого давления — до 3 ат. Расход мощности при этом значительно уменьшился, как видно из таблицы 78, составленной, по данным фирмы Claudius-Peters,<sup>1</sup> для насоса 10", с диаметром трубопровода 8".

Таблица 78

| Транспортир. материал  | Угольная пыль |        | Цемент  |        | Сырой матер. в цементн. произв. |        |
|--|---------------|--------|---------|--------|---------------------------------|--------|
|  | высокое       | низкое | высокое | низкое | высокое                         | низкое |
| Производительность (т/час) . . . . .                             | 40            | 40     | 80      | 80     | 100                             | 100    |
| Длина перемещения (м) . . . . .                                  | 225           | 250    | 150     | 130    | 160                             | 110    |
| Потребляемая киньон-насосом мощность (л. с.) . . . . .           | 70            | 60     | 150     | 100    | 120                             | 80     |
| Установочная мощность мотора для киньон-насоса (л. с.) . . . . . | 80            | 65     | 175     | 110    | 150                             | 90     |
| Расход воздуха (м <sup>3</sup> /час) . . . . .                   | 1500          | 1200   | 1800    | 1500   | 3000                            | 1500   |
| Давление воздуха (ат) . . . . .                                  | 4             | 2      | 5       | 1,8—2  | 5                               | 1,8—2  |
| Установленная мощность привода компрессора (л. с.) . . . . .     | 228           | 114,5  | 314     | 143,5  | 522                             | 143,5  |

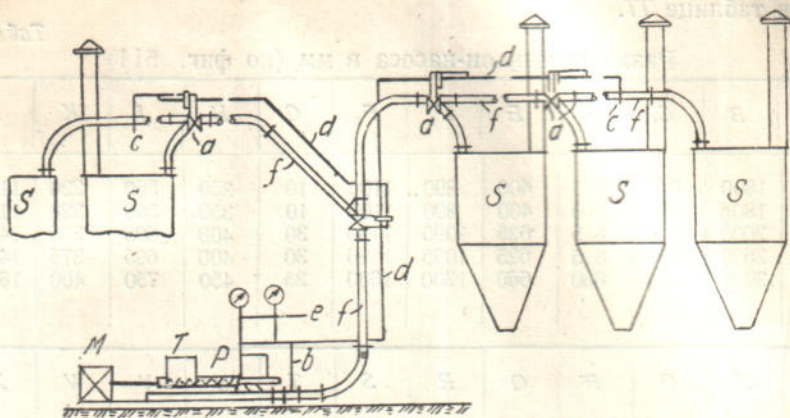
Дальнейшее усовершенствование в киньон-насосных установках знаменует появление в Америке новой конструкции насоса, типа H, фирмы Fuller Co.<sup>2</sup> Он представляет видоизменение типа F и дает, по указанию фирмы, еще большее снижение энергии. Кроме того он приспособлен для экономичной работы при неравномерном режиме в подаче материала, то-есть при переменной производительности.

<sup>1</sup> Инж. Е. Г. Фролов, Киньон-насосные установки пневматического транспорта пылевидных и мелкозернистых материалов, «Внутризаводский транспорт», 1934, № 3, стр. 31.

<sup>2</sup> Pit and Quarry, июль 1934, стр. 56.



Принципиальной особенностью его является специальный тип механизма затвора, который дает возможность понизить плотность материала в ~~всех~~ всех условиях работы. Благодаря этому уменьшается как сопротивление ~~продвижения~~ продвижения материала, а следовательно и расход мощности, так и износ шнека в ~~к~~

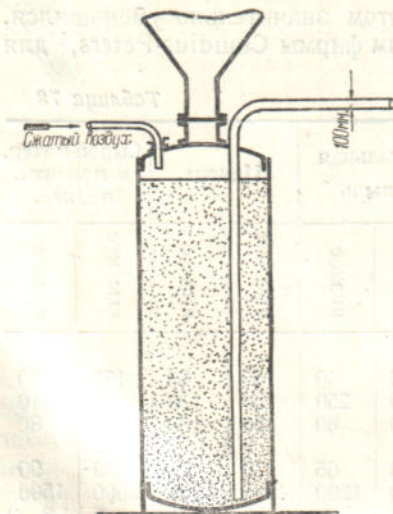


Фиг. 512. Общая схема установки с киньон-насосом:

М—мотор, Р—киньон-насос, Т—погрузочная воронка, S—загружаемые бункеры, а—вентиль на разветвлении, б—трубопровод для сжатого воздуха, с—засоряющий вентиль, d—подвод сжатого воздуха для управления вентилями, e—приключение резервуара со сжатым воздухом, f—рабочий трубопровод.

жуха, представляющий вообще одно из слабых мест киньон-насосной системы. Среди конструктивных нововведений указывается возможность удобной и быстрой смены винтов без удаления подшипников или каких-либо других частей насоса и усовершенствования системы смазки. Общая схема расположения пневмоустановки с киньон-насосом видна на фиг. 512.<sup>1</sup>

3. *Камерные загрузочные устройства.* Один из способов подачи пылевидного или мелкозернистого материала в рабочий трубопровод нагнетательной системы виден на фиг. 513. Материал через заслонку засыпается в цилиндрический резервуар (камеру), после чего заслонка герметически закрывается и открывается вентиль трубопровода, подводящего сжатый воздух. После того как в резервуаре устанавливается высокое давление, сжатый воздух вытесняет материал в рабочий трубопровод и гонит его к месту назначения. Достоинство этой системы заключается в простом механическом устройстве, недостаток — в больших потерях давления, так как толщина материала оказывает значительное сопротивление струйкам проникающего через нее воздуха.



Фиг. 513. Схема подачи материала в трубопровод давлением сжатого воздуха

Такая система, с рядом конструктивных усовершенствований, с подводом добавочного воздуха прямо в трубопровод, применяется в настоящее время в Америке для транспортирования материалов, выгружаемых из железнодорожных вагонов.<sup>2</sup>

Для ускорения и облегчения операций по управлению заслонкой и вентилями применяются установки, в которых все это производится полностью автоматически. Такая система загрузочного устройства фирмы Kennedy видна на фиг. 514.

<sup>1</sup> Передвижные киньон-насосные установки см. ниже, в отделе «Примеры применения».

<sup>2</sup> Установка фирмы Heltzel Steel Form & Iron Co, см. Pit and Quarry, июль 1934, стр. 56.



Установка состоит из резервуара, опертого на несколько цилиндрических пружин, двух запорных устройств — верхнего и нижнего, приводимых в действие от поршневого штока пневматических цилиндров, и системы трубопроводов и вентиляей.

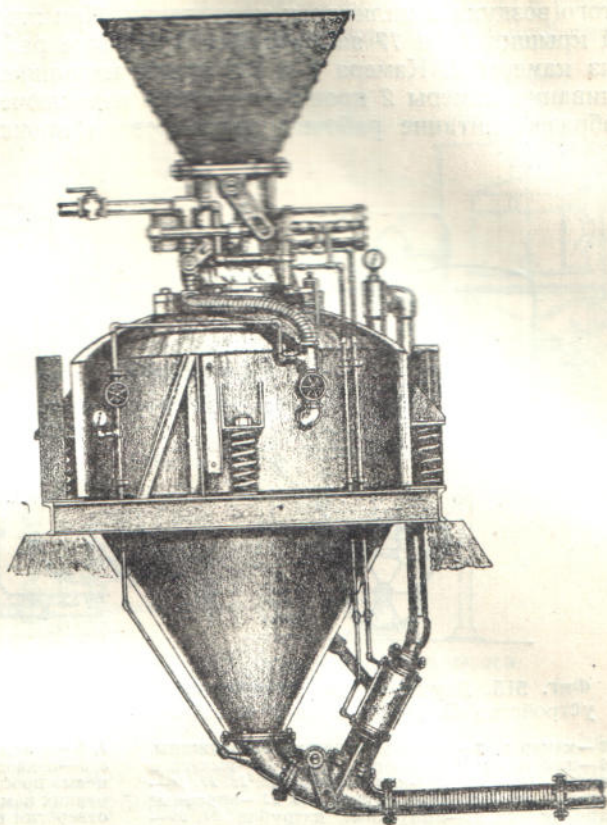
Пневматические цилиндры соединены между собой таким образом, что когда один запор открыт, то другой закрыт. В начале рабочего цикла, когда резервуар пуст, верхнее запорное устройство открыто и трубопровод, подводящий сжатый воздух в резервуар и к нижнему патрубку рабочего трубопровода, служащему смесительной камерой, закрыт.

Когда резервуар загружается сыпавшимся в него материалом, пружины сжимаются. К моменту заполнения резервуара, когда пружины дают достаточную осадку, происходит автоматическое переключение затворов и клапанов и приводится в действие система транспортирования. Когда резервуар опорожнен и поднят пружинами в исходное положение, рабочий цикл возобновляется.

Чтобы уменьшить время пауз при загрузке резервуара, применяются так называемые двухкамерные системы.

На фиг. 515 изображена такая конструкция G. Polysius A. G., известная под названием насоса Цера (Cera-Pumpe) и состоящая из двух камер 1 и 2, опирающихся на колонки 3 через посредство пружин 4, <sup>1</sup> Как и в предыдущем случае, камеры внизу и вверху снабжены герметически закрывающимися крышками 15, 16, 17 и 18. Управление крышками производится сжатым воздухом, впускаемым попеременно в цилиндры управления 5 и 6. Передача движения от поршней цилиндров управления крышкам совершается с помощью рычагов 7 и 8, штанг 9 и 10 и кривошипов 11, 12, 13, 14. Загружаемый материал входит в камеры через патрубки 20 и 21, а выходит через патрубки 22 и 23, попадая в приемные воронки 24 и 25 шлюзового затвора 26. Сжатый воздух, служащий для транспортирования, подводится к нижней ячейке вращающегося барабана, проходит сквозь нее, захватывает находящийся в ней материал и вводит с помощью штуцера 30 в рабочий трубопровод. Попеременный выпуск сжатого воздуха в цилиндры управления 5 и 6 осуществляется автоматическим замыканием электрических контактов при заполнении или опорожнении камер.

В положении, изображенном на фиг. 515, загрузка материала в рабочий трубопровод производится из камеры 1 через открытый патрубок 22. Крышка 15 при этом закрыта и доступ материала в камеру 1 прекращен. В соседней камере 2 нижняя крышка 18 закрыта, а верхняя 16 открыта — камера заполняется материалом. Вследствие упругости пружин 4, камера 1, опорожняясь, немного поднимается, а камерам 2, загружаясь, опускается. Пружины подобраны

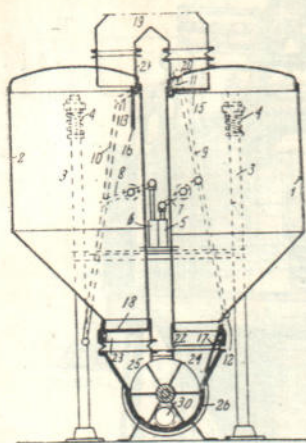


Фиг. 514. Однокамерное автоматическое питающее устройство системы Kennedy.

<sup>1</sup> «Fördertechnik und Frachtverkehr», 1932, № 15 16, стр. 181.

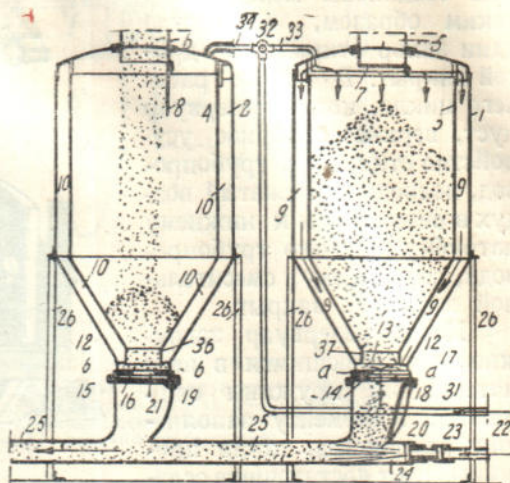


такой жесткости, чтобы при полном опорожнении камеры 1 и заполнении камеры 2 произошло замыкание электрических контактов и переключение сжатого воздуха в цилиндрах управления. При этом крышки 15 и 18 открываются, а крышки 16 и 17 закрываются и питание рабочего трубопровода совершается из камеры 2. Камера 1 в это время наполняется материалом. После опорожнения камеры 2 происходит опять переключение на камеру 1 и т. д. Таким образом питание рабочего трубопровода происходит непрерывно.



Фиг. 515. Двухкамерное загрузочное устройство G. Polysius (цера-насос):

1, 2—камеры. 3—опорные колонки, 4—пружины. 5, 6—цилиндры управления, 7, 8, 9, 10—рычаги и штанги, 11, 12, 13, 14—кривошипы, 15, 16, 17, 18—крышки, 19—спускные рукава, 20, 21—впускные патрубки, 22, 23—выпускные патрубки, 24, 25—воронки, 26—шлюзный барабан, 30—штуцер рабочего трубопровода.



Фиг. 516. Новая конструкция загрузочного устройства G. Polysius: (цера-насос):

1, 2—камеры под давлением, 3, 4—приемные камеры, 5, 6—подводящие патрубки, 7, 8—затворы, 9, 10—кольцевые пространства, 12—выпускные отверстия внутренних камер, 14, 15—горизонтальные плиты, 16, 17—отверстия в них, 18, 19—нижние соединительные отверстия, 22—воздухопровод, 23—сопло, 24, 25—рабочий трубопровод, 26—стойки, 31—ответвление, 32—трехходовой кран, 33, 34—трубки, 36, 37—выпускные патрубки.

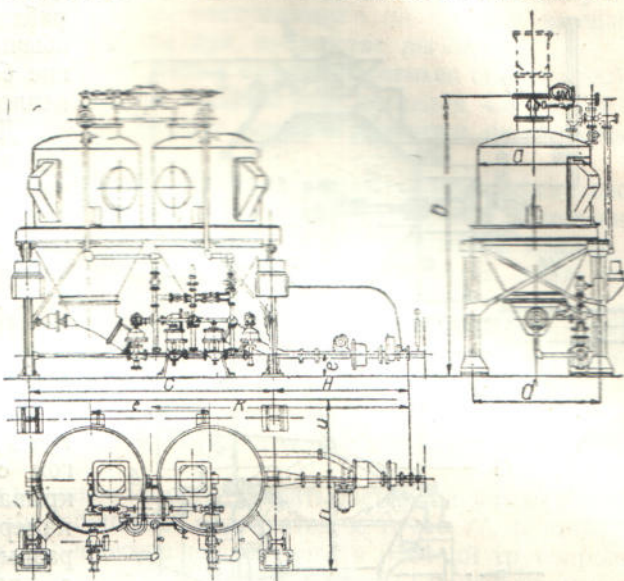
В новой конструкции загрузочного устройства G. Polysius A. G. (фиг. 516) удается достигнуть непрерывной и равномерной подачи материала в рабочий трубопровод без помощи механических приводов и передач, что является большим преимуществом по сравнению с предыдущей системой.

Загрузочное устройство состоит также из двух камер 1 и 2, жестко опирающихся на стойки 26. Внутри к каждой из камер прикреплено еще по одной, немного меньшей, камере 3 и 4 таким образом, что между их стенками образуются кольцевые пространства 9 и 10. Камеры 3 и 4 сверху и снизу открыты. Наружные камеры имеют сверху отверстие с патрубками 5 и 6 для впуска материала, внизу они связаны с рабочим трубопроводом 25 при помощи ответвлений 18 и 19. Сжатый воздух, необходимый для транспортирования материала, входит в рабочий трубопровод из воздухопровода 22 через сопло 23. Через ответвление 31 и трехходовой кран 32 с трубками 33 и 34 каждая из камер может соединяться с воздухопроводом сжатого воздуха 22. В нижней части камеры 1 и 2 имеют по одной горизонтальной плите 14 и 15. Плиты расположены на некотором расстоянии от нижних кромок выпускных патрубков 36 и 37 внутренних камер и имеют по одному круглому отверстию 16 и 17 посередине. Диаметр этих отверстий меньше диаметра выпускных патрубков настолько, чтобы материал, выходящий из внутренних камер 3 и 4, располагался на кольцевых плитах под углом естественного откоса. Круглые отверстия в плитах могут быть постоянного диаметра или переменного — на подобие диафрагм фотографических аппаратов.

Работа этого загрузочного устройства происходит следующим образом. Поворотом трехходового крана 32 производится выпуск сжатого воздуха в одну



из камер, например, правую; камера должна быть предварительно наполнена материалом. При этом верхняя крышка 7 правой камеры закрывается, нижняя 20 открывается и материал начинает вытекать через отверстие в плите 14 в рабочий трубопровод, где и увлекается струей воздуха, выходящего с большой скоростью из сопла 23. Закупорке отверстия препятствует сжатый воздух, который устремляется из камеры по кольцевому пространству 9 в рабочий трубопровод, благодаря существующей разности давлений. В левой камере, при этом крышка 21 закрыта, а крышка 8 — открыта — камера наполняется материалом. После полного опоражнения правой камеры, поворотом трехходового крана, впускают сжатый воздух в левую камеру, прекратив доступ его в правую. При этом закрывается крышка 8 и открывается крышка 21 — материал начинает поступать из левой камеры в рабочий трубопровод. В правой камере, наоборот, нижняя крышка 20 закрывается, а верхняя 7 открывается, давая доступ материалу для наполнения камеры. После опоражнения левой камеры, опять переключаются на правую и т. д. Таким образом осуществляется бесперебойная и равномерная подача материала в трубопровод.



Фиг. 517. Общий вид цера-насоса (Стальпроммеханизация).

Общий вид конструкции цера-насоса, разработанной «Стальпроммеханизацией», дан на фиг. 517, а главные размеры в таблице 79. Выбор размера насоса зависит не только от часовой производительности, но и от рода материала.

Таблица 79

Размеры цера-насосов в мм (по фиг. 517)

| № фирмы Полизуса | a    | b    | c    | d    | e    | H    | n    | u    | K    | l   |
|------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-----|
| X . . . . .      | 1000 | 2600 | 2240 | 1140 | 1100 | 1575 | 670  | 800  | 2695 | 220 |
| XIV . . . . .    | 1400 | 3500 | 3100 | 1600 | 1500 | 1925 | 1140 | 1000 | 3475 | 280 |
| XVIII . . . . .  | 1800 | 4500 | 3900 | 2000 | 1900 | 1755 | 1360 | 1200 | 3705 | 280 |
| XXII . . . . .   | 2200 | 4500 | 4700 | 2420 | 2300 | 1555 | 1590 | 1450 | 3905 | 280 |

Недостаток цера-насосов, помимо некоторой конструктивной сложности, — большая строительная высота, достоинство — отсутствие добавочных механических устройств и особого двигателя для подачи материала в трубопровод и минимальные потери сжатого воздуха, вследствие чего вся установка работает экономично.

При эксплуатации всех без исключения загрузочных устройств при нагнетательной системе транспортирования необходимо следить за тем, чтобы пуск в работу загрузочного устройства производился уже после того как компрессор приобретает нормальное число оборотов, в противном случае материал может заполнить и закупорить рабочий трубопровод возле места погрузки, так что транспортирование становится невозможным.

4. *Закладочные машины.* К числу загрузочных устройств также относятся так называемые закладочные машины, применяемые в горном деле для ввода



материала в рабочий трубопровод при пневматической закладке выработанных пространств.

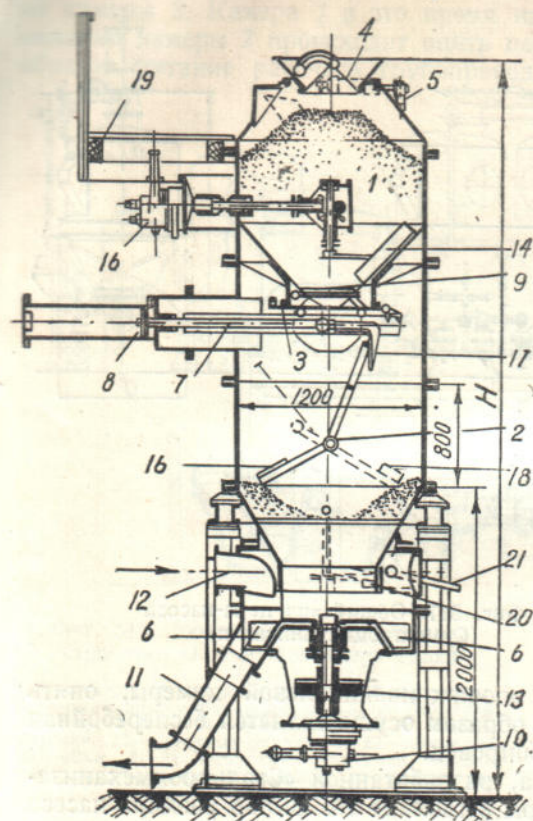
Ввиду того что при пневматической закладке применяются давления, достигающие до 3—3,5 ат, ввод материала в рабочий трубопровод с помощью барабанных затворов здесь является обычно нецелесообразным вследствие больших утечек воздуха через неплотности в шлюзе.

Для ввода закладываемого материала в рабочий трубопровод часто приходится применять особые двухкамерные машины, напоминающие по своей идее пескоструйные аппараты, употребляемые при очистке литья.

На фиг. 518 изображена такая закладочная машина фирмы *Torkret*.<sup>1</sup> Она состоит из двух, расположенных одна над другой, камер 1 и 2, соединяющихся друг с другом с помощью отверстия, перекрываемого задвижкой 3. Вверху камера 1 запирается колоколообразным клапаном 4, управляемым с помощью приспособления 5, действующего сжатым воздухом. Задвижка 3 также приводится в действие сжатым воздухом при посредстве штока 7 и поршня 8. Над задвижкой находится вращающийся вокруг горизонтальной оси клапан 9, препятствующий непосредственному соприкосновению материала с задвижкой и предохраняющий ее от загрязнения. Клапан открывается только тогда, когда задвижка отодвинута штоком в сторону.

В нижней части закладочной машины находится колесо 6, приводимое во вращение пневматическим мотором 10. Колесо снабжено лопатками и служит для равномерной подачи закладочного материала из нижней камеры 2 в трубопровод 11. Сжатый воздух подводится по трубе 12, расположенной непосредственно над трубопроводом 11, и выдувает в него материал с лопастей вращающегося колеса. Вал мотора соединяется с валом вращающегося колеса при посредстве фрикционной муфты 13, предохраняющей конструкцию от поломок при защемлении между лопастями колеса и кожухом каких-либо твердых инородных предметов, например случайно попавшего болта, куска цепи и т. п.

В верхней камере 1 имеется мешалка, скребок которой 14 вращается над мешалочной частью камеры, препятствуя зависанию материала над выходным отверстием, что имеет чрезвычайно важное значение при вдувании сырого, с большим содержанием глины, материала. Скребок приводится во вращение от пневматического мотора 15 при посредстве конической зубчатой передачи.



Фиг. 518. Двухкамерная закладочная машина *Torkret*:

1—верхняя камера, 2—нижняя камера, 3—задвижка, 4—клапан, 5—запорное устройство клапана, 6—вращающееся колесо, 7—шток, 8—поршень, 9—клапан, 10—пневматический мотор, 11—рабочий трубопровод, 12—подводящий трубопровод, 13—фрикционная муфта, 14—скребок, 15—пневматический мотор, 16—скребок, 17—зуб, 18—противовес, 19—мостик управления, 20—регулирующее кольцо, 21—рычаг.

лопатками и служит для равномерной подачи закладочного материала из нижней камеры 2 в трубопровод 11. Сжатый воздух подводится по трубе 12, расположенной непосредственно над трубопроводом 11, и выдувает в него материал с лопастей вращающегося колеса.

Вал мотора соединяется с валом вращающегося колеса при посредстве фрикционной муфты 13, предохраняющей конструкцию от поломок при защемлении между лопастями колеса и кожухом каких-либо твердых инородных предметов, например случайно попавшего болта, куска цепи и т. п.

В верхней камере 1 имеется мешалка, скребок которой 14 вращается над мешалочной частью камеры, препятствуя зависанию материала над выходным отверстием, что имеет чрезвычайно важное значение при вдувании сырого, с большим содержанием глины, материала. Скребок приводится во вращение от пневматического мотора 15 при посредстве конической зубчатой передачи.

<sup>1</sup> К. В. Горбачев и А. И. Гармаш, Закладка выработанного пространства в каменно-угольных шахтах Германии, «Горный журнал» 1929, № 8—9, стр. 1208. См. также «Fördermaschinen und Förderwerke», 1929, стр. 510 и «Glückauf», 1928, стр. 1441.



В нижней камере для этой же цели служит скребок 16, перемещающийся в свое крайнее правое положение зубом 17, укрепленным на штоке, и возвращающийся в крайнее левое положение противовесом 18, находящимся снаружи камеры. Кольцо 20, скользящее вдоль выпускного патрубка камеры 2, служит для регулирования количества материала, поступающего на лопасти вращающегося колеса, и приводится в движение при посредстве рычага 21.

Корпус камер состоит из отдельных литых стальных звеньев высотой 0,8 м каждое и диаметром 1,2 м. Общая высота машины — в пределах 4,8 до 7,8 м, в зависимости от производительности. Корпус машины крепится на клепаных колоннах.

Работа машины происходит в такой последовательности: при впуске сжатого воздуха в цилиндр задвижка 3 отодвигается в крайнее правое положение, разъединив камеры 1 и 2 друг от друга. Отпустив затем конический клапан 4, дают доступ материалу в верхнюю камеру, который и заполняет ее, после чего клапан 4 закрывают.

Затем выпускают в эту камеру сжатый воздух, одновременно отодвигая задвижку 3 и пуская в действие мешалку со скребком 14. При этом открывается клапан 9 и материал начинает поступать в нижнюю камеру 2. После опорожнения верхней камеры задвижка опять отодвигается в свое крайнее положение, разъединив камеры друг от друга, после чего верхняя камера начинает опять заполняться материалом.

Материал, поступивший в нижнюю камеру, захватывается лопастями вращающегося колеса и одинаковыми порциями подводится к трубе 11, в которую и вдувается сжатым воздухом. Количество подаваемого в рабочий трубопровод материала регулируется изменением числа оборотов мотора 10 и передвижением кольца 20.

Емкость верхней камеры 0,8—2 м<sup>3</sup>. Она наполняется материалом через каждые 1,25—1,5 мин.

Управление машиной производится одним человеком с мостика 19, на котором находятся все органы управления и контроля.

Машины такой конструкции строятся производительностью от 30 до 75 м<sup>3</sup>/час; в таблице 80 даны значения полной высоты  $H$  машины при различной часовой производительности.

Таблица 80

Полная высота  $H$  закладочной машины (по фиг. 518)

|  |     |     |     |     |
|--|-----|-----|-----|-----|
| Производительность (м <sup>3</sup> /час) . . . . . | 30  | 45  | 60  | 75  |
| $H$ (м) . . . . .                                  | 4,8 | 5,5 | 6,2 | 7,8 |

Давление воздуха достигает 3,5 ат при длине трубопровода 400—500 м. Количество засасываемого воздуха компрессором 110—150 м<sup>3</sup> на 1 м<sup>3</sup> закладываемого пространства

Помимо компрессора, подающего воздух при транспортировании материала, имеется обычно еще один компрессор меньшего размера, предназначенный для приведения в действие моторов 10 и 15, и задвижки 3. Производительность такого компрессора 3—4 м<sup>3</sup>/мин засасываемого воздуха, давление до 4 ат.

С 1933 г. на шахте Furst Hardenberg der Vereinigten Stahlwerke работала закладочная машина Tokret новой конструкции «Автомат», схема которой изображена на фиг. 519.<sup>1</sup>

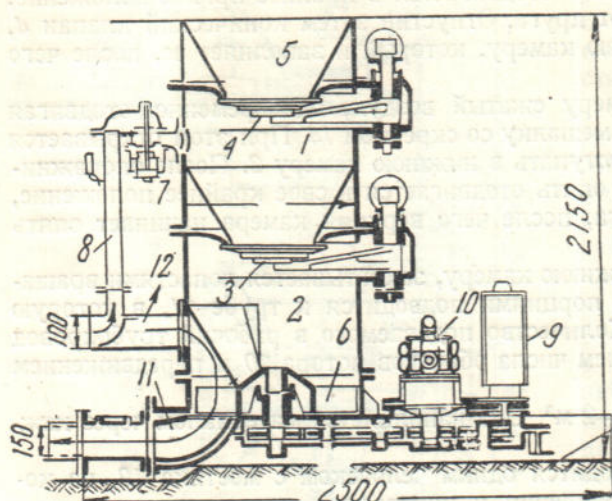
Закладочная машина «Автомат» выгодно отличается от старой конструкции тем, что у нее все управление автоматизировано. Закладываемый материал поступает в верхнюю камеру 7 из загрузочной воронки 5 при открытом шибере 4. После заполнения камеры 7 шибер 4 закрывает впускное отверстие, а шибер 3,

<sup>1</sup> «Glückauf», 1933, стр. 658; Z. V. d. I. 1933, стр. 985.



отодвигаясь в сторону, соединяет верхнюю камеру с нижней 2, которая начинает заполняться материалом. Вращающееся колесо 6 захватывает своими лопастями материал и подает его равномерными порциями к трубопроводу 11, в который он вдувается сжатым воздухом, поступающим по трубе 12.

Чтобы сжатый воздух камеры 2 не препятствовал свободному выходу закладочного материала из камеры 1, в последнюю впускается сжатый воздух с помощью обводной трубы 8 и двойного клапана 7. Двойной клапан производит впуск сжатого воздуха в камеру 1 еще до открытия шиберов 3 и выпускает из нее сжатый воздух перед открытием шиберов 4. Таким образом шиберы открываются и закрываются при одинаковом давлении воздуха с обеих сторон. Плотное прилегание шиберов гарантируется разностью давлений, которая устанавливается по обе стороны, как только он перекроет отверстие.



Фиг. 519. Двухкамерная закладочная машина Торкрет-«Автомат»:

1—верхняя камера, 2—нижняя камера, 3, 4—шибер, 5—воронка, 6—вращающееся колесо, 7—управление двойным клапаном, 8—обводная труба, 9—колонна управления, 10—пневматический мотор, 11—рабочий трубопровод.

Управление двойным клапаном 7, регулирующим впуск и выпуск сжатого воздуха в камеру 1, а также и управление шиберами 3 и 4 производится автоматически сжатым воздухом, подводимым гибкими шлангами (см. фотографию на фиг. 520) от специальной колонки автоматического управления 9. Колонка автоматического управления заключает в себе кулачковый распределительный вал, управляющий четырнадцатью клапанами, регулирующими впуск воздуха в шланги. Кулачковый вал приводится во вращение от небольшого пневматического мотора 10, который при посредстве зубчатой передачи одновременно вращает и колесо 6.

Число оборотов кулачкового управления и загрузочного

колеса 6 находится в определенном соотношении, которое не может быть изменено рабочим, обслуживающим машину. При изменении числа оборотов мотора 10 соответственно изменяются числа оборотов колеса 6 и кулачкового вала, причем соответственно же изменяется и производительность машины.

Размеры машины таковы: высота 2,15 м, ширина 1 м, длина 2,5 м.

Производительность машины при наличии благоприятных условий временно достигала 75 м<sup>3</sup>/час закладываемого материала. При менее благоприятных условиях производительность падала до 35—40 м<sup>3</sup>/час.

Давление воздуха при холостом ходе машины колебалось, в зависимости от длины и подъема трубопровода, от 0,1 до 0,8 ат, при транспортировании материала давление соответственно повышалось до 1—2,8 ат.

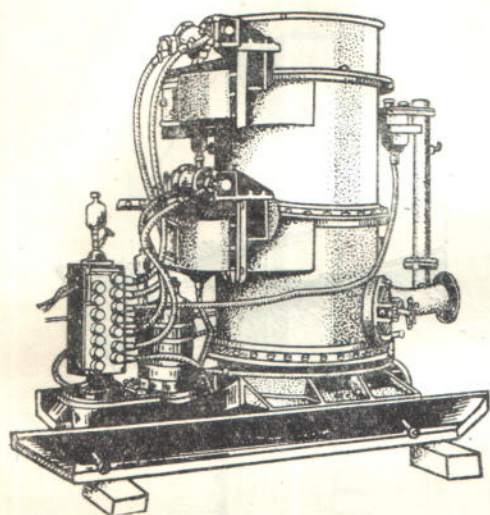
На фиг. 521 изображена однокамерная закладочная машина,<sup>1</sup> по своей конструкции тождественная с нижней частью двухкамерной закладочной машины, приведенной на фиг. 518. К верхнему фланцу однокамерной машины присоединяется бункер высотой от 10 до 20 м, снабженный сверху колоколообразным клапаном-затвором. При работе машины этот клапан закрывается и бункер играет роль верхней камеры двухкамерной машины. При значительной высоте бункера столб материала может служить достаточным уплотнением против просачивания сжатого воздуха, и тогда бункер сверху делается открытым (фиг. 522).

<sup>1</sup> «Горный журнал», 1929, № 6—7, стр. 930.

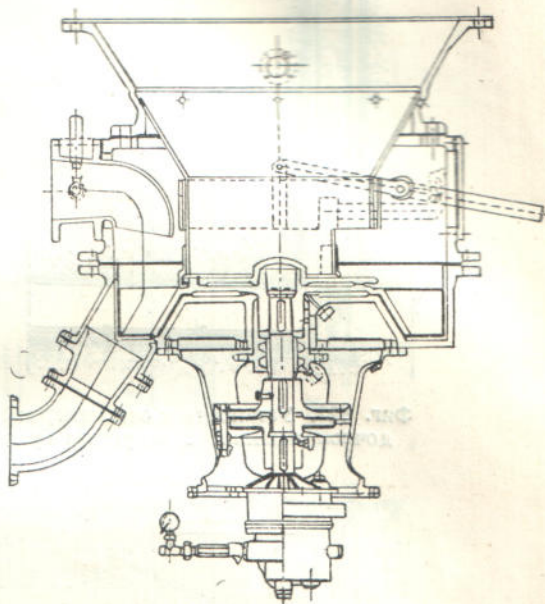


У выходного отверстия бункера имеется вспомогательный диск, который при отъеме закладочной машины служит, вместе со скользящим кольцом, затвором для бункера.

На фиг. 523 изображена схема закладочной машины, изготовляемой фирмой Carlshütte в Вальденбурге.<sup>1</sup> Машина состоит из диска 7, вращающегося относительно вертикальной оси, на который поступает закладываемый материал из бункера, и барабанного шлюза 2, непосредственно вводящего его в трубопровод 3. Сжатый воздух подводится по трубе 9.



Фиг. 520. Общий вид двухкамерной закладочной машины Торкрет-«Автомат».



Фиг. 521. Однокамерная закладочная машина.

С вращающегося диска материал сгребается в воронку 4 шлюза с помощью направляющего ножа.

Барабан шлюза и диск приводятся во вращение от мотора 5 при посредстве червячной 6, конической 7 и цепной 8 передач. Мощность мотора 5—10 л. с. Часовая производительность 25—30 м<sup>3</sup> закладываемого материала. Потребляемое количество засосанного воздуха около 300 м<sup>3</sup> на 1 м<sup>3</sup> закладки при давлении 1,6 атм.

## § 4. ПРИМЕРЫ ПНЕВМАТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК

### 1. ТРАНСПОРТИРОВАНИЕ ЗЕРНА

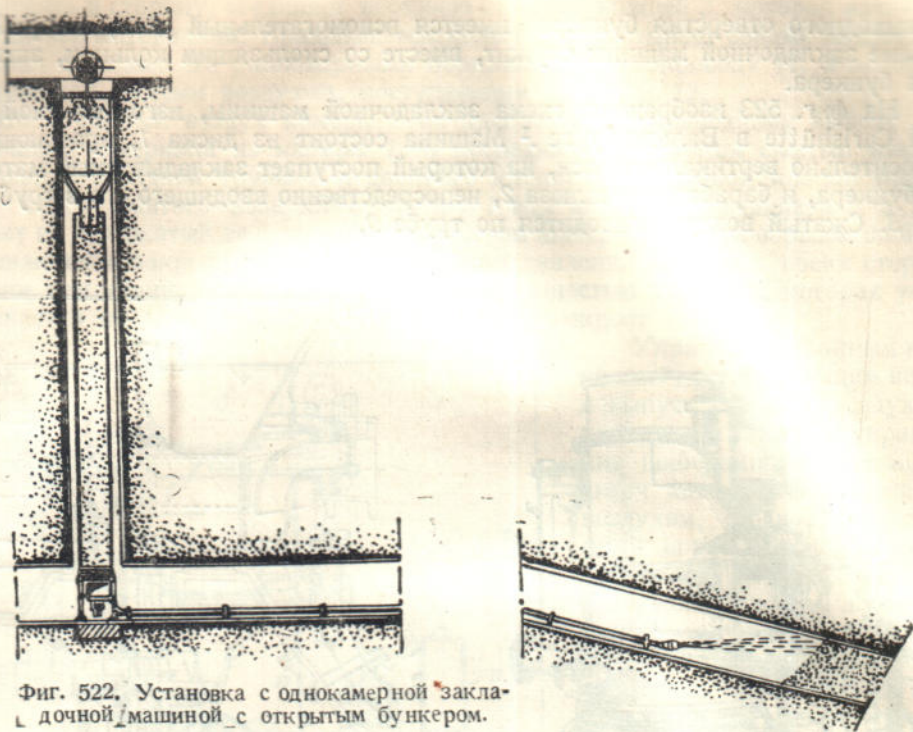
Пневматическое транспортирование зерна находит применение главным образом при перегрузочных операциях в морских и крупных речных гаванях. Несмотря на то что расход энергии при этом в 5—6 раз и больше превышает расход энергии ковшевыми элеваторами,<sup>2</sup> последние неуклонно вытесняются пневматическими установками, в особенности при разгрузке судов.

Разгрузка судов с помощью пневматической установки производится значительно быстрее, чем элеватором той же часовой производительности, что соответственно сокращает время простоя судов. Зерно засасывается соплами из

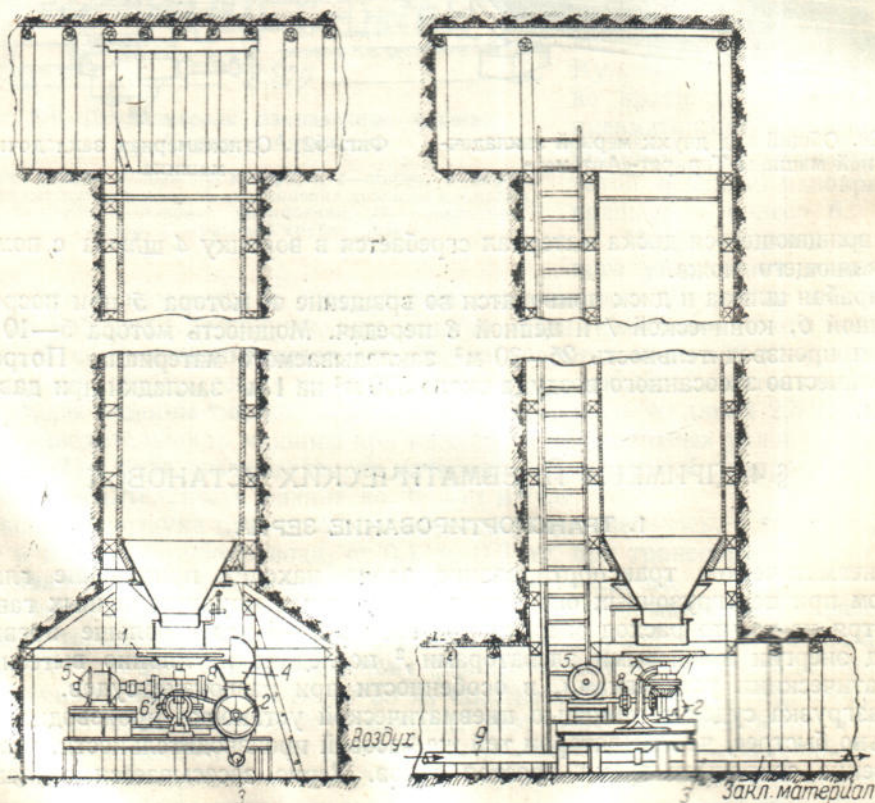
<sup>1</sup> «Горный журнал», 1929, № 8—9, стр. 1224.

<sup>2</sup> P. Schröder в «Fördertechnik und Frachtverkehr», 1928, № 15, характеризует потребление энергии элеватором и пневматическим транспортером отношением 1 : 4,3.





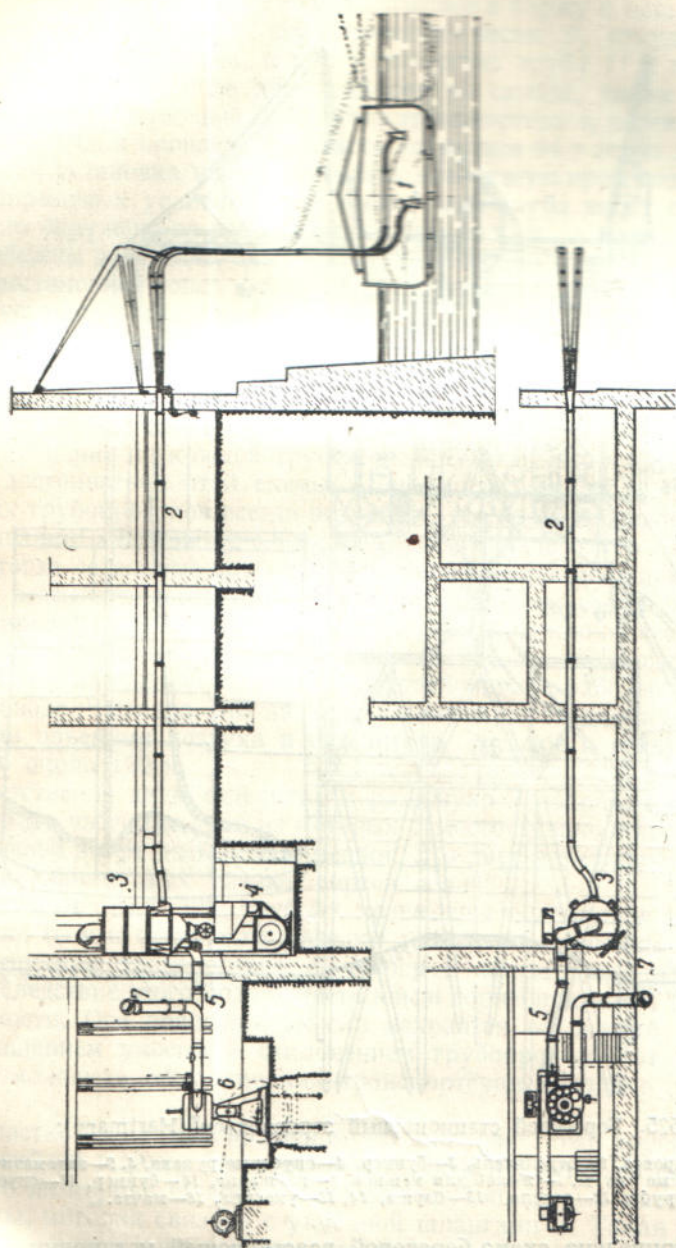
Фиг. 522. Установка с однокамерной закладочной машиной с открытым бункером.



Фиг. 523. Закладочная машина Carlshütte, установленная под бункером:  
 1—вращающийся диск, 2—барабанный шлюз, 3—трубопровод, 4—воронка, 5—мотор, 6, 7, 8—передача,  
 9—подводящая труба.



трюма без остатка, тогда как при разгрузке элеваторами необходима добавочная очистка трюма путем подгребки зерна лопатами. Кроме того работа пневматического транспортера почти не зависит ни от уровня воды, ни от погоды, ни от положения и величины люков корабля; в то же время все эти факторы весьма ограничивают эксплуатацию черпакового элеватора.



Фиг. 524. Стационарная всасывающая установка для разгрузки баржей с зерном (Беек)

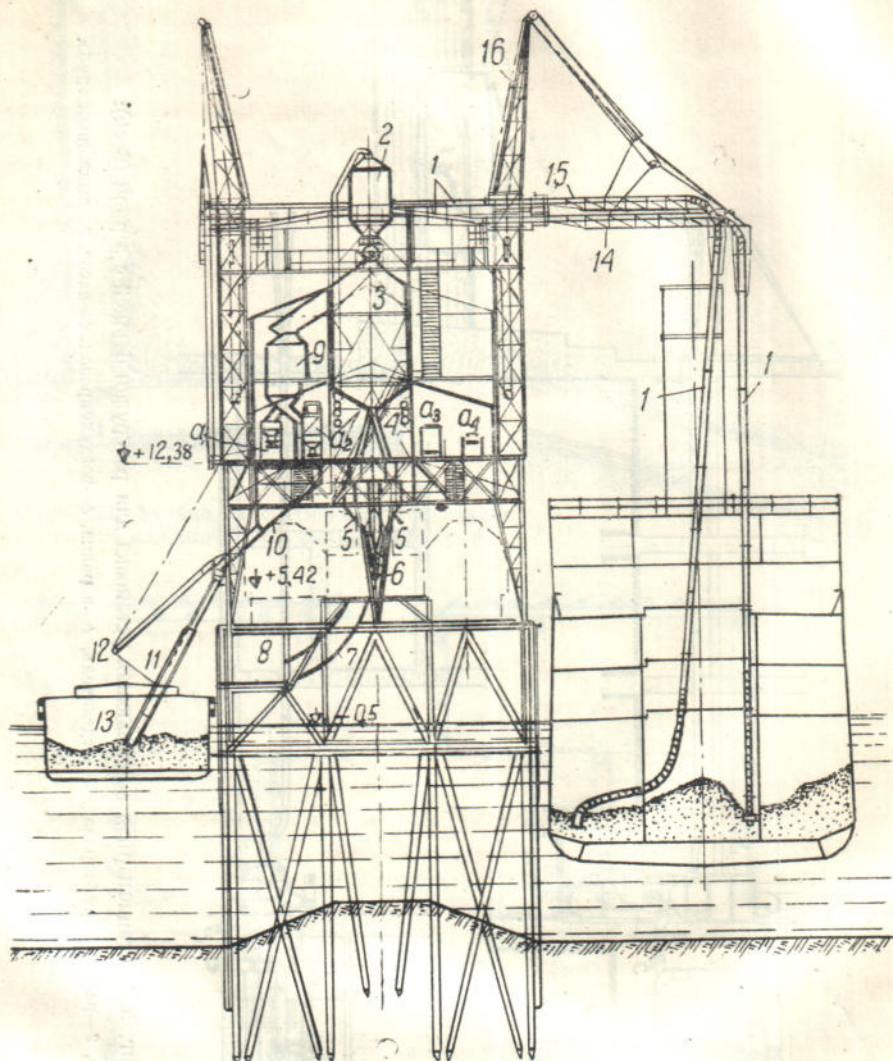
1—сопло, 2—рабочий трубопровод, 3—отделитель, 4—воронка, 5—насос, 7—выклонная труба.

Пневматические установки для разгрузки судов или «зерноподъемы» выполняются стационарными и передвижными, последние — движущимися по береговой линии или пловучими. В зависимости от местных условий и требующейся дальности перемещения, выгруженное из судов зерно перемещается к месту назначения, например в силосы, тоже пневматическим способом, либо передается на пневматические транспортные устройства — ленты, элеваторы и пр.

Схема стационарной всасывающей пневматической установки, с помощью которой могут разгружаться сразу две баржи с зерном, видна на фиг. 524.



Зерно засасывается через сопла 1 и по трубопроводу 2, длиной 50 м, передается в отделитель 3, из которого через барабанный шлюз и воронку 4 подается в башмак ковшевого элеватора. Воздух отсасывается по трубопроводу 5 насосом 6 и через трубу 7 выводится наружу. Производительность установки 55 т в час.



Фиг. 525. Береговой стационарный зерноподъем (Hartmann):

1—рабочий трубопровод, 2—отделитель, 3—бункер, 4—спускные рукава, 5, 9—автоматические весы, 6—загрузочные трубы, 7—желоб для мешков, 8—платформа, 10—бункер, 11—спускная труба, 12—стрела, 13—баржа, 14, 15—укосина, 16—мачта.

На фиг. 525 приведена схема береговой всасывающей установки для зерна по проекту фирмы F. Hartmann & Co для Бременской гавани III. Зерно всасывается из трюма корабля и по трубам 1 с гибкими участками попадает в отделители 2 (на схеме виден только один отделитель). В зависимости от дальнейшего назначения, зерно выпускается из отделителей при помощи шлюзовых затворов или в промежуточный резервуар 3, емкостью 50 т, или к автоматическим весам 9.

Если зерно предназначается для погрузки в мешках в железнодорожные вагоны или баржи, то его выпускают через резервуар 3 на автоматические весы 9.



(всего под резервуаром находится четверо автоматических весов), взвешивают и при помощи четырех труб 6 насыпают в мешки, которые затем погружают в железнодорожные вагоны; габариты вагонов показаны на схеме пунктиром. При погрузке зерна в баржу взвешенные мешки опускают по спускному жолобу 7 на погрузочную площадку 8, откуда и производят погрузку.

Если зерно предназначается для погрузки в баржу в насыпном виде, то оно выпускается из отделителей к автоматическим весам 9, откуда оно через бункер 10, емкостью 20 т зерна, и телескопическую трубу 11 и попадает в баржу.

Зерно, предназначенное для хранения на складе, также взвешивается на весах 9, но затем с помощью ленточного транспортера 4 перемещается к складу.

Среднесуточная производительность установки 94 т зерна в час. Но так как всасывающая установка может развивать наивысшую производительность только при благоприятных условиях, например когда труба висит строго по прямой, когда сопло окружено со всех сторон зерном и т. п., а кроме того во время работы неизбежны перерывы, связанные с удлинением или укорочением трубопроводов, перестановкой сопел и т. п., то среднечасовая производительность пневматической установки принята в пределах 250—300 т. В более новых установках превзойдена и эта производительность.

Каждая из труб 7 присоединена к своему особому отделителю, связанному через воздухопроводы и фильтр с одной из полостей поршневого одноцилиндрового насоса. Такая схема присоединения труб дает возможность производить транспортирование по каждой трубе совершенно независимо друг от друга, что является достоинством этой схемы. При присоединении к одному отделителю нескольких трубопроводов всегда возможно, что из-за небрежности рабочего или при всасывании остатков одно из сопел всасывает черезчур большое количество воздуха, тогда остальные трубопроводы, обладающие большим сопротивлением, начинают всасывать соответственно малые количества воздуха и прекращают транспортирование. К недостаткам этой схемы нужно отнести присоединение каждого из трубопроводов к одной полости насоса, что может повести, в особенности при тихоходном насосе, к неустойчивости рабочей скорости воздуха в трубопроводе;<sup>1</sup> правда, это явление в данной установке компенсируется значительными объемами воздуха в отделителе, фильтре и воздухопроводе; длина последнего около 150 м.

Соответственно двум отделителям резервуар 3 подразделен промежуточной стенкой на две части, каждая из которых самостоятельно подает зерно на весы 5 с последующей затем насыпкой в мешки. Это дает возможность одновременного транспортирования двух разных сортов зерна.

Как видно из фиг. 525, трубы 7 подвешены к укосинам 14 и 15, имеющим вылет около 10 м и оттянутым тросами к мачте 16. Укосины крепятся к железной конструкции транспортера с помощью карданного шарнира (фиг. 526) и имеют вследствие этого подвижность как в горизонтальной, так и в вертикальной плоскости. Оси вращения укосин находятся на высоте 25 м над уровнем воды. Вращением укосин и отклонением трубопроводов от вертикали достигается возможность обслуживания транспортером довольно значительной площади.

На участке возле осей вращения укосины (фиг. 526) трубопровод выполнен из куска гибкой шланги (конструкция шланги показана на фиг. 455). Соединение одного из концов шланги с жестким трубопроводом выполнено с помощью грундбоксы, которая связана с укосиной шлангами 2. Такая конструкция присоединения шланги дает возможность полностью разгрузить ее от растягивающих и сжимающих усилий.

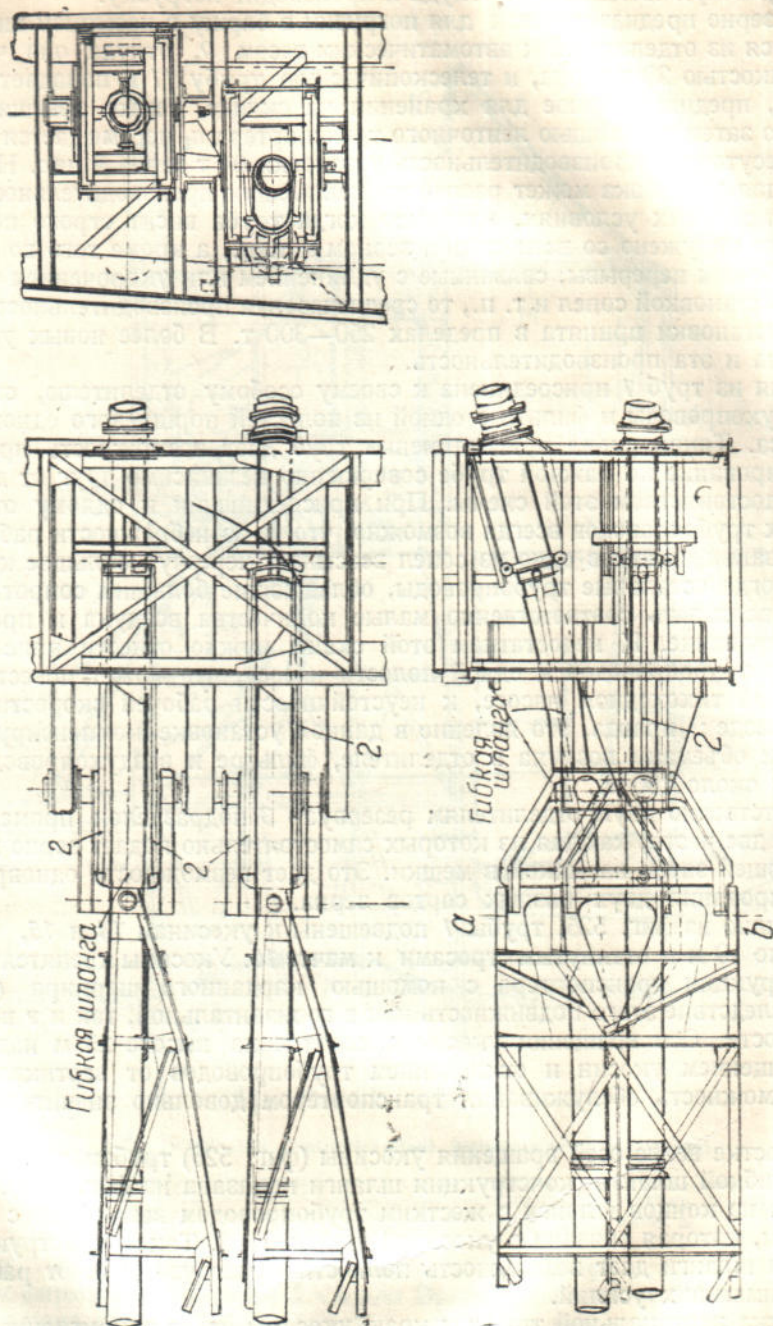
Подвеска вертикальной трубы к краю укосины перед закруглением выполнена также с помощью карданного шарнира, причем кусок гибкой шланги также разгружен от растягивающих усилий.

Пыльный воздух из отделителей пропускается через мокрые фильтры, водоотделители, а затем направляется по воздухопроводам к насосу. Конструкция фильтра приведена на фиг. 492.

<sup>1</sup> Об этом подробнее см. в § 3, пункт 2а.



Отделитель состоит из цилиндрического железного сосуда диаметром 2 м и высотой 3,7 м, с толщиной стенок 7—8 мм. Рабочий трубопровод подведен тангенциально к нижней части кожуха, причем на месте, в которое непосредственно ударяется струя материала, установлена сменная 30-мм плита.

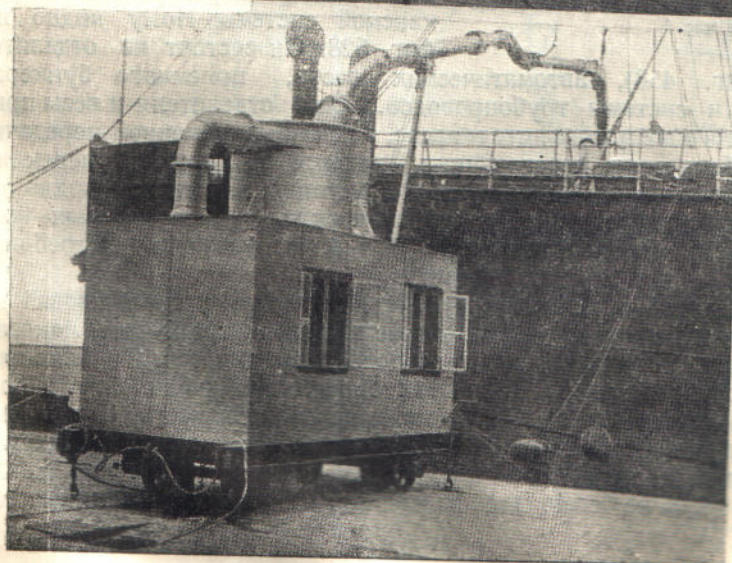
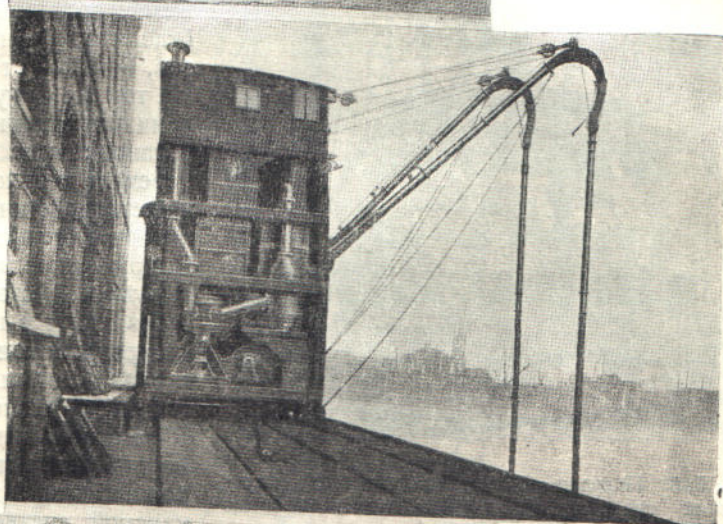
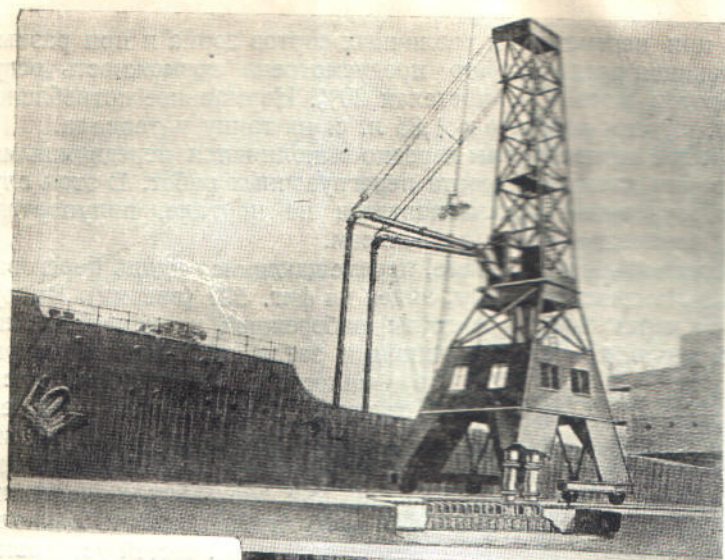


Фиг. 526. Крепление укосин к железной конструкции.

Шлюзовой затвор — барабанного типа. Барабан — диаметром 750 мм, шириной 450 мм — делает 12 оборотов в минуту и приводится во вращение от мотора при посредстве червячной и цилиндрической зубчатой передачи.

Воздушный насос одноцилиндровый с диаметром цилиндра 1075 мм и ходом поршня 600 мм; он делает 120 оборотов в минуту и приводится в движение от мотора при помощи ременной передачи. Так как скорость и количество





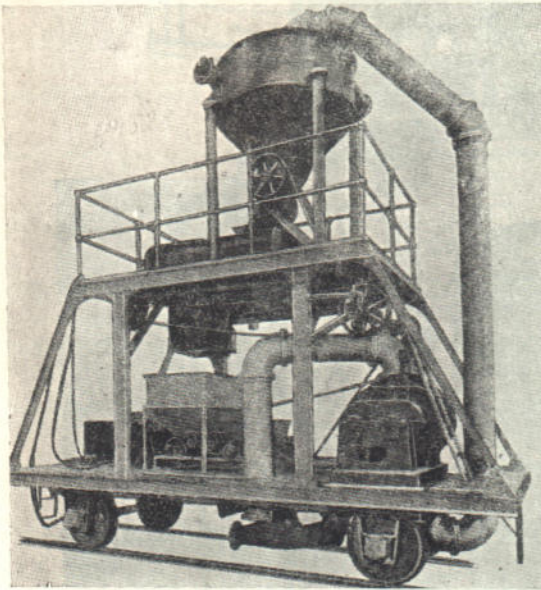
Фиг. 527. Пневматические береговые передвижные зерноподъемы на 240, 100 и 50 т/час (Henry Simon).



подаваемого воздуха при перемещении различных сортов зерна и при разных условиях транспортирования различны, (то предусмотрена возможность регулирования числа оборотов мотора в пределах 20%. Нормальное потребление энергии мотором 175 л. с., что дает около 1,85 л. с. на тонну материала.

Береговые всасывающие зерноподъемы нередко выполняются передвижными, для удобства обслуживания длинного фронта перегрузочных работ. В этом случае пневматическое оборудование устанавливается на портале, полупортале или катучей тележке, перемещающейся по рельсам.

Пневматический зерноподъем на портале, перемещающийся вдоль береговой линии, установленный в Лондонском порту, виден на фиг. 527 (вверху). Выгруженное зерно сыпается через люки в настилы набережной на конвейер типа Redler,<sup>1</sup> движущийся вдоль причальной линии и затем поднимающий зерно



Фиг. 528. Передвижной пневматический перегрузчик системы Holly производительностью 15—20 т/час.

в силосы. Производительность установки 240 т в час. Меньшего размера катучая установка, производительностью в 100 т в час, видна на той же фигуре посредине. Для того чтобы показать расположение составных частей установки: отделителя, фильтра, насоса и весов, боковая стенка на башне снята. На той же фигуре внизу представлена пневматическая перегрузочная установка еще меньшего масштаба, перемещающаяся по нормальной железнодорожной колее и дающая производительность 50 т в час. Выгруженное зерно, как и в предыдущих установках, сыпается через люки в проложенный вдоль набережной тоннель, в котором монтирован принимающий зерно ленточный транспортер.

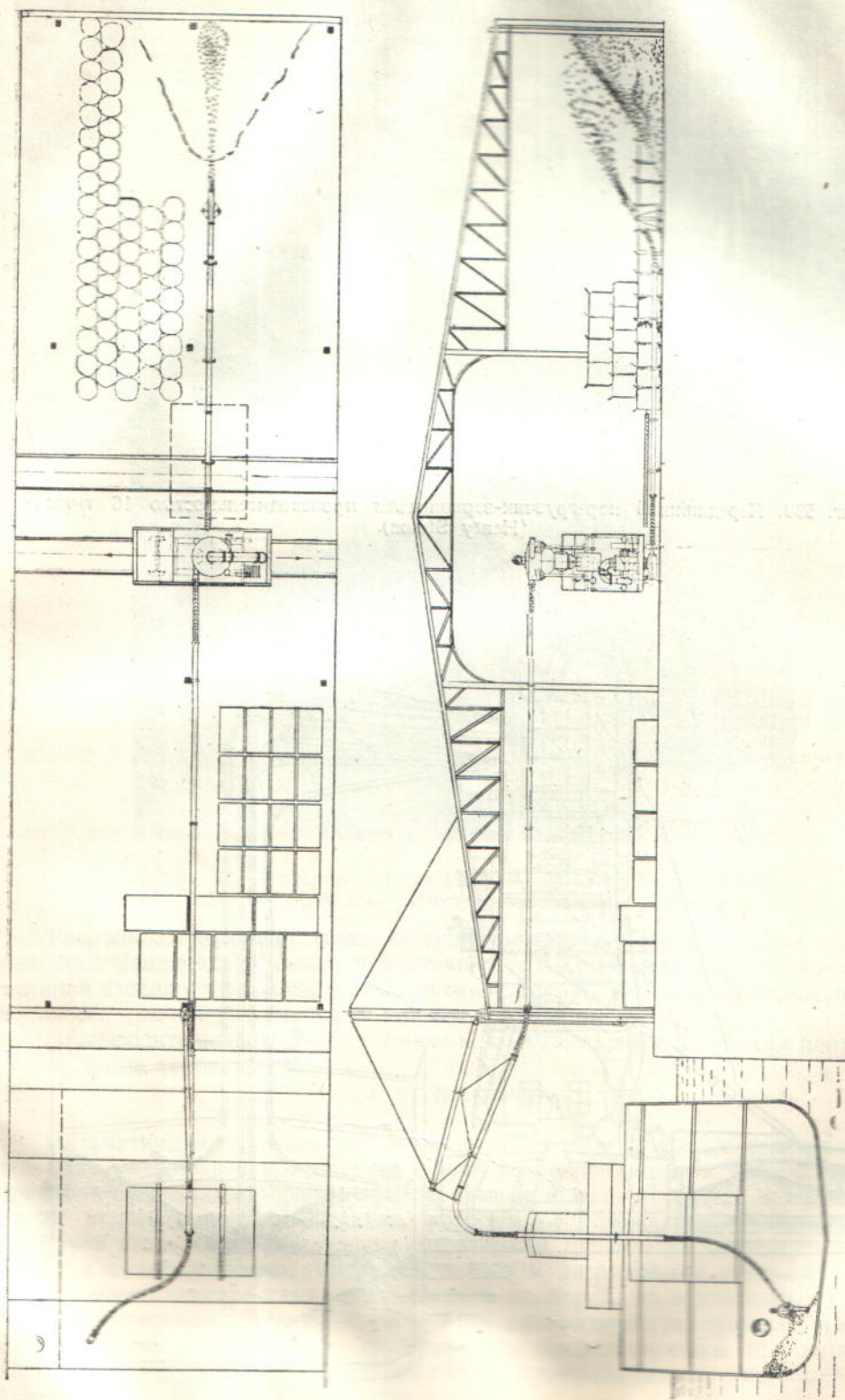
Расположение составных частей на передвигающемся по железнодорожной колее перегрузчике американской системы Holly видно на фиг. 528. Он состоит из отделителя-циклона (см. фиг. 458), автоматических весов, приемного бункера, ротационного насоса и системы трубопроводов. Шлюз отделителя и весы приводятся в действие от того же мотора, что и насос, с помощью ременной передачи. Характерной особенностью перегрузчика является возможность переключения его на схему всасывающе-нагнетательной установки, как это видно на фиг. 529, представляющей перегрузку из судна на склад так называемых бразильских орешков. При производительности 15 т в час установка потребляет 45 л. с. Обслуживается она 2—3 рабочими.

Еще один легкий передвижной перегрузчик для зерна, установленный на трехколесной тележке и перемещаемый по колее колесным трактором, показан на фиг. 530. Он служит для подачи зерна из подземных силосов. Трубопровод представляет собой собираемую из отдельных секций гибкую шлангу. Перегрузчик, снабженный мотором в 30 л. с., дает производительность 16 т в час.

Большие удобства для эксплуатации в портах имеют пловучие зерноподъемы, применяемые как для перегрузки зерна из морских судов в речные или наоборот, так и для подачи зерна на берег. Одно из главных достоинств их заключается

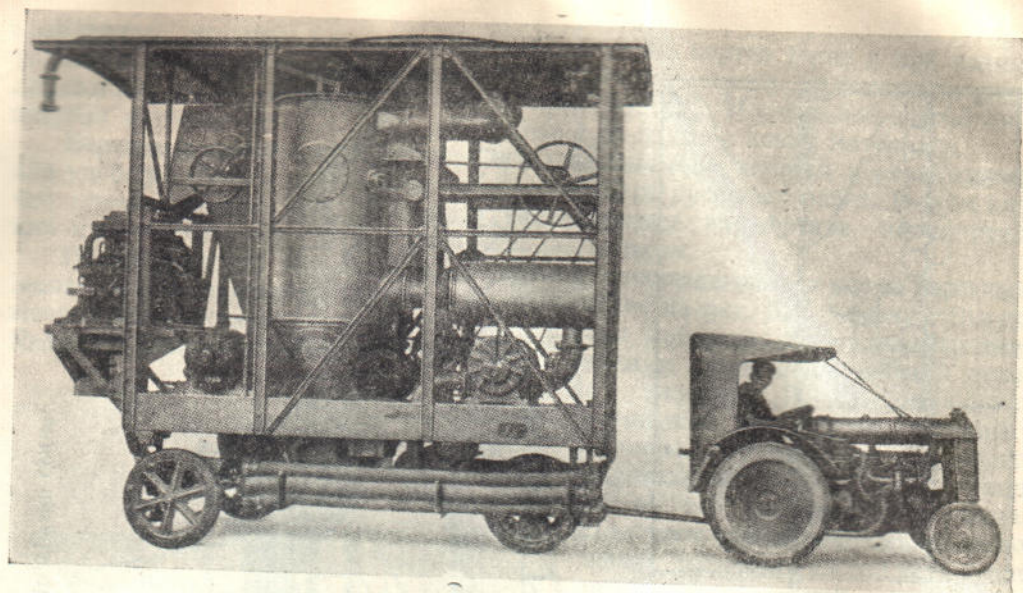
<sup>1</sup> О конвейере Redler см. например: А. С. Тараканов, Скребокый транспортер-элеватор, «Внутризаводский транспорт», 1935, № 1, стр. 68; П. А. Зайцев, Транспортеры и элеваторы типа Редлер, «Горный журнал», 1935, № 7, стр. 65.



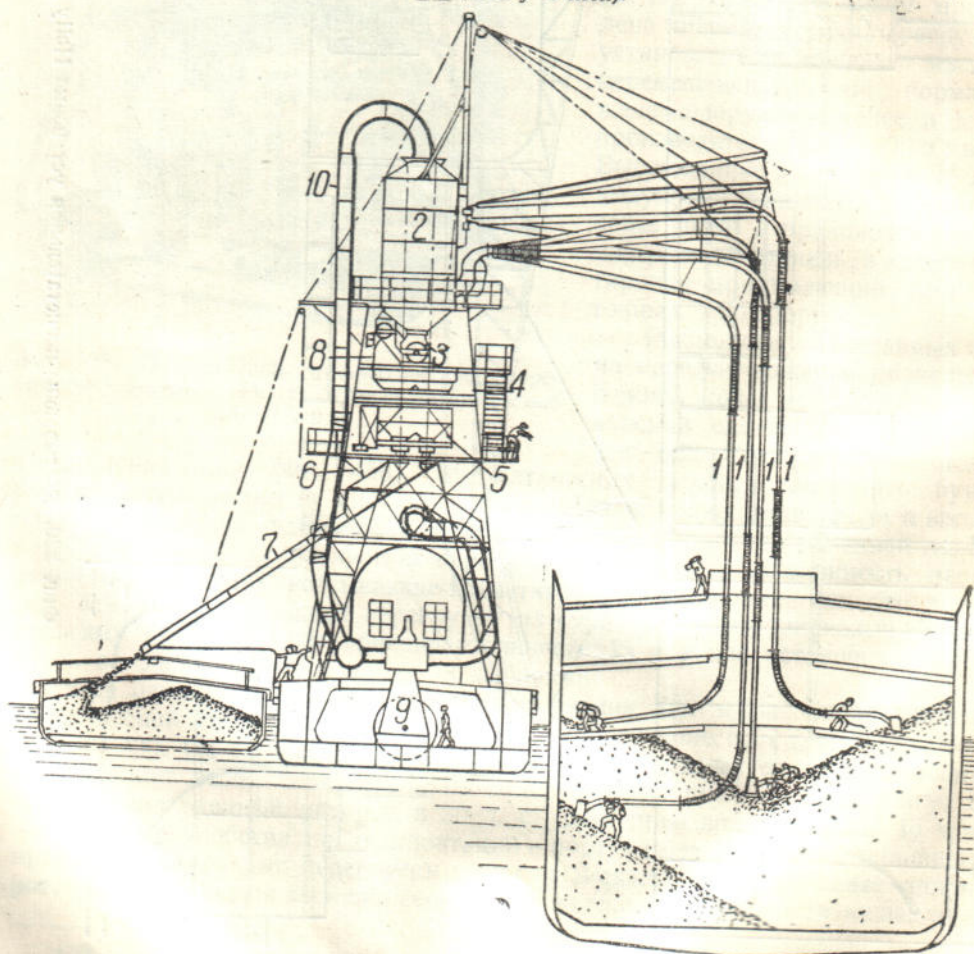


Фиг. 529. Всасывающе-нагнетательная установка Нолу для разгрузки судна.





Фиг. 530. Передвижной перегрузчик-зерноподъем производительностью 16 т/час.  
(Henry Simon).



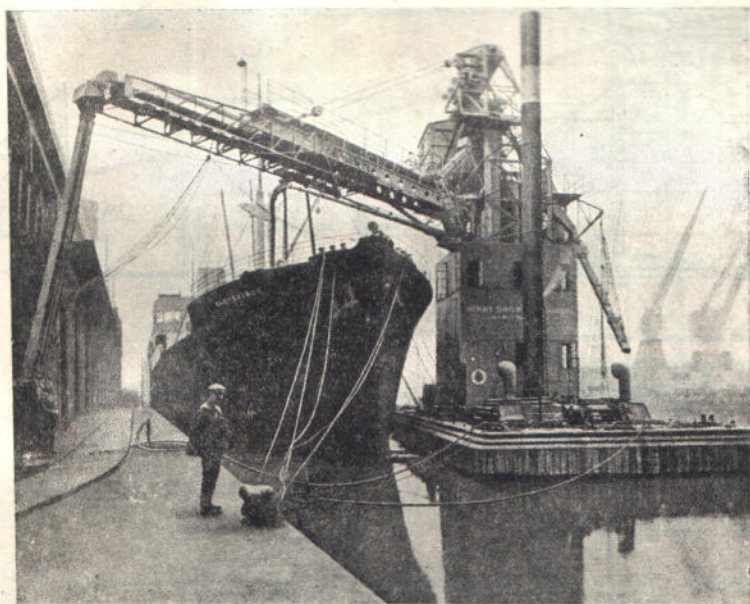
Фиг. 531. Пловучая пневматическая установка (Amme-Giesecke):  
1—трубопровод, 2—отделитель, 3—шлюз, 4—резервуар для зерна, 5—весы, 6—воронка, 7—труба,  
8—шлюз пылеотделителя, 9—насос, 10—воздухопровод.



в том, что они не загромождают береговой линии, на которой располагаются обычно склады, железнодорожные пути и пр.

На фиг. 531 представлена схема пловучего зерноподъема, выполняющего перегрузку первого рода.

Вся установка смонтирована на судне понтонового типа и служит для перегрузки зерна из морских судов в лихтеры. Зерно всасывается четырьмя трубами 7 с гибкими промежуточными участками и попадает в отделитель 2. Из отделителя зерно непрерывно отводится с помощью шлюза 3 в резервуар 4. Из резервуара зерно попадает на десятичные весы 5, взвешивается и через бункер 6 и телескопическую трубу 7 загружается в лихтер. Шлюз 8 служит для отвода пыли. Воздушные насосы 9, соединенные с отделителями трубопроводом 10, установлены в нижней части судна.



Фиг. 532. Пловучая пневматическая установка с ленточным транспортером для загрузки силосов (Henry Simon).

Расположение зерноподъема на судне при подаче зерна на берег видно на фиг. 532. Зерноподъем снабжен ленточным транспортером, смонтированным на длинной стреле с телескопической спускной трубой, по которой зерно подается в силосы, расположенные близ причальной линии.

Производительность такой установки, работающей в английском порту Бристоль, 180 т зерна в час.

## 2. УГЛЕПОДАЧА

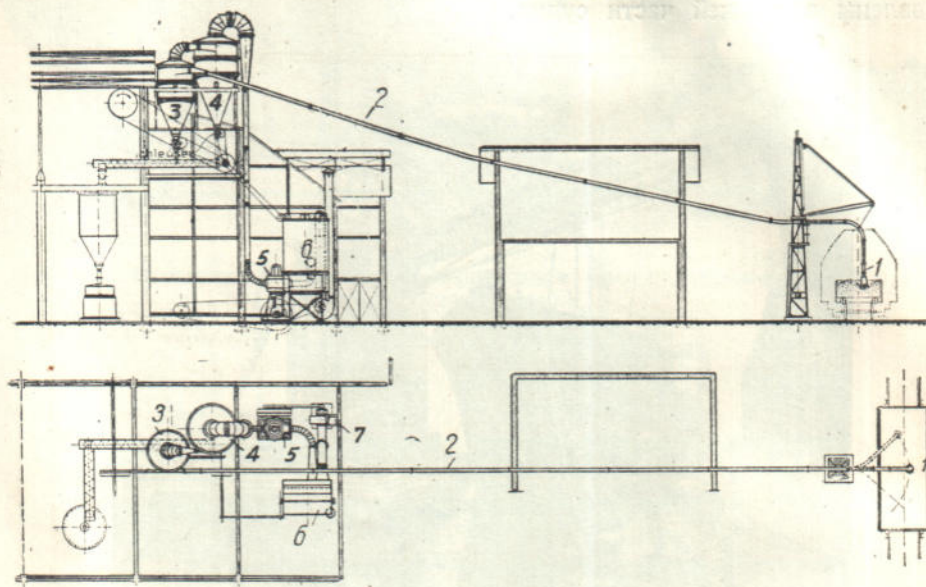
Пневматическое транспортирование угля на перегрузочных пунктах и в котельных, получившее в последнее время довольно широкое распространение, применяется главным образом при перемещении мелкокусковых и пылевидных сортов топлива. Пылеобразование, которым сопровождается транспортирование сухой угольной мелочи и пыли элеваторами, ковшевыми конвейерами и ленточными транспортерами, ведет не только к загрязнению угольной пылью окружающего пространства, механизмов и приборов, но в некоторых случаях и к ощутительным потерям в весе. При пневматическом транспортировании уголь движется в закрытом трубопроводе, препятствующем проникновению пыли наружу и загрязнению окружающего пространства, а следовательно и потери в весе сводятся практически к нулю.

По мере все усиливающегося распространения сжигания низкосортных углей в виде угольной пыли находят возрастающее применение и пневматические



установки для транспортирования. С помощью воздуха можно с успехом транспортировать и более крупный уголь, величиною в 40—60 мм и больше. Крошение и истирание угля при транспортировании, нежелательное при сжигании его в измельченном виде, в правильно спроектированной установке может быть относительно мало значительным.

Кроме уже упоминавшегося основного преимущества пневматического транспортирования в котельной — отсутствие распыливания — оно обладает еще очень ценным преимуществом перед механическим транспортированием, а именно удобством образования разветвленной сети, например выполнения с помощью всасывающего сопла подачи угля в котельную из вагонов, стоящих



Фиг. 533. Всасывающая установка для подачи бурого угля (Luther):

1—всасывающее сопло, 2—рабочий трубопровод, 3—отделитель для угля, 4—отделитель для пыли, 5—насос, 6—фильтр, 7—экстаузер.

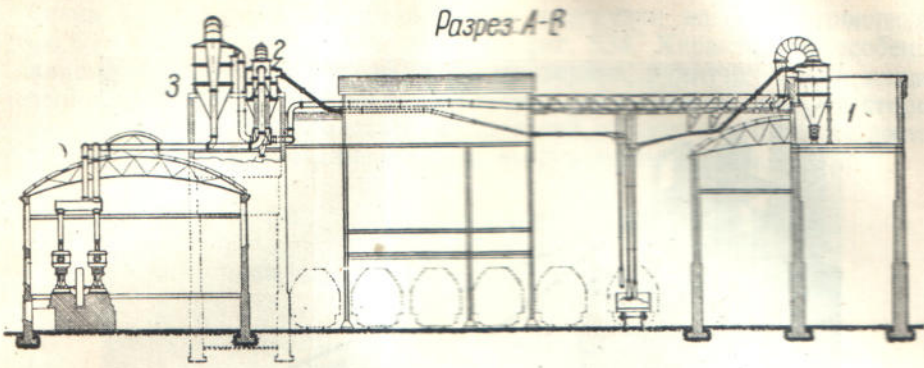
на железнодорожных путях, или из любой точки складов, которые нередко занимают довольно обширную площадь. Оборудование механическими транспортерами обходится в таких случаях иногда дороже пневматического и эксплуатация, за счет более многочисленного обслуживающего персонала, выше.

Рассмотрим несколько схем пневмоустановок для углеподачи всасывающей и нагнетательной системы.

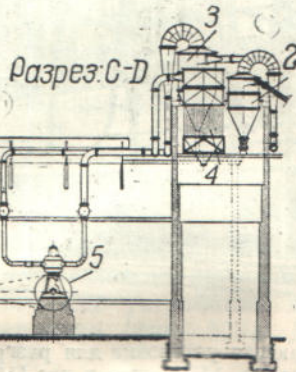
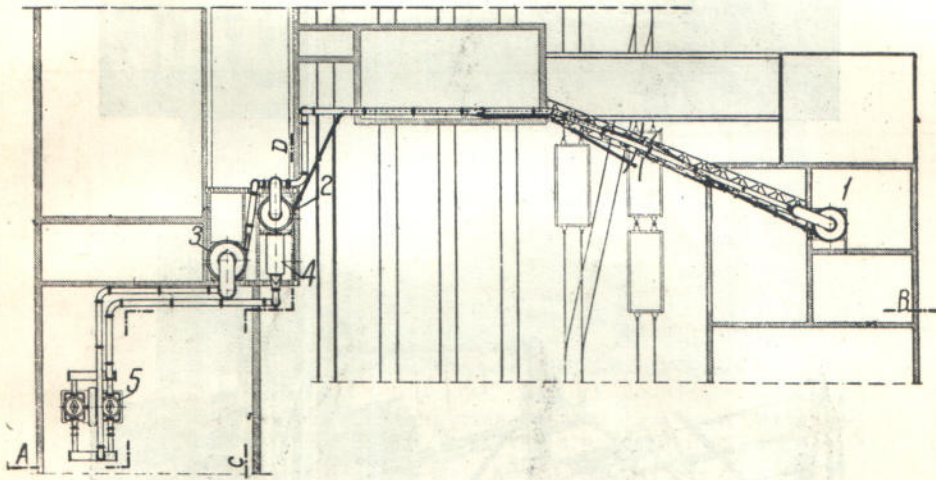
На фиг. 533 представлена всасывающая установка для выгрузки из вагонов мелкого бурого угля и подачи его в бункер над мельницей для дальнейшего измельчения. Пневмоустановки пришли здесь на смену полумеханическому способу подачи угля, который заключался в следующем. Уголь вручную выгружался из вагонов в опрокидные вагонетки, в которых откатывался по путям, уложенным вокруг фабричного здания, находящегося между пунктом разгрузки и мельничным отделением, затем разгружался в яму и элеватором поднимался на необходимую высоту. В системе пневматического транспортирования трубопровод пропущен сквозь фабричное здание, благодаря чему достигнута простейшая схема транспортирования по прямой линии. Кроме того работа по разгрузке и транспорту полностью механизирована и избегнуто сильное пылеобразование, имевшее место на перегрузочных пунктах.

В целях возможно полной очистки выпускаемого наружу воздуха рабочая струя пропускается через два отделителя-циклона, в первом из которых осаждается уголь, а во втором пыль. Кроме того воздух после насоса проходит





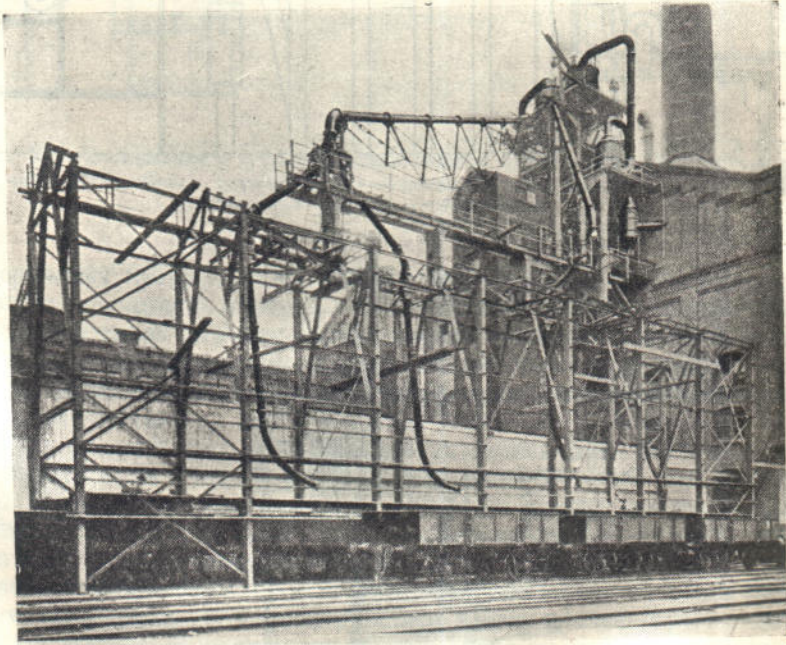
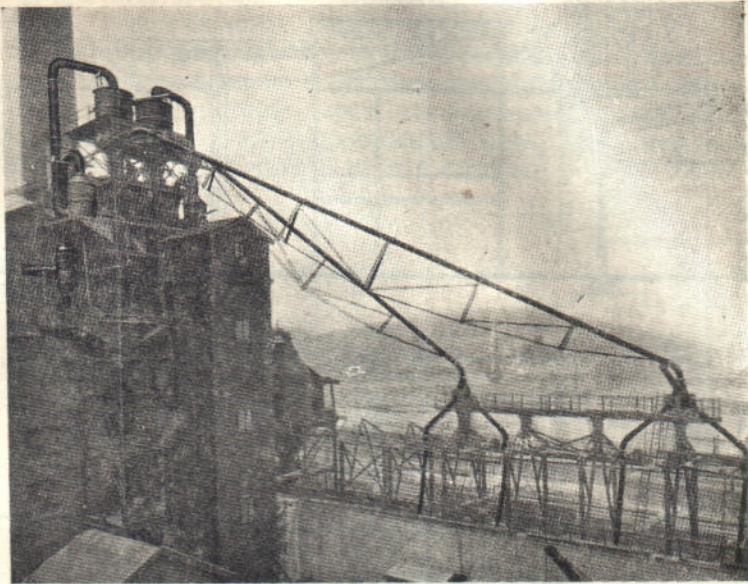
План



Фиг. 534. Всасывающая установка для подачи мелкого угля (Luther):

1, 2—отделитель для угля, 3—отделитель для пыли, 4—фильтр, 5—насосы.



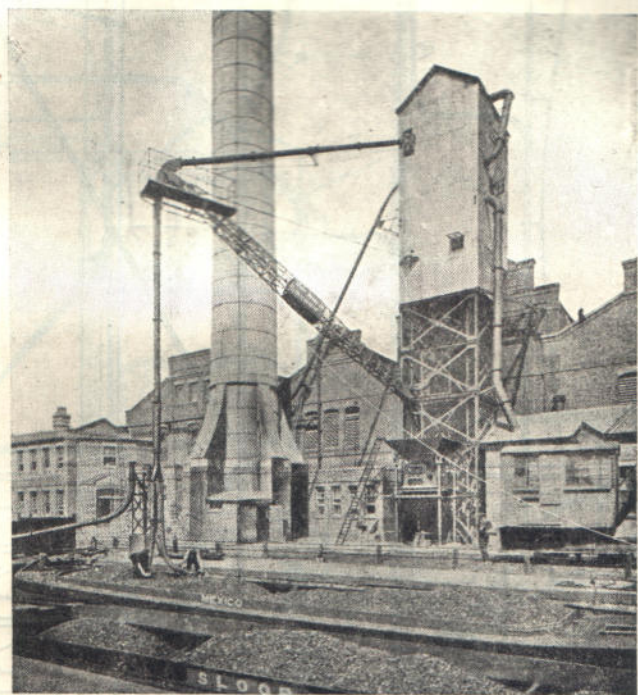


Фиг. 535. Всасывающая установка для разгрузки вагонов производительностью 140 т угля в час (Henry Simon).



добавочную очистку в рукавном фильтре. Производительность установки 15 т в час, длина трубопровода — 40 м.<sup>1</sup>

Схема более крупной установки для разгрузки вагонов, производительностью 60 т в час угля 0—10 мм, видна на фиг. 534. Характерной особенностью ее является взаимное расположение разгрузочных пунктов угля и машинного отделения. Отделители, как видно из схемы, расположены по обе стороны от железнодорожных путей, а машинное отделение по одну сторону, что достигнуто без труда прокладкой соединительного воздухопровода.



Фиг. 536. Всасывающая установка для разгрузки судов производительностью 50 т угля в час (Henry Simon).

Общий вид всасывающей установки для разгрузки вагонов с углем и подъема угля на бункер котельной дан на фиг. 535. Установка выполнена сдвоенной, с четырьмя пунктами забирая материала. Производительность ее — 140 т в час, высота подъема — 35 м, длина стрел — 26 и 32 м. На схеме вверху видно, как просто, с помощью шпренгельных растяжек, произведено укрепление трубопровода в пролете.

По такой же примерно схеме выполняются установки для разгрузки судов с углем, как видно на фиг. 536.

Иногда всасывающие транспортирующие уголь установки служат для подачи угля не только из вагонов или судов, но и со склада, как показано на схеме фиг. 537.

Иногда одна и та же установка, путем переключения трубопроводов, служит для подачи угля из вагонов в бункеры, из вагонов на склад и со склада в бункеры, причем никакие механические устройства для распределения угля по разным бункерам не применяются (фиг. 538). Действие ее, на основании предыдущего, ясно из схемы.

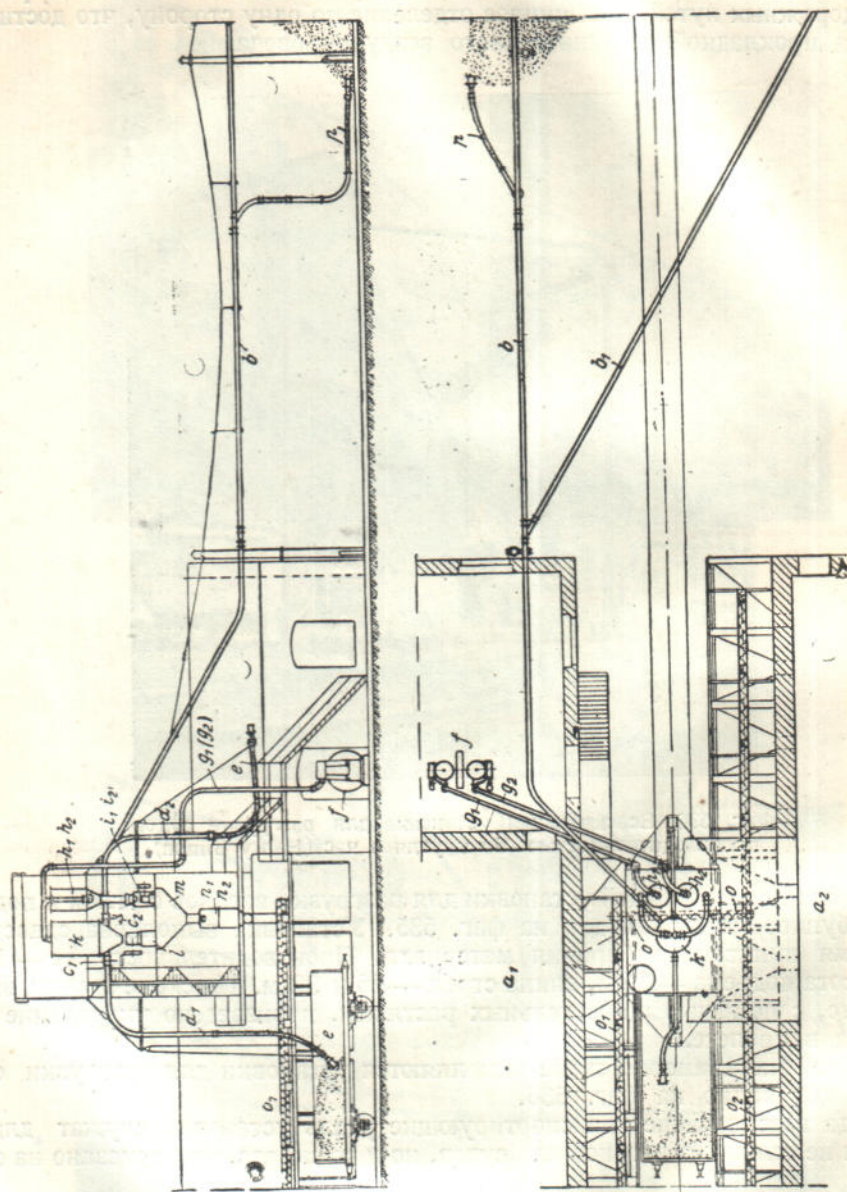
Пневматический транспорт применяется также для подачи в котельную угля непосредственно из углейных. На фиг. 539 изображена такая установка нагнетательного типа.

<sup>1</sup> Опыты с пневматическим транспортом торфа см. инж. З. А. Берлин, Пневматический транспорт кускового торфа. «Торфяное дело», 1934, № 8, стр. 17.



Интересный пример применения пневмотранспорта для углеподачи дает котельная установка Цюрихской высшей технической школы (фиг. 540).<sup>1</sup>

Подача угля, в силу особых местных условий, происходит в железнодорожных вагонах по путям, уложенным в тоннеле *a*, расположенном примерно на 50 м ниже уровня почвы.



Фиг. 537. Всасывающая установка для разгрузки вагонов и подачи угля со склада:  
*a*, *g* — трубопроводы, *c* — вентиля, *e* — сопла, *j* — насос, *h* — пилосос, *l*, *l* — шиномы, *k* — отделитель,  
*m* — уравнительный резервуар, *n* — весы, *o* — шнеки, *p* — гибкий рукав.

Для работы установки используется время (4 часа в сутки), когда движение поездов по тоннелю не производится.

Подъем угля на поверхность в промежуточный бункер *e* выполняется всасывающей пневмоустановкой; высота подъема — 40 м. Из промежуточного бункера уголь транспортируется к бункерам с помощью ковшевого конвейера *g*.

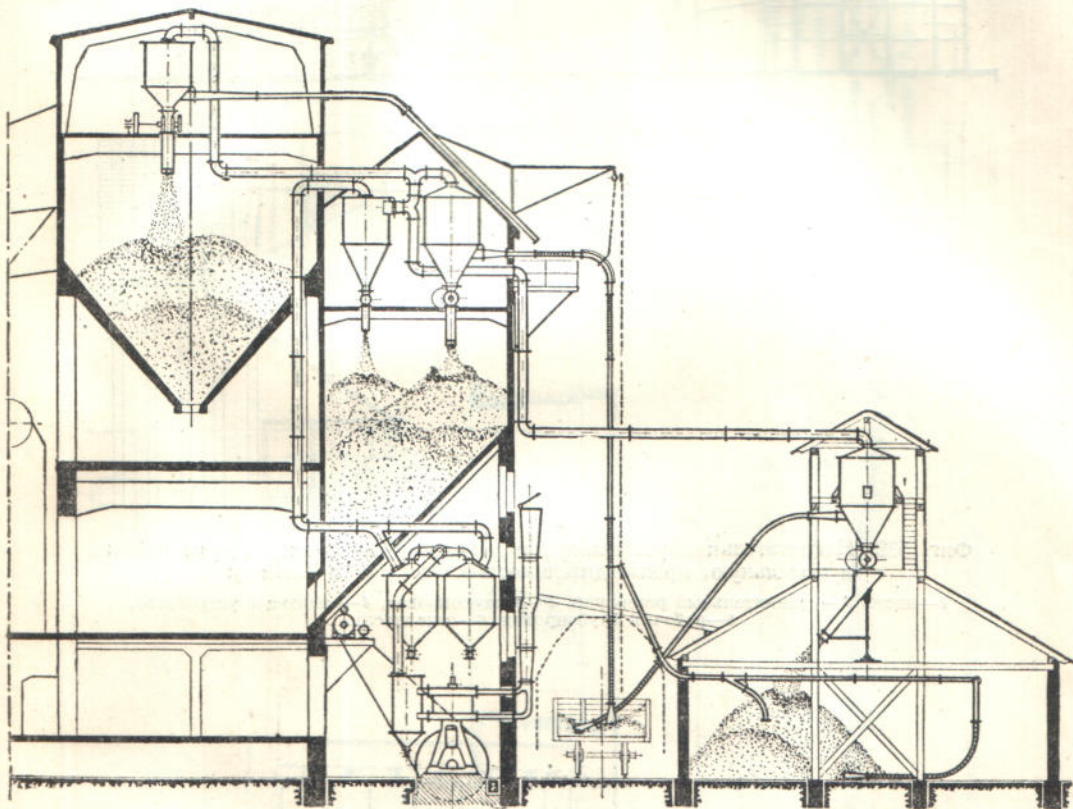
Всасывающий рукав подвешен на каретке. В часы сквозного движения по тоннелю он отводится вглубь соединительной штольни. Эта же установка может служить для отсасывания по сети *p*<sub>1</sub> угольной пыли из служебных помещений.

<sup>1</sup> Z. V. d. I, 1934, № 13, стр. 422.



Отделение пыли производится в фильтре *в*, соединяемом в это время с насосом (соединительный трубопровод показан пунктирной линией).

В котельных, работающих на пылевидном топливе, пневматический транспорт применяется для подачи угольной пыли от мельницы к топке, от пылеподготовительного отделения к топкам или бункерам, от сосудов, в которых прибывает угольная пыль, к бункерам, если топливо доставляется на силовую станцию в готовом или полуготовом виде.



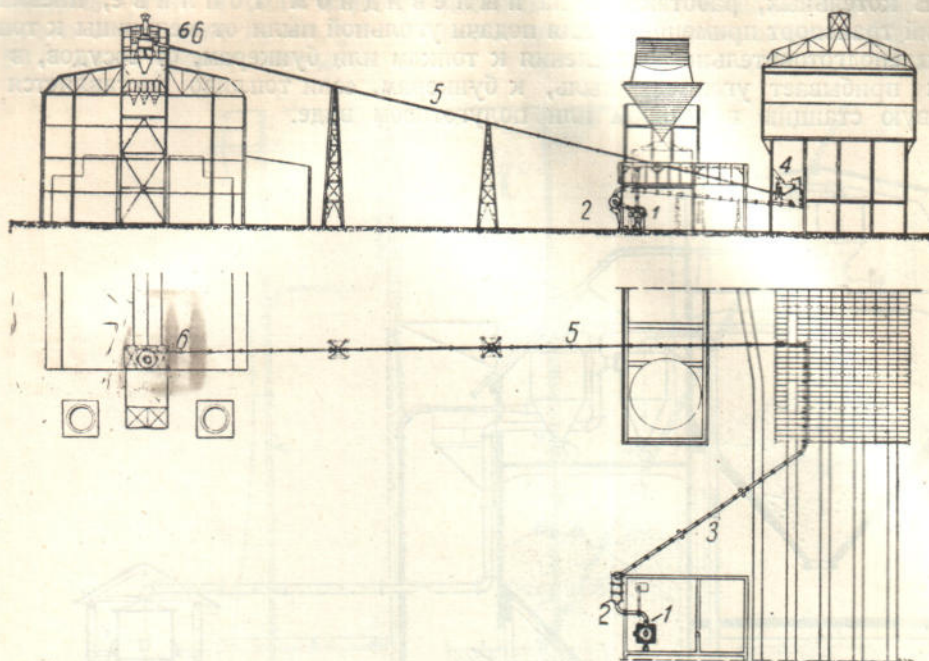
Фиг. 538. Угледодача в бункеры, на склад и со склада производительностью 30 т<sub>в</sub> час.

Схемы подачи топлива от индивидуальной дробилки (мельницы) к топке котла с жаровыми трубами или водотрубного видны на фиг. 541. Уголь через воронку поступает на вращающуюся ударную (молотковую) дробилку, на которой насажены крылья вентилятора. Полость дробилки отделяется от полости вентилятора перфорированной стенкой, сквозь которую и производится отсасывание тонкой пыли. Воздух, служащий для вдувания пыли, поддерживает вместе с тем и режим горения в топке, поэтому количество его регулируется с помощью шиберов, управляемых вручную.

Схема движения угля в угледодаче более крупной котельной установки, тоже с индивидуальными механическими агрегатами, показана на фиг. 542.<sup>1</sup> Из бункеров, в которые уголь загружен шнеками *9*, он с помощью тарельчатого

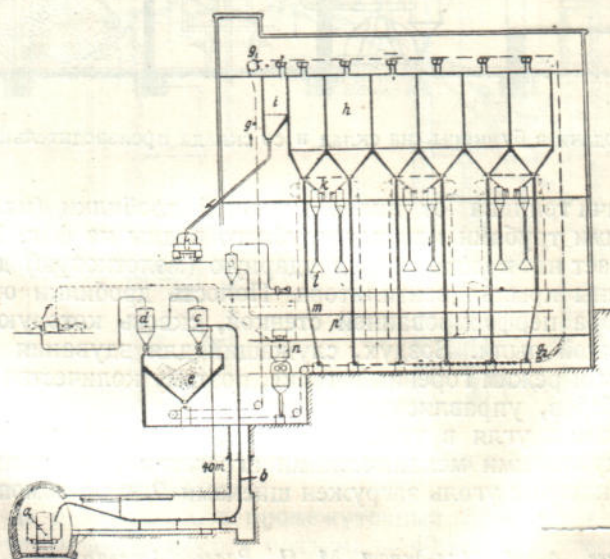
<sup>1</sup> А. И. Лебедев, А. М. Шильдроп, М. П. Рачев, «Исследования [работы] мельничного агрегата Лещина Кузнецкой ТЭЦ», «Известия Всесоюз. теплотехн. инст-та», 1934, № 8 (96). Там же — А. А. Сибель, «Исследования мельницы Бабкан», И. М. Тоцкин, «Исследование работы мельницы Гурболат», С. Б. Зарайский, «Два года эксплуатации котельной Кузнецкой ТЭЦ», «Тепло и сила», 1934, № 6. См. также Н. Л. Ойман, А. И. Лебедев и К. А. Виноградов, «Сушка во взвешенном состоянии, размол и пылевидное сжигание подмосковного угля по замкнутому циклу», «Известия Всесоюз. теплотехн. инст-та», 1934, №1 (89), стр 13.





Фиг. 539. Нагнетательная установка для подачи угля-орешка от углемойки в котельную, производительностью 50 т в час (Luther):

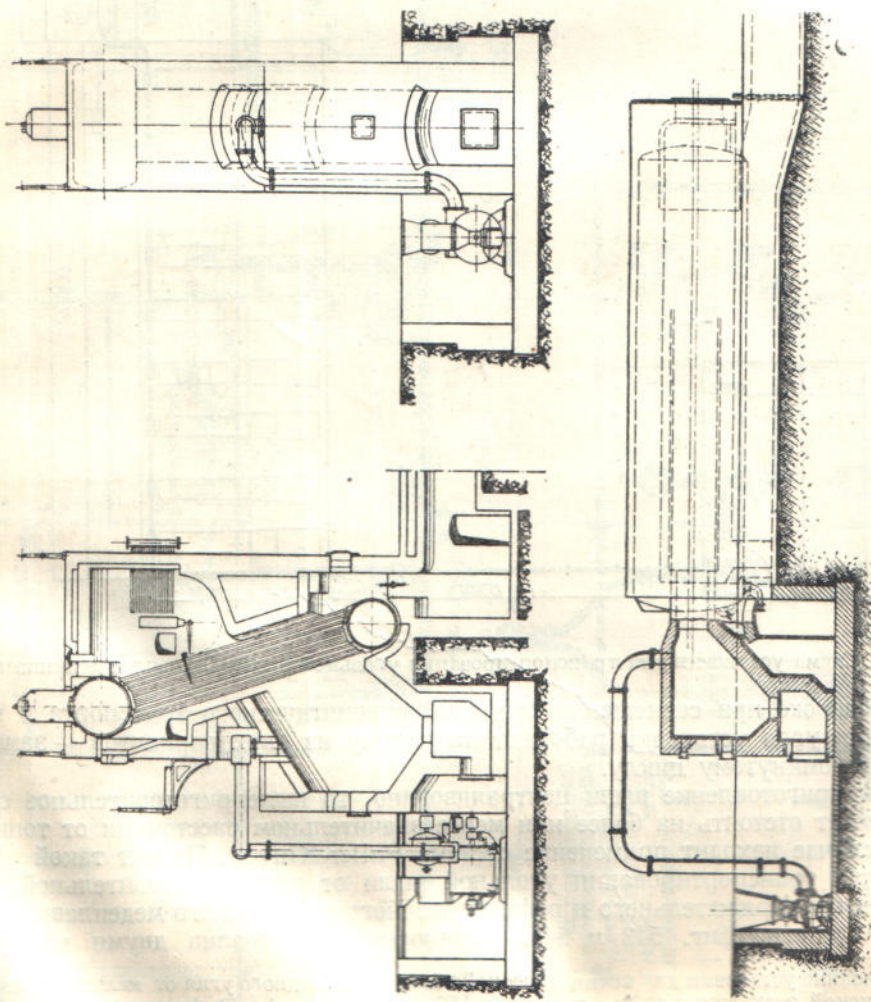
1—насос, 2—уровнительный резервуар, 3—воздухопровод, 4—питающее устройство, 5—рабочий трубопровод, 6—отделитель.



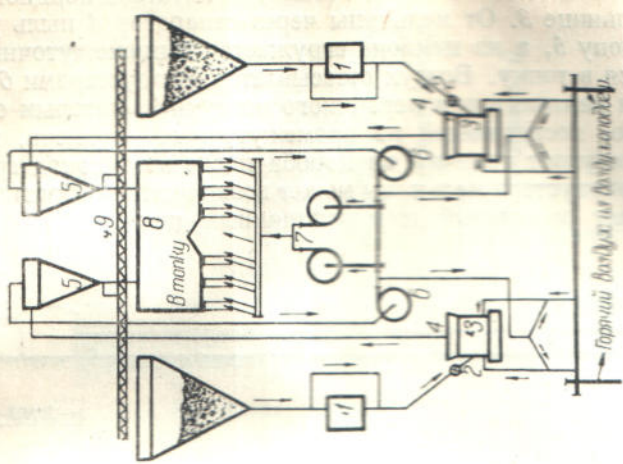
Фиг. 540. Пневматическая подача угля в промежуточный бункер котельной:

а—сопло, б—трубопровод, с—отделитель, д—фильтр, е—бункер, о—фильтр для пыли, р—трубопроводы системы пылеотсасывания.





Фиг. 541. Подача пылевидного угля в топку котлов (Orange).



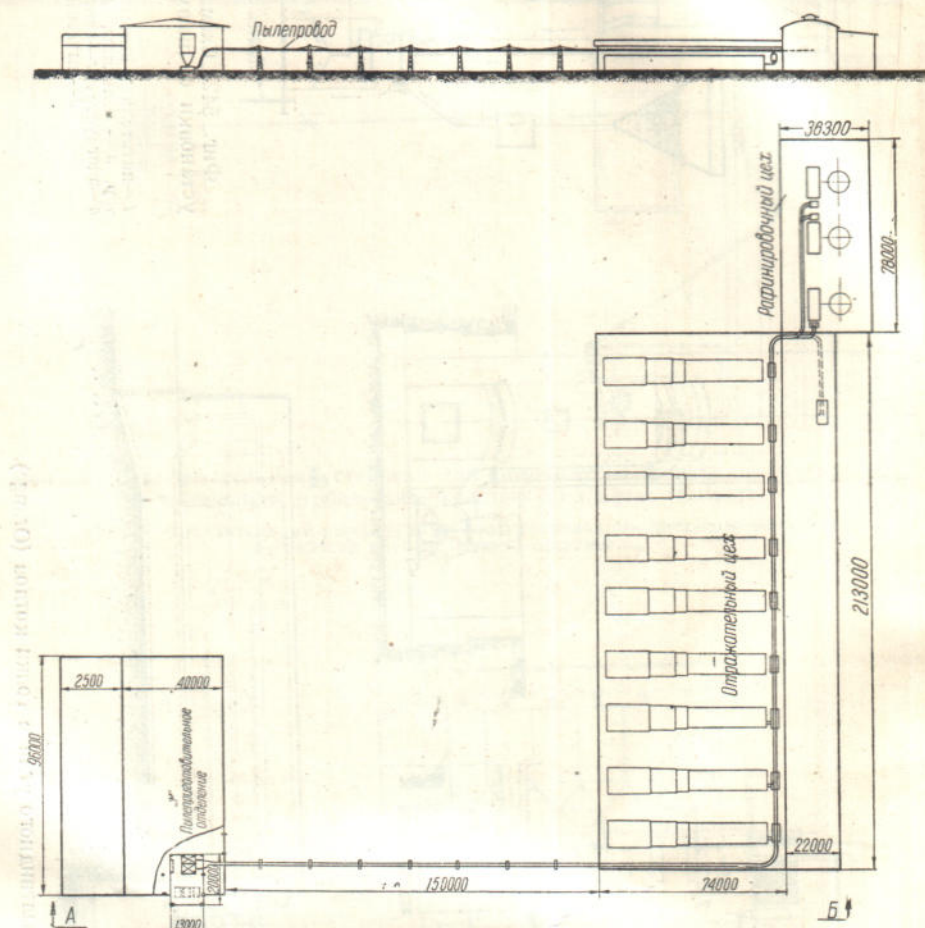
Фиг. 542. Схема углеразмалывающей установки с пневматическим транспортом пыли.

1—питатель с автоматическими весами, 2—дозатор, 3—мольница, 4—сепаратор, 5—циклон, 6—вспариватель, 7—вентилятор первичного воздуха, 8—пылевой буфер, 9—шлюз.



питателя 1, снабженного автоматическими весами, и питателя-порционера (дозатора) подается к мельнице 3. От мельницы через сепаратор 4 пыль уносится струей воздуха к циклону 5, а из циклона сгружается в промежуточный пылевой бункер 8 и подается в топку. Воздух отсасывается эксгаустерами 6 и после эксгаустера забирается вентилятором первичного воздуха 7, которым он нагнетается вместе с пылью, поступающей из промежуточного бункера, в топку. В мельницу воздух поступает горячим из короба после воздухоподогревателя. Часть воздуха после эксгаустера мельницы может возвращаться обратно в мельницу, то-есть совершает замкнутый циркуляционный цикл.

Вид по А-Б



Фиг. 543. Схема установки для транспортирования угольной пыли (Стальпроммеханизация).

Вообще же при совмещении операций пневматического транспорта и подсушивания угля установки работают по одному из двух вариантов — замкнутому и разомкнутому циклу.

Если приготовление пыли централизовано, то пылеприготовительное отделение может отстоять на более или менее значительном расстоянии от топки.<sup>1</sup> В этом случае находит применение система Fuller-Kinyon. Проект такой установки, для транспортирования угольной пыли от пылеприготовительной фабрики к печам отражательного и рафинировочного цехов одного медеплавильного завода,<sup>2</sup> дан на фиг. 543 и 544. Установка оборудована двумя насосами-

<sup>1</sup> Описание установки для пневматической подачи пылевидного угля от мельниц к топкам на Парижской электростанции мощностью 150 000 квт см. «La Technique Moderne», 1934, № 3, стр. 77, La nouvelle usine génératrice de la société d'électricité de Paris (Saint Denis II).

<sup>2</sup> Проект «Стальпроммеханизации».





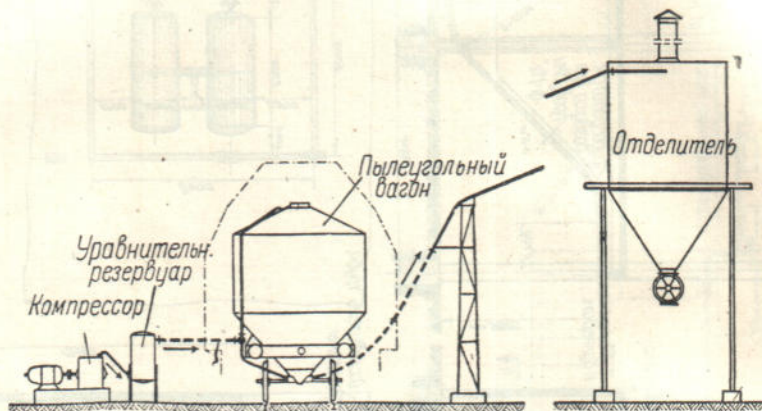


Fuller-Kinyon производительностью по 75 т в час. Каждый насос приводится от электромотора мощностью 250 л. с., вращающегося со скоростью 1000 об/мин.

Диаметр шнека насоса 250 мм. В установке предусмотрено два, идущих параллельно, пылепровода, из которых один является резервным. Также является резервным и один из насосов.

Наиболее удаленная точка подачи пыли отстоит от начальной на расстоянии 510 м, а ближайшая — на расстоянии 240 м. Диаметр пылепровода в свету 200 мм.

Перед каждой печью как отражательного, так и рафинировочного цехов имеется по одному железному бункеру емкостью на 5—6-часовую потребность в пылеугле данной печи, которые поочередно наполняются пылью из пылепровода. Под бункерами помещаются шнековые питатели типа «Лопулко», которые и подают пыль в печи.



Фиг. 545. Разгрузка вагона с сосудами для перевозки угольной пыли с помощью сжатого воздуха (Hartmann).

Одновременно наполняется пылью какой-либо один бункер, а остальные бункеры при этом отключены от пылепровода. По наполнении бункера происходит автоматическое отключение его от пылепровода и включение следующего и т. д.

Для подачи сжатого воздуха служат три компрессора производительностью 18—20 м<sup>3</sup>/мин, из которых один является резервным. Каждый компрессор приводится в действие индивидуальным мотором, мощностью в 175 л. с., при посредстве ременной передачи.

Если угольная пыль доставляется к месту потребления по железной дороге в готовом виде, то, во избежание потерь при перевозке, она заключается в герметически закрытые сосуды. Специальный вагон этого типа и способ его разгрузки видны на фиг. 545. Сосуд с помощью двух гибких рукавов присоединяется к пневматической нагнетательной системе. Сжатый воздух, проходя струей под воронкой сосуда, гонит пыль к бункеру. Верхняя полость сосуда для противодействия тоже приключается к трубопроводу сжатого воздуха.

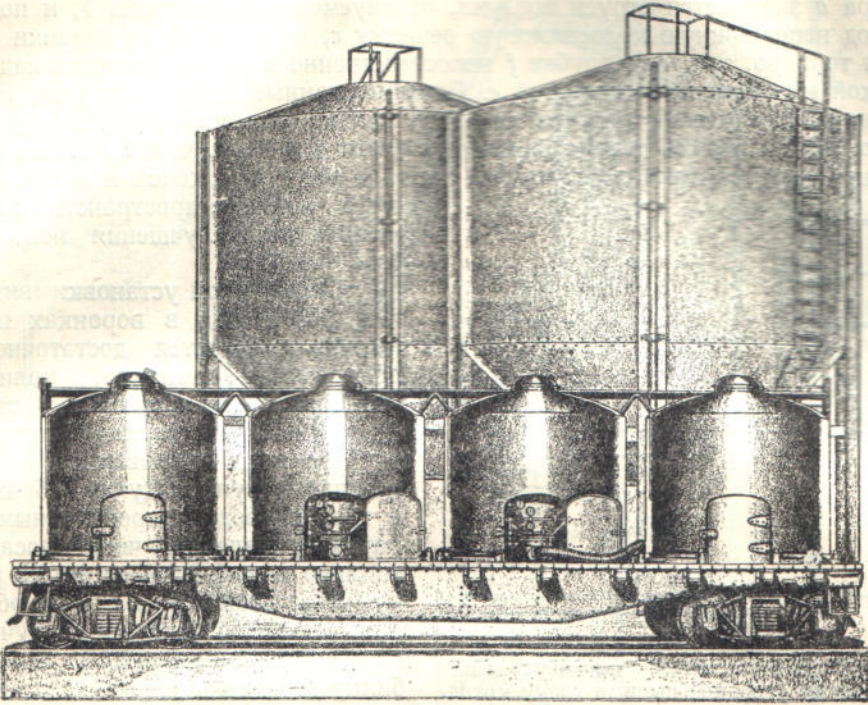
Разгрузка 15-тонного вагона отнимает 1—1½ часа, при расходе мощности от 30 до 50 л. с.

К достоинствам этой системы следует отнести автоматическую и беспыльную перегрузку, к недостаткам, помимо высокого расхода энергии, — возможные застопоривания сбившегося в плотную массу во время перевозки материала.

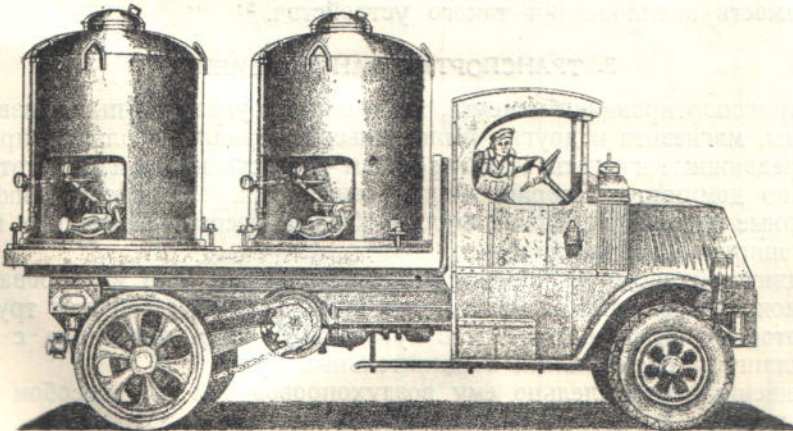
Большегрузный вагон-платформа с установленными на нем сосудами для перевозки угольной пыли и автогрузовик видны на фиг. 546 и 547. Сосуды, которые могут устанавливаться и укрепляться подобно контейнерам, разгружаются сжатым воздухом и снабжены снизу насадкой системы Kennedy (см. фиг. 514). Помимо угля в таких сосудах перевозят цемент, муку и прочие пылевидные материалы.

В заключение об углеподаче рассмотрим, как в двух случаях с помощью простейших пневмотранспортных установок решаются вопросы о повышении экономичности работ котла.





Фиг. 546. Вагон с сосудами для перевозки и пневматической разгрузки пылевидных материалов (Kennedy).

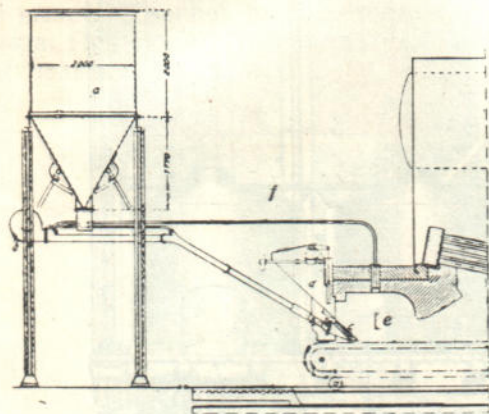


Фиг. 547. Автогрузовик с сосудами для перевозки и пневматической разгрузки пылевидных материалов (Kennedy).



В первом случае (фиг. 548) под котлом сжигается низкосортное топливо. Для облегчения его загорания и интенсификации процесса горения в топочное пространство вдувается некоторое количество угольной пыли. Пыль из-под бункера *a* забирается струей воздуха, образуемой вентилятором *b*, и подается как под неподвижную колосниковую решетку *c*, по которой из воронки *d* ссыпается топливо, так и по трубке *f* непосредственно в камеру горения над механической колосниковой решеткой *e*. Опытные данные показывают, что использование низкосортного топлива при этом значительно улучшается.<sup>1</sup>

Во втором случае пневмотранспорт служит для того, чтобы извлечь из-под колосниковой решетки несгоревшие частицы угля или кокса и вновь подать их в топочное пространство с целью, опять-таки, улучшения использования топлива.



Фиг. 548. Вентиляторная пневмоустановка для вдувания угольной пыли в топку котла.

Схема такой установки видна на фиг. 549. Когда в воронках под решеткой собирается достаточно провалившегося топлива, количество которого составляет обычно от 1 до 3% от общего расхода, то краны *4* трубопровода открываются и всасывающая струя воздуха, образуемая в трубопроводе *2* пароструйным аппаратом *7*, увлекает через насадки *5* топливо и выбрасывает его на решетку через диффузор *3*. Для облегчения транспортирования и улучшения горения топлива проходит через дробилку *6*. Однако установка дробилок, хотя и улучшает эксплуатацию всей

системы, но удорожает оборудование и кроме того требует большей высоты зольных коридоров.

Схема примерно аналогичной установки, но без дробилок, видна на фиг. 550. Ввиду невозможности пропускать более крупные куски через струйный аппарат *7* установлен отделитель *5* со шлюзом *8*, передающим их в спускной трубопроводе *9*.

Как показала практика, экономия на расходе топлива значительно превышает стоимость эксплуатации такого устройства.<sup>2</sup>

### 3. ТРАНСПОРТИРОВАНИЕ ЦЕМЕНТА

Для транспортирования цемента, так же как и угольной пыли, известковой муки, соды, магнезита и других пылевидных материалов, большое применение имеют передвижные агрегаты. Из двух систем — всасывающей и нагнетательной — значительно доминирует вторая. Из передвижных агрегатов применяются либо двухкамерные устройства,<sup>3</sup> либо Фуллер-Киньон насосы. Последние получили особенно широкое распространение.

Передвижной насос «Стальпроммеханизации» (фиг. 551) монтирован на тележке и может передвигаться над проложенным в траншее рабочим трубопроводом, к которому он приключается в пункте забирая материала с помощью гибкой шланги и специальных соединительных муфт.

Подвешенный параллельно ему воздухопровод тем же способом приключается к насосу.

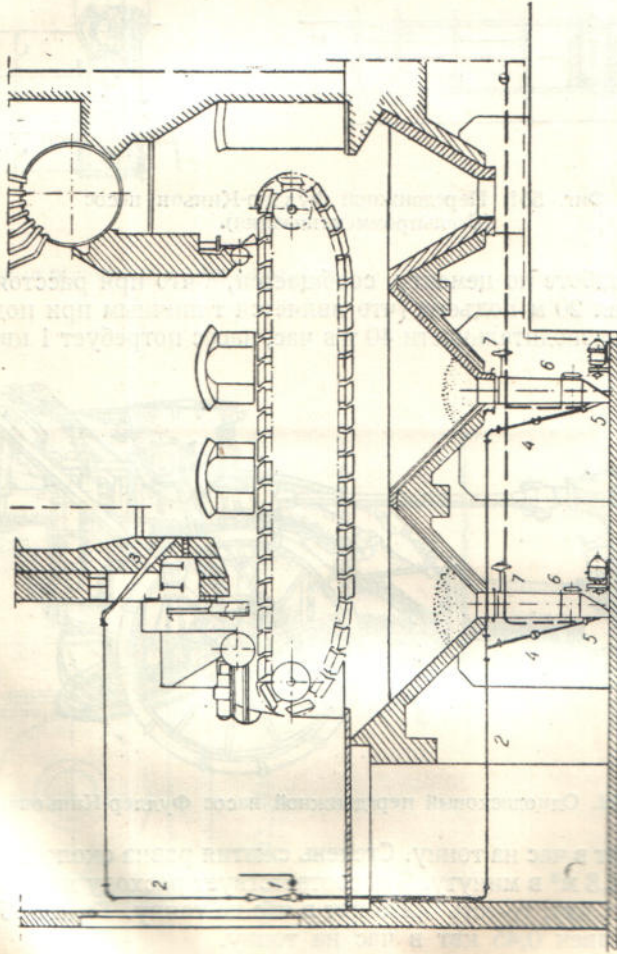
Такие насосы «Стальпроммеханизацией» запроектированы двух размеров — на 12—15 и 30—35 т в час (таблица 81).

<sup>1</sup> Подробнее см. «Glückauf», 1934, № 41, стр. 971.

<sup>2</sup> Подробнее см. «Fördertechnik und Frachtverkehr», 1932, № 17/18, стр. 209.

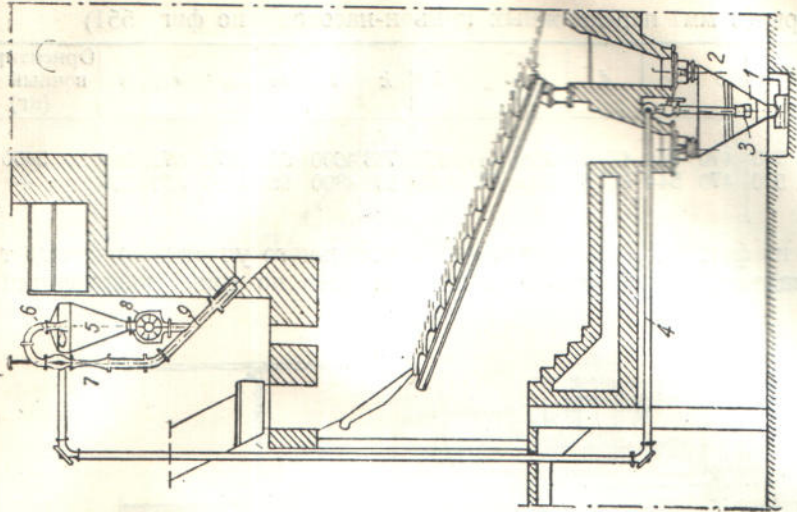
<sup>3</sup> Описание двухкамерного транспортного агрегата фирмы L. F. Schmidt см. «Fördertechnik und Frachtverkehr», 1932, № 1/2, стр. 19 и «Fördertechnische Rundschau», 1932, № 8, стр. 6.





Фиг. 549. Пароструйная пневмоустановка для подачи в топку провалившегося сквозь колосниковую решетку угля:

1—пароструйный винтотор, 2—трубопровод, 3—впускной диффузор, 4—кран, 5—солло, 6—дробилка, 7—заслонка.



Фиг. 550. Пароструйная пневмоустановка для подачи в топку провалившегося сквозь колосниковую решетку угля.

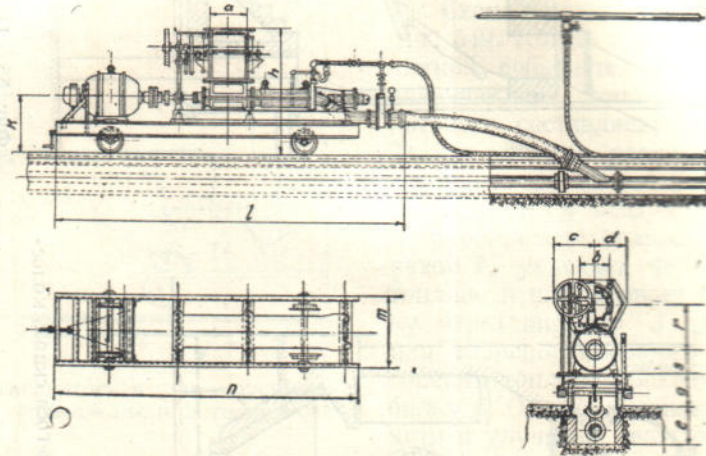
1—воронка, 2—спускные лотки, 3—солло, 4—трубопровод, 5—циклон, 6—колесо, 7—пароструйный винтотор, 8—шлюз, 9—место смещения пыли и кусков топлива.



Размеры (в мм) передвижных киньон-насосов (по фиг. 551)

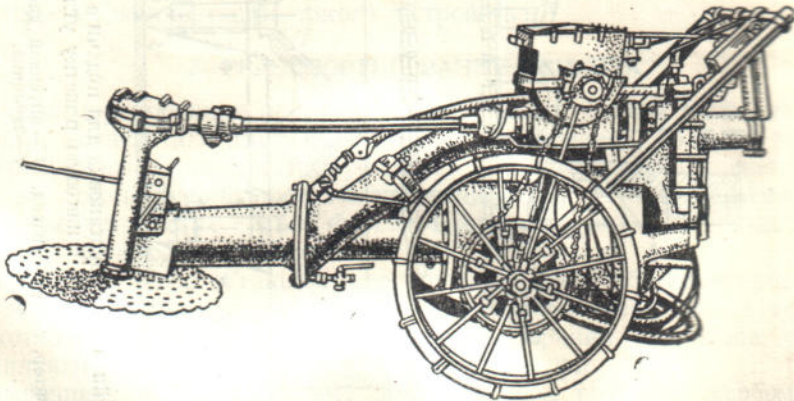
| Тип насоса | Производительность (т/час) | a   | b   | c   | d     | e   | g   | h    | k   | l    | m   | n    | r   | s   | Ориентировочный вес (кг) |
|------------|----------------------------|-----|-----|-----|-------|-----|-----|------|-----|------|-----|------|-----|-----|--------------------------|
| 6"         | 12—15                      | 500 | 470 | 544 | 422,5 | 480 | 450 | 1655 | 763 | 4600 | 930 | 3970 | 572 | 313 | 3400                     |
| 7"         | 30—35                      | 500 | 470 | 544 | 422,5 | 500 | 450 | 2010 | 860 | 4800 | 955 | 4000 | 580 | 330 | —                        |

Как видно из фиг. 551, ось шнека и ось начального участка рабочего трубопровода совпадают, следовательно насос выполнен по типу конструкции F (фиг. 511).



Фиг. 551. Передвижной Фуллер-Киньон насос (Стальпроммеханизация).

Об этом типе, при работе по цементу, сообщается,<sup>1</sup> что при расстоянии перемещения 50 м, включая 20 м подъема (что является типичным при подаче цемента в бункеры), при производительности 40 т в час, насос потребует 1 квт. Это состав-

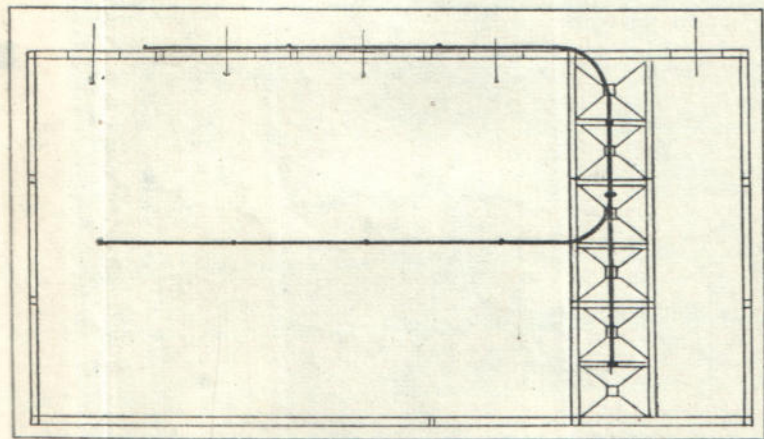
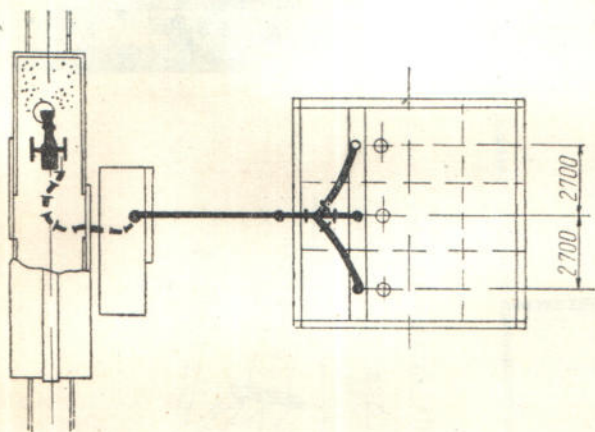
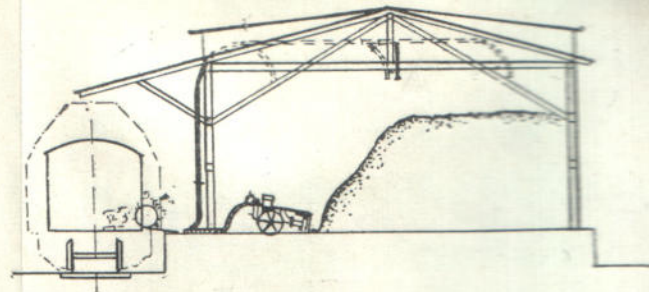
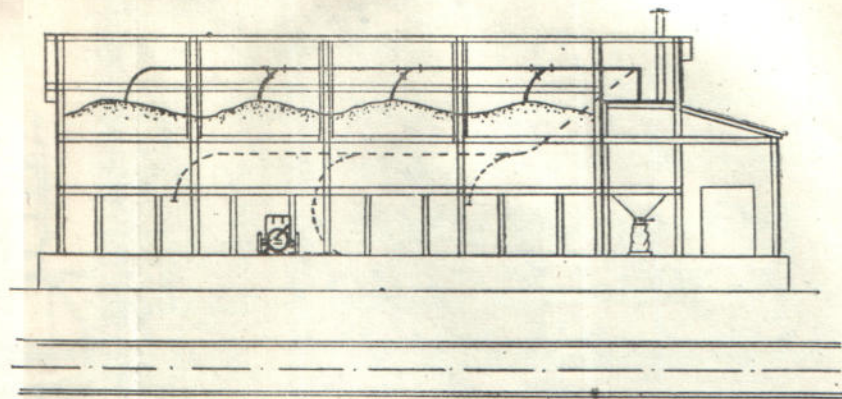
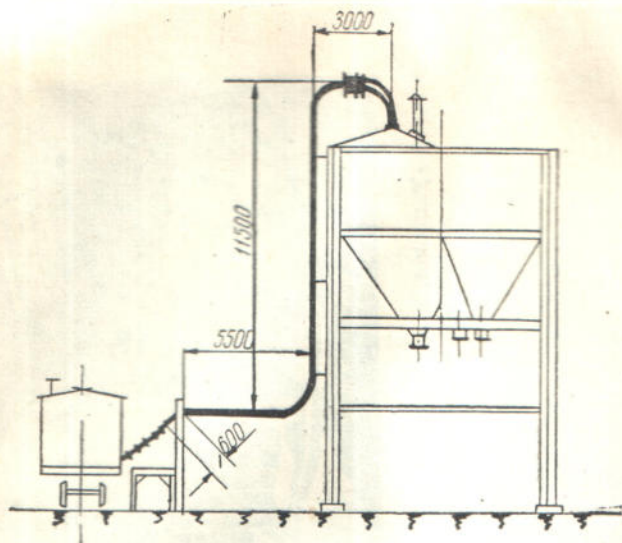


Фиг. 552. Однодисковый передвижной насос Фуллер-Киньона.

ляет только 0,175 квт в час на тонну. Степень сжатия равна около 2 ман. ат и расход воздуха около 4,8 м<sup>3</sup> в минуту. Это соответствует расходу мощности компрессорной установки 11 квт, то-есть 0,275 квт в час на тонну. Таким образом общий расход мощности равен 0,45 квт в час на тонну.

<sup>1</sup> «Fördertechnik u. Frachtverkehr», 1933, № 7, 8, стр. 95.

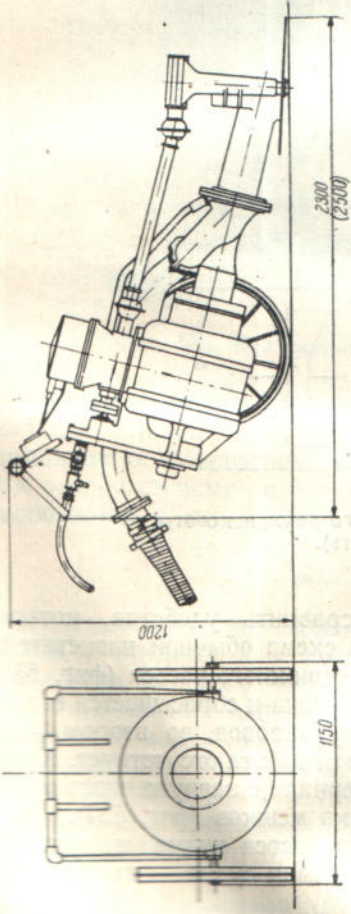




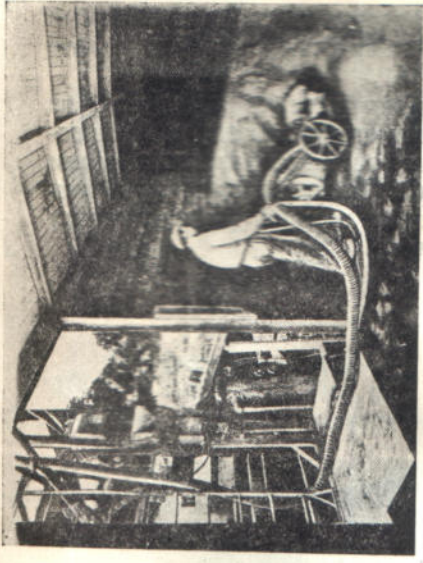
Фиг. 556. Схема разгрузки вагона передвижным киньон-насосом.

Фиг. 557. Схема подачи материала из вагона на склад и со склада в бункер с помощью передвижного киньон-насоса.

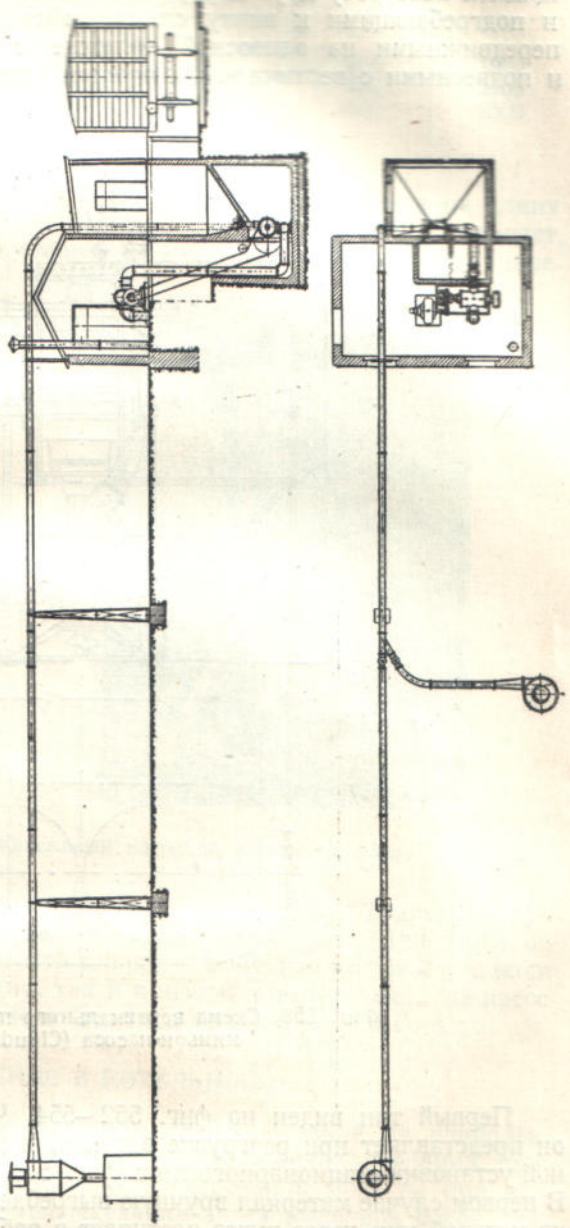




Фиг. 553. Однобарабанный передвижной Фуллер-Киньона (Claudius Peters).



Фиг. 554. Разгрузка вагона с помощью передвижного киньон-насоса.

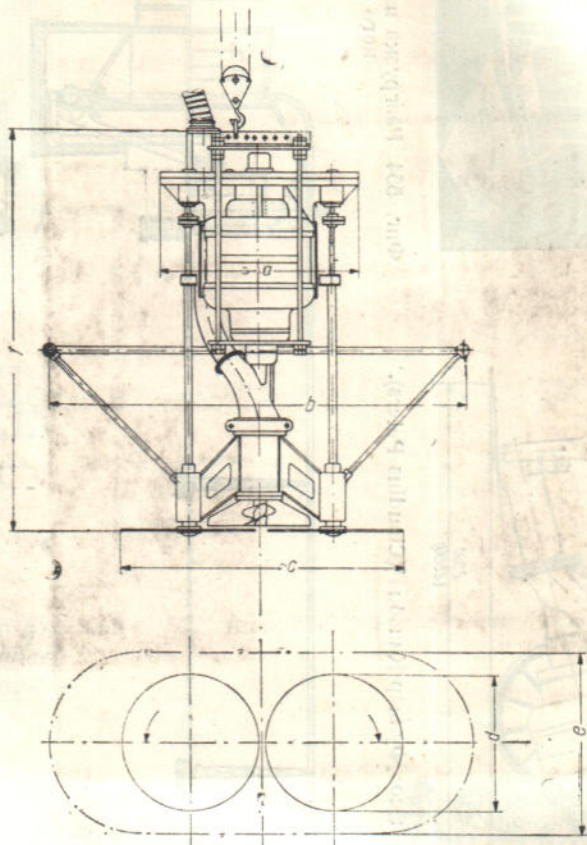


Фиг. 555. Стационарная наметательная установка для разгрузки вагонов.



Предыдущий тип насоса применяется в тех случаях, когда перемещаемый материал хранится в бункерах, через люки которых он сыпается в приемную воронку насоса.

Если забирание материала должно производиться из кучи на складе, из вагона, из трюма судна, то киньон-насосы снабжаются одним или двумя вращающимися навстречу друг другу, снабженными щелями дисками, разрыхляющими и подгребающими к винту слежавшийся материал. Такие агрегаты строятся передвижными на одноосной тележке с наклонным шнеком (однодисковые) и подвесными с вертикальным шнеком (двухдисковые).



Фиг. 558. Схема вертикального подвешного двухдискового киньон-насоса (Claudius Peters).

Первый тип виден на фиг. 552–554. Чтобы сравнить удобства, которые он представляет при разгрузке вагонов, приведена схема обычной нагнетательной установки стационарного типа (фиг. 555)<sup>1</sup> и передвижного насоса (фиг. 556). В первом случае материал вручную выгребается из вагона и сбрасывается в яму, из которой уже через шлюз поступает в рабочий трубопровод, во втором — материал забирается из вагона непосредственно и ручная работа отсутствует. Кроме того тот же насос может служить и для подачи материала с загруженного им же склада в бункер, из которого производится засыпка мешков (фиг. 557).

Схема вертикального подвешного двухдискового насоса видна на фиг. 558 (см. таблицу 82), а внешний вид и положение над трюмом судна — на фиг. 559. Схема разгрузки представлена на фиг. 560.

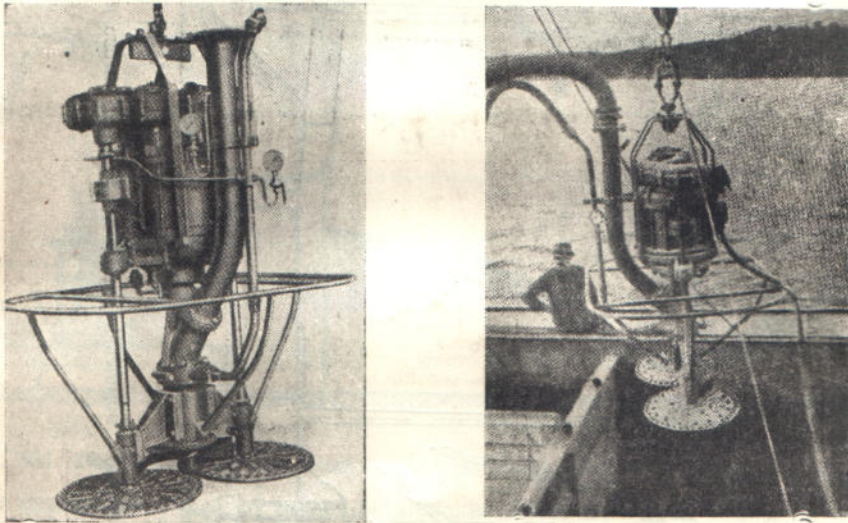
<sup>1</sup> Ср. с фиг. 403.



Размеры (в мм) вертикального подвесного киньон-насоса  
(по фиг. 558)

| Размер | a    | b    | c    | d   | e    | i    |
|--------|------|------|------|-----|------|------|
| 4      | 850  | 1300 | 1200 | 600 | 800  | 1900 |
| 6      | 1170 | 1650 | 1500 | 740 | 950  | 2250 |
| 8      | 1500 | 1900 | 1600 | 900 | 1100 | 2500 |

По фирменным данным, такой насос, при перемещении цемента на длину 100 м и подъеме на 20 м, при часовой производительности 40 т в час, потребляет, включая и расход мощности на компрессоре, 1,7 квт в час на тонну, при давле-



Фиг. 559. Вертикальный двухдисковый насос на разгрузке судна.

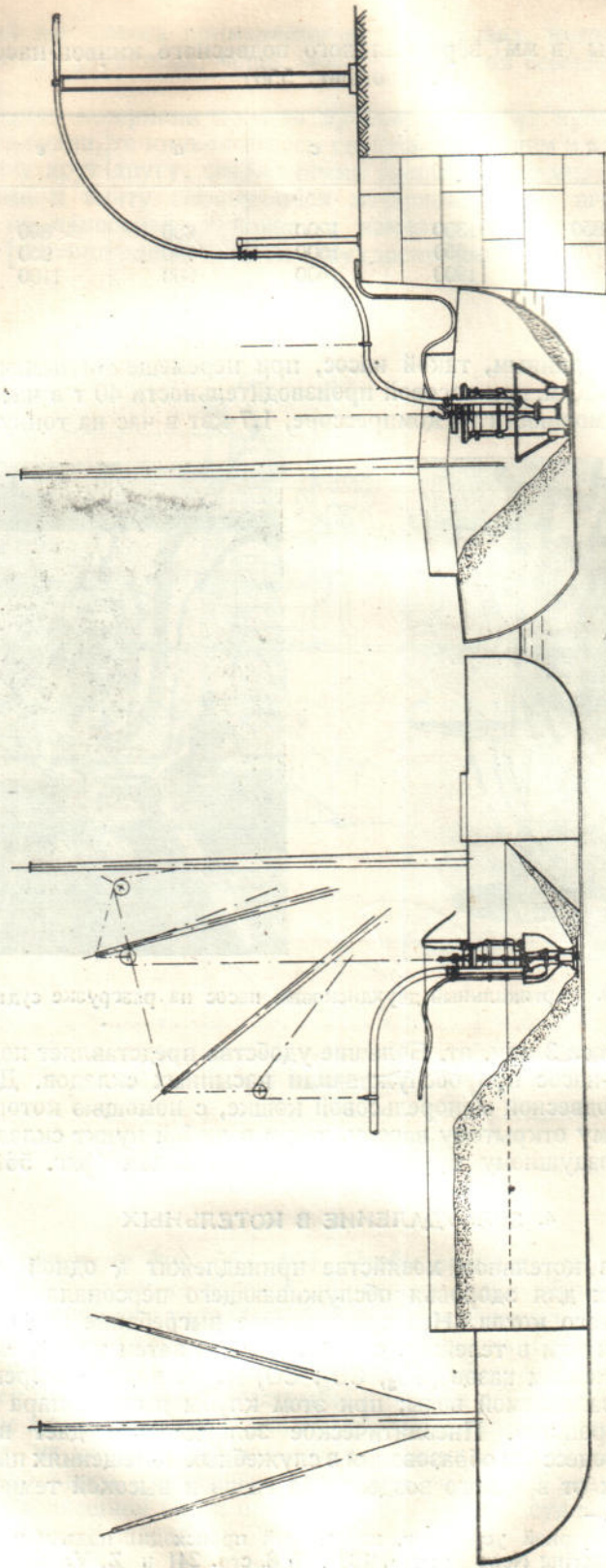
нии воздуха из насоса 3 ман. ат. Большие удобства представляет подвесной вертикальный киньон-насос при обслуживании насыпных складов. Для этого он подвешивается к подвесной монорельсовой кошке, с помощью которой подается как к разгружаемому открытому вагону, так и в любой пункт склада, где насос приключается к воздушному и рабочему трубопроводам (фиг. 561).<sup>1</sup>

#### 4. ЗОЛОУДАЛЕНИЕ В КОТЕЛЬНЫХ

Золоудаление в котельном хозяйстве принадлежит к одной из наиболее тяжелых и вредных для здоровья обслуживающего персонала операций при эксплуатации парового котла. Непосредственное выгребание золы на пол котельного помещения или в тележку, с последующим затем тушением водой, сопровождается выделением газов ( $SO_2$ ,  $CO_2$ , CO) из не вполне сгоревших остатков и испарением заливаемой воды; при этом клубы пыли и пара загрязняют окружающее пространство. Пневматическое золоудаление дает возможность осуществить весь процесс без образования в служебных помещениях паров и пыли, освобождая рабочих от вредного воздействия газов и высокой температуры.

<sup>1</sup> Описание стационарной установки, на которой происходит подъем цемента на высоту 92 м, см. «Engineering News Record», 1933, № 8, стр. 241 и Z. V. d. I., 1933, №12, стр. 327;



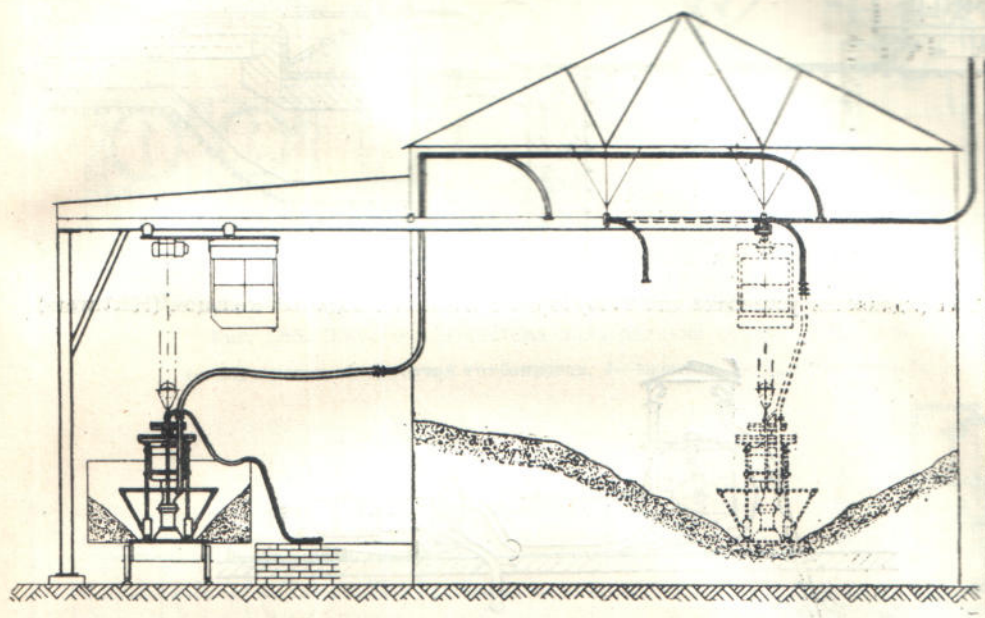


Фиг. 560. Схема разгрузки судна с помощью подвешного вертикального кильно-насоса.



Из двух систем пневмоустановок — всасывающей и нагнетательной — для золоуборки применяется почти исключительно первая, как представляющая большие удобства при забираии материала из многих мест и перемещении в одно. Кроме того при нагнетательной системе возникает опасность проникновения газов в помещения через возможные неплотности трубопровода.

В зависимости от местных условий и количества удаляемых золы и шлаков применяются передвижные и стационарные установки. Первые оказывают особые услуги при реконструкции золоуборки в старых котельных, а также при требующейся небольшой производительности.



Фиг. 561. Подвесной вертикальный киньон-насос на разгрузке вагонов и склада.

Две схемы золоуборки с помощью передвижных агрегатов видны на фиг. 562 и 563. Первая установка оборудована насосом с водяным кольцом (фиг. 433), вторая — турбонасосом. В первом случае отработанный воздух выпускается наружу и во избежание загрязнения атмосферы, а также быстрого загрязнения воды в насосе, которую на передвижной установке затруднительно часто возобновлять, пропускается перед насосом через водяной фильтр. Во втором случае эти меры не требуются, так как воздух после насоса вгоняется в боры дымовой трубы.

Отделитель в первой установке выполнен в виде закрытого кузова опрокидной (коппелевской) вагонетки, благодаря чему разгрузка его на свалке золы весьма облегчена.

Всасывающая насадка, присоединяемая к отделителю с помощью гибкой шланги со вставными участками, выполняется в виде длинного зонда, которым удобно проникать во все места осаждения золы.

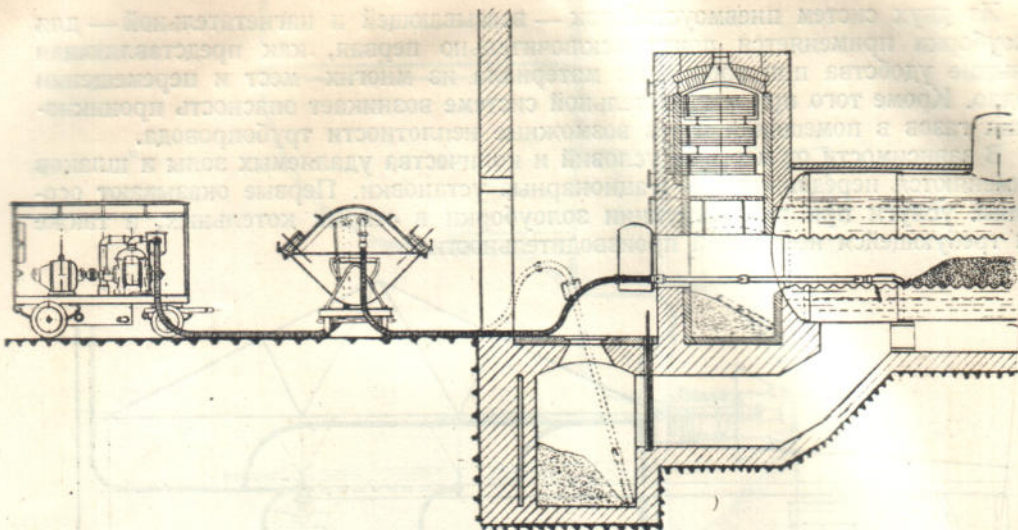
Стационарные установки малого масштаба, особенно для уборки летучей золы, снабжаются вместо насоса пароструйными аппаратами-эжекторами (ср. с фиг. 549 и 550), благодаря чему устройство в высшей степени упрощается.

Две схемы таких установок видны на фиг. 564 и 565.

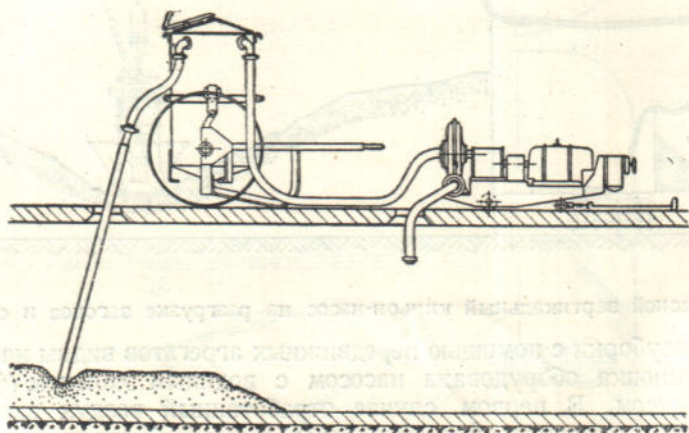
В первом случае всасывающая насадка управляется вручную. Выполненная в виде зонда, она присоединяется с помощью гибкой шланги к рабочему трубопроводу. Эжектор устанавливается после отделителя, непосредственно над его выходным отверстием. Зола перед погрузкой в вагонетки гасится струей воды.

Во втором случае рабочий трубопровод проложен вдоль фронта котлов и имеет отверстия над воронками, в которых собирается зола. Эжектор

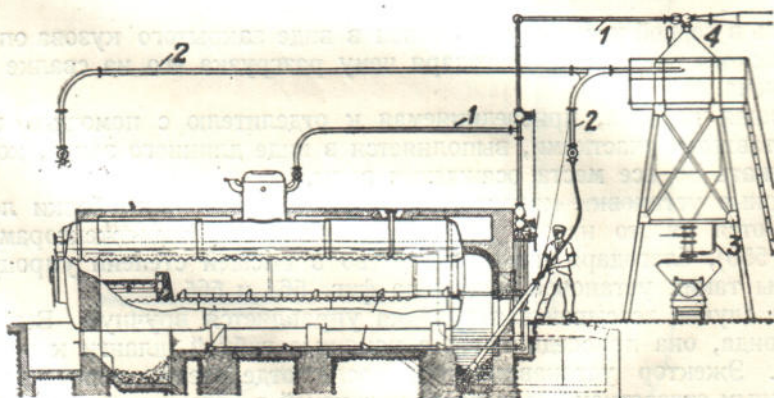




Фиг. 562. Передвижная установка для золоуборки с насосом с водяным кольцом (Hartmann).



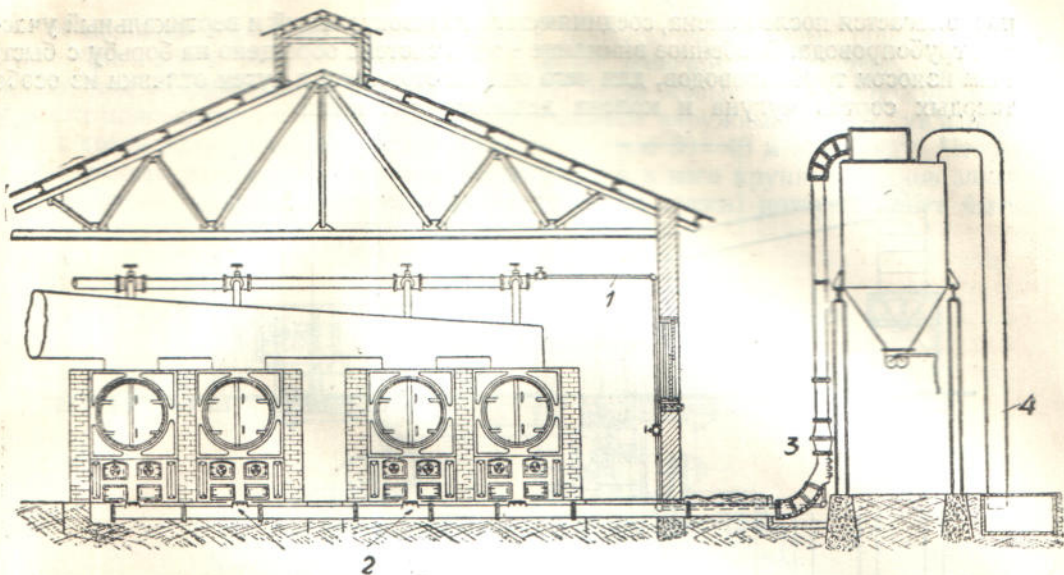
Фиг. 563. Передвижная установка для золоуборки с турбонасосом (Hartmann).



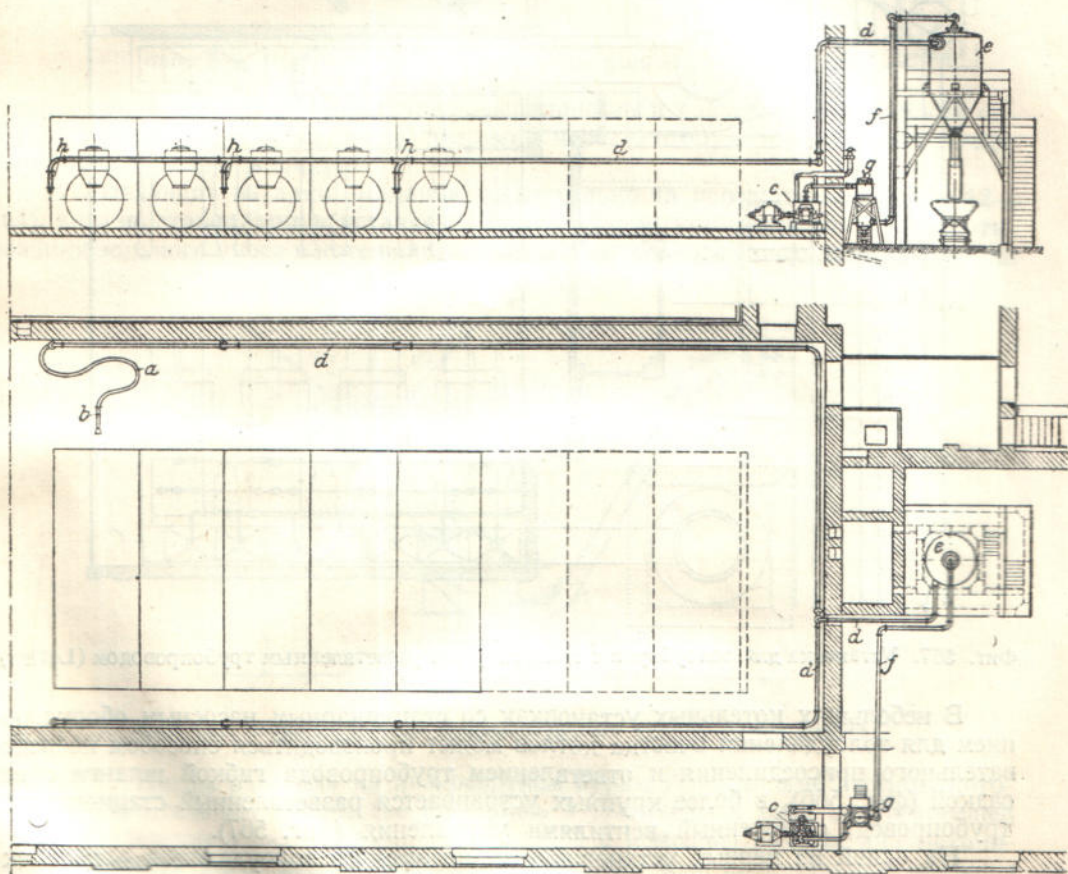
Фиг. 564. Эжекторная система золоудаления (Evaporator):

1—паропровод, 2—рабочий трубопровод, 3—подвод воды для гашения, 4—эжектор.





Фиг. 565. Эжекторная система золоудаления (Parson Mfg. Co):  
 1—паропровод, 2—рабочий трубопровод, 3—эжектор, 4—выхлопная труба

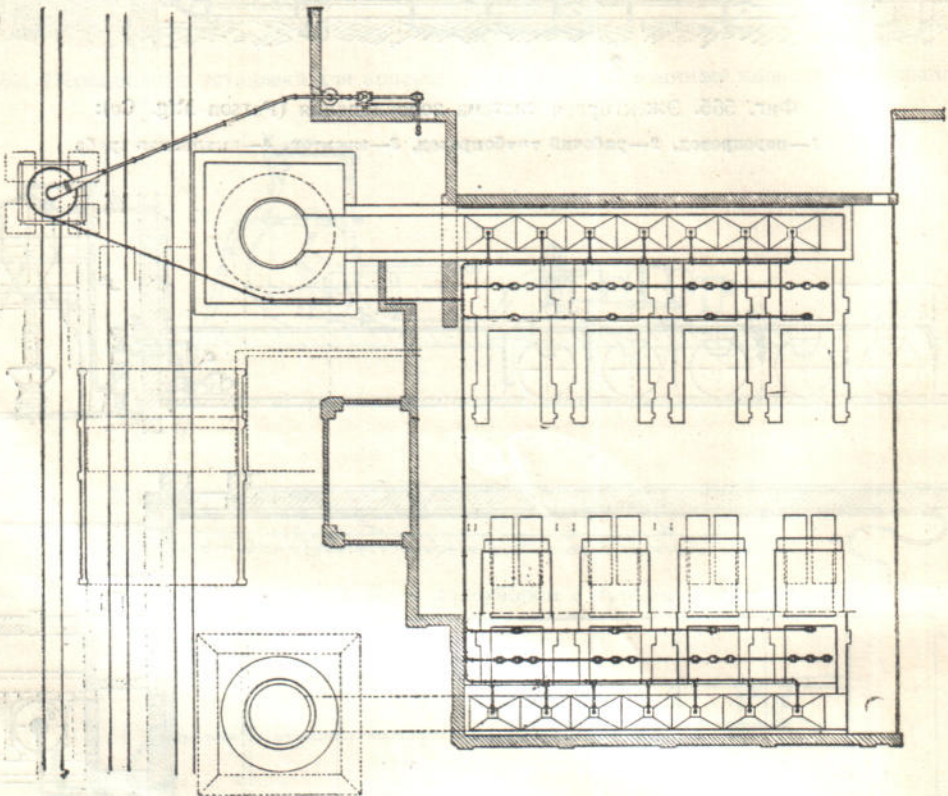
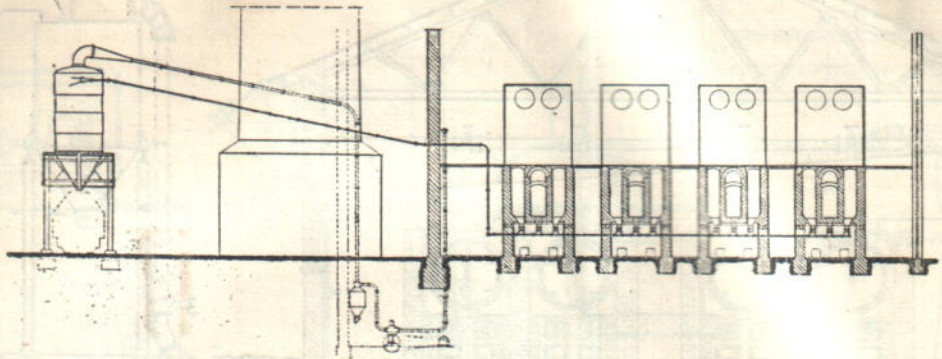


Фиг. 566. Установки для золоуборки с помощью ручной насадки, присоединяемой к трубопроводу:

а—шланга, б—насадка, с—насос, d—рабочий трубопровод, e—отделитель, f—воздухопровод, г—фильтр, h—отвод для присоединения шланги.



располагается после колена, соединяющего горизонтальный и вертикальный участки трубопровода. Особенное внимание в этой системе обращено на борьбу с быстрым износом трубопроводов, для чего они изготовляются путем отливки из особо твердых сортов чугуна и колена делаются сменными.



Фиг. 567. Установка для золоуборки с стационарным разветвленным трубопроводом (Luther).

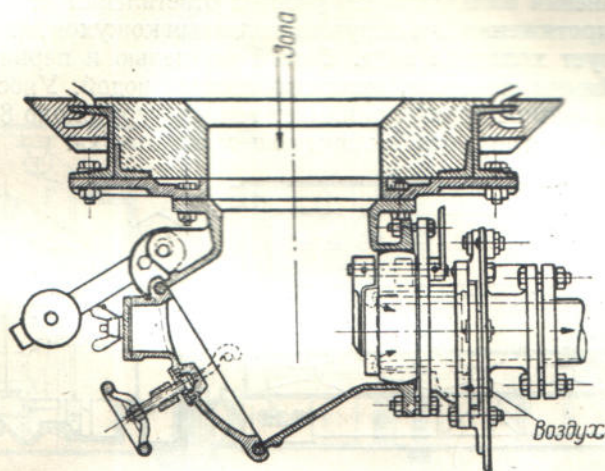
В небольших котельных установках со стационарным насосным оборудованием для золоудаления очистка котлов может производиться способом последовательного присоединения и ответвлением трубопровода гибкой шланги с насадкой (фиг. 566), в более крупных устраивается разветвленный стационарный трубопровод, снабженный вентилями управления (фиг. 567).

На одной из первых установок пневматического золоудаления — на электрической станции, построенной в 1912 г. в Рейнском бурогольном округе и работающей на буром угле, работа выполняется по следующей схеме.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> A. Rey and R. Schulte, Die Aschenbeseitigung in Grosskesselanlagen, 1928; есть русский перевод.



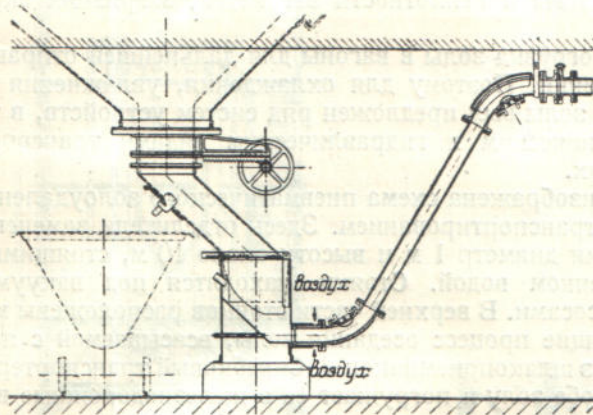
К зольным воронкам паровых котлов присоединены особые шлакоприемники (фиг. 568 и 569), к которым примыкает рабочий трубопровод, находящийся под разрежением в 35—40 мм рт. ст.; через особые щели, расположенные у места присоединения трубопровода, всасывается наружный воздух, увлекающий с собой золу из шлакоприемника со скоростью 30—40 м в секунду. Чтобы предохранить рабочий трубопровод от попадания в него крупных кусков золы, предусмотрена решетка, задерживающая крупные куски, которые могут быть



Фиг. 568. Шлакоприемник с патрубком рабочего трубопровода.

затем разбиты вручную. На случай неисправности в работе пневматической системы шлакоприемник снабжен дверцей, через которую золоудаление может быть осуществлено вручную.

Всасывающие насадки применяются не только на передвижных (фиг. 562—564), но и на стационарных установках. Схема такой установки для транспортирования зольного уноса в котельной одного локомотивного завода изображена на



Фиг. 569. Шлакоприемник и присключающее колено трубопровода.

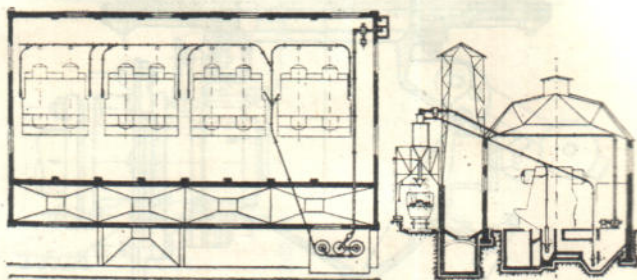
фиг. 570.<sup>1</sup> Котлы работали на низкосортном буром угле, мелкие частицы которого в значительном количестве уносились в дымоходы в виде полусгоревшей золы. Извлечение уноса из зольных карманов с помощью ручных или механических средств было весьма затруднительно, так как подкотельные подвалы были для этого почти не приспособлены. Пневматическое золоудаление дало возможность очистки зольных карманов без приостановки работы котла и без пылеобразования и загрязнения котельной.

<sup>1</sup> «Fördertechnik und Frachtverkehr», 1931, № 14, стр. 220.



Для этого с задней стороны котлов был приложен трубопровод с примыкающими к нему отводами, каждый из которых имеет на конце сопло, которое погружено в зольный карман и высасывает скопляющуюся золу. Для возможно более совершенной очистки выпускаемого в атмосферу воздуха от заключающейся в нем мелкой пыли воздух по пути к насосу пропускается последовательно через два отделителя и мокрый фильтр, а затем влагоотделитель.

Так как температура уноса в зольных карманах достигает 400—600° Ц, то для предохранения близлежащего участка ответвления от чрезмерного перегрева он на протяжении 2 м окружен железным кожухом, по которому непрерывно циркулирует холодная вода. С этой же целью и первичный отделитель выполнен с двойными стенками, охлаждающимися водой. Унос, осаждающийся в отделителе, в короткое время принимает температуру около 80°. Второй отделитель выполнен поэтому без охлаждающегося кожуха.



Фиг. 570. Установка для золоуборки с помощью стационарных всасывающих сопел (план и поперечный разрез).

Чтобы выпуск уноса из отделителей в вагоны производить без пылеобразования, к отделителям присоединены вертикальные трубы, снабженные внизу особыми камерами. Каждая камера имеет отверстие для впуска воды и патрубки, через которые вытекает смесь воды с золою в вагонетку.

Такой способ отвода пыли из отделителя нельзя впрочем признать вполне удовлетворительным, так как вытекающая из патрубков жидкая грязь просачивается сквозь швы и неплотности вагонеток, загрязняя окружающее пространство.

Вообще же погрузка золы в вагоны для дальнейшей отправки представляет не мало затруднений. Поэтому для охлаждения, увлажнения и транспортирования собранной золы был предложен ряд систем устройств, в том числе и комбинации с механическим и гидравлическим видами транспорта. Рассмотрим некоторые из них.

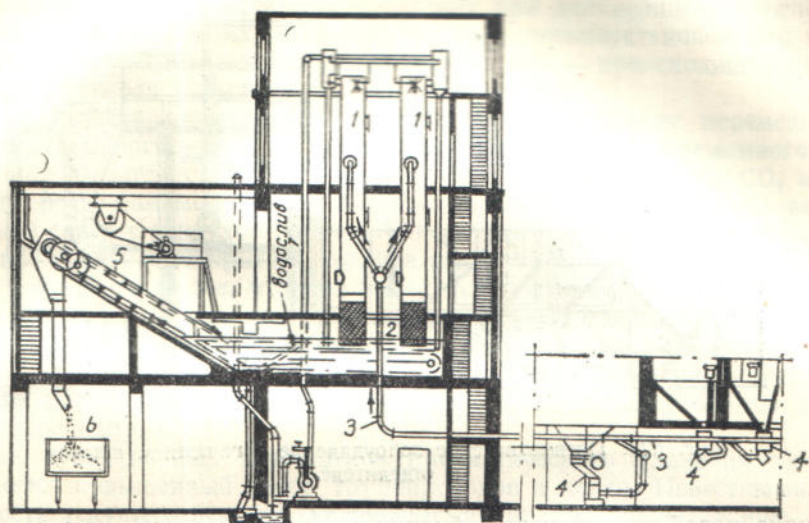
На фиг. 571 изображена схема пневматического золоудаления в комбинации с механическим транспортированием. Здесь отделители заменены особыми стояками 1, имеющими диаметр 1 м и высоту около 10 м, стоящими в бетонном жолобе 2, заполненном водой. Стояки находятся под вакуумом, создаваемом жидкостными насосами. В верхней части стояков расположены мощные pulverизаторы, ускоряющие процесс оседания золы, всасываемой с помощью рабочего трубопровода 3 из шлакоприемников 4. Скребок транспортер 5 выгребает скопившуюся в жолобе золу и погружает ее в железнодорожные вагоны 6. Остальная часть воздушной установки — насосы, воздухопроводы и т. п. — выполнена по обычной схеме.

Основным недостатком описанной установки явилось неполное выгребание скребками золы из жолоба — значительная часть золы в виде мелкого ила вместе с избыточной водой вытекала по водосливу 7, вызывая сильное загрязнение каналов и свалочных резервуаров. Износ транспортера был чрезвычайно велик.

Эти оба обстоятельства заставили искать иного разрешения проблемы, которое было найдено в виде комбинирования пневматического золоудаления с гидравлическим (фиг. 572). Здесь смесь золы и воды из стояков 1 непосредственно подается к насосу 2, который поднимает ее в напорный трубопровод, расположенный на 15 м выше, а оттуда транспортирует к месту свалки золы.



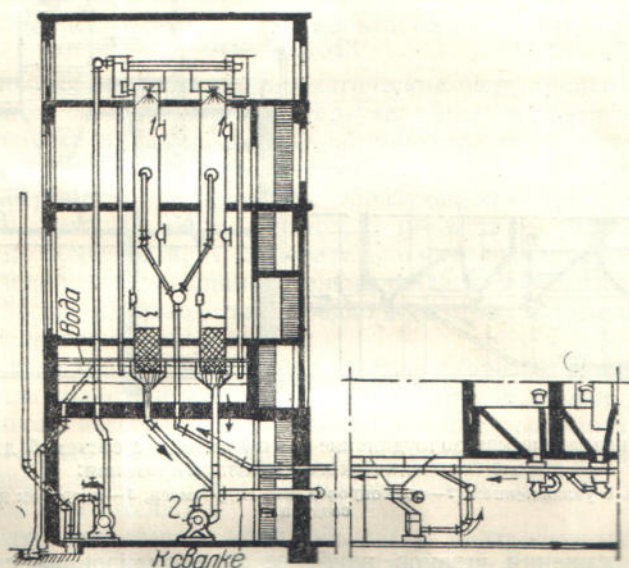
При эксплуатации насосной установки, как вообще в гидравлическом транспортировании, необходимо следить за тем, чтобы смесь золы и воды не могла притти в состояние покоя, так как это сопровождается выделением золы и закупоркой трубопровода. Скорость смеси в трубопроводе для той же цели должна быть не ниже 1,5—2 м в секунду.



Фиг. 571. Пневматическое золоудаление и пневматическое транспортирование золы на отвал:

1—стойки, 2—жолоб, 3—рабочий трубопровод, 4—шлакоприемник, 5—скребный транспортер, 6—вагон.

Описанный комбинированный способ золоудаления обеспечивал беспыльное транспортирование золы, не вызывая загрязнения каналов и сточных резервуаров, однако он оказался дорогим.



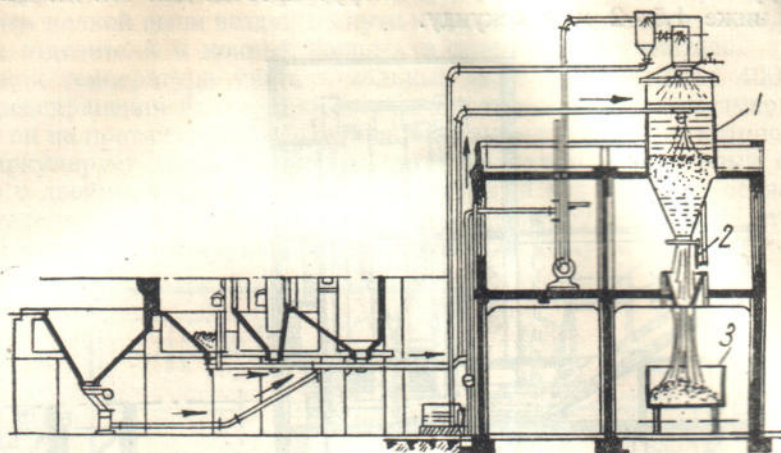
Фиг. 572. Пневматическое золоудаление в комбинации с гидравлическим транспортированием:

1—стойки, 2—насос для гидросмеси.

На фиг. 573 изображена схема пневматического золоудаления, в которой стойки заменены отделителем 1. Тушение золы производится непосредственно

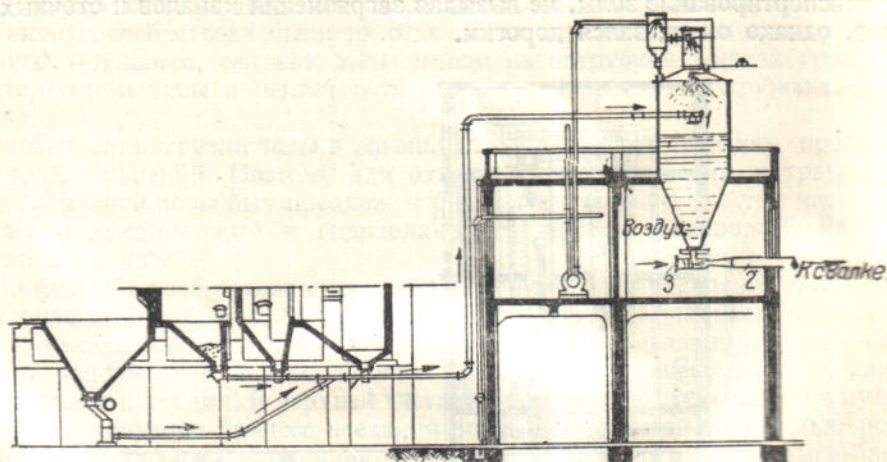


в отделителе с помощью водяных пульверизаторов. Отвод смеси золы с водой из отделителя производится эпизодически через клапан 2, открываемый по мере заполнения и пропускающий смесь в стоящие под ним вагонетки 3.



Фиг. 573. Пневматическое золоудаление с увлажнением шлаков в отделителе.

Однако подобная установка, будучи дешевле рассмотренных выше, оказалась, как и установка на фиг. 570, не вполне надежной в эксплуатации вследствие трудности правильного соразмерения пропорции воды и золы. Смесь получалась или очень жидкой — и тогда большая часть ее вытекала из коробок вагонеток через щели и швы, или очень сухой — тогда опораживание происходило с большим образованием пыли.



Фиг. 574. Пневматическое золоудаление в комбинации с системой дальнейшего пневмо-гидравлического транспортирования:

1—отделитель с увлажнением, 2—трубопровод для гидросмеси, 3—патрубок для сжатого воздуха.

По способу гашения шлаков наиболее зарекомендовала себя установка, работающая по схеме на фиг. 574, не обладающая некоторыми недостатками предыдущих систем.<sup>1</sup> Зола тушится в отделителе 1 при большом избытке воды. Зольная смесь непрерывно отводится по присоединенному к нижней части отделителя трубопроводу 2, ведущему к месту свалки золы. Перемещение смеси

<sup>1</sup> Rühl und Schulte, Die Aschenbeseitigung in Grosskesselanlagen.



по трубопроводу 2 достигается с помощью сжатого воздуха, подводимого к патрубку 3. В остальном описываемая схема золоудаления не отличается от схемы на фиг. 573.<sup>1</sup>

Вместо сжатого воздуха можно производить транспортирование смеси по трубопроводу 2 и с помощью напорной воды.

Кроме указанных трудностей обеспыливания при дальнейшем транспортировании шлаков и гашения их, при эксплуатации пневмоустановок для золоборки встречаются и другие неполадки. Одна из них — происходящие иногда в рабочем трубопроводе взрывы.

Так как при пневматическом золоудалении по трубопроводу перемещается раскаленная смесь прогоревшей золы, несгоревшего угля и разреженного воздуха, то налицо имеются условия, благоприятные для образования  $\text{CO}_2$  и  $\text{CO}$ .

Окись углерода, помимо своей ядовитости, обладает свойством образовывать в определенной смеси с воздухом гремучий газ, что не исключено и в данном случае, вследствие возможного притока воздуха извне через неплотности трубопровода и отделителя, тем более, что они находятся под значительным вакуумом.

Для предотвращения опасных последствий взрыва отделители снабжаются предохранительными клапанами, которые при большом давлении открываются и дают свободный выход взорвавшимся газам наружу. Клапаны должны быть расположены так, чтобы взорвавшиеся горячие газы не причинили ожогов обслуживающему персоналу.

Одним из существенных недостатков пневматического удаления твердых шлаков является повышенный износ трубопроводов и колен. Известны случаи, когда стоимость текущего ремонта установки составляла значительную часть всех эксплуатационных расходов.

Весьма неблагоприятно на режиме работы пневмоустановок отражаются также изменения в свойствах и крупнокусковости шлаков, происходящие в известных пределах при перемене сорта топлива или даже изменениях в режиме горения в топке.

Однако принципиальные достоинства пневматического способа золоборки столь велики, что они в большинстве случаев искупают встречающиеся эксплуатационные трудности.

## 5. ТРАНСПОРТИРОВАНИЕ ОПИЛОК И СТРУЖЕК В ДЕРЕВООБДЕЛОЧНЫХ МАСТЕРСКИХ

В деревообделочных мастерских пневматические вентиляционные установки служат для забирания опилок и стружек от деревообделочных машин и транспортирования их к одному пункту, где они обычно сжигаются в топках котлов, причем иногда предварительно брикетируются.

Значение непрерывного отсасывания образующихся при работе станков опилок, стружек и древесной пыли — не только в очистке и обеспыливании воздуха и вентиляции помещения, а следовательно улучшении условий труда, но и в улучшении условий работы машин, уменьшении пожарной опасности и в удобстве собирания отходов производства, нередко в десятках и даже сотнях разных пунктов, для использования их.

Ввиду небольшого веса перемещаемых частиц скорость движения воздуха принимается относительно пониженной и диаметр трубопроводов увеличенным. В качестве воздушного насоса устанавливаются вентиляторы, через которые пропускается смесь, так что по одну сторону от вентилятора система работает как всасывающая (разветвленная часть трубопровода), а по другую — как нагнетательная (участок к отделителю).

Собирание материала выполняется обычно в центробежных отделителях большого объема, причем дальнейшая очистка воздуха производится редко. Общая схема такой установки представлена на фиг. 575.<sup>2</sup>

Трубопроводы возрастающего сечения, по мере присоединения к ним новых групп агрегатов, располагаются либо под уровнем пола, либо над ним.

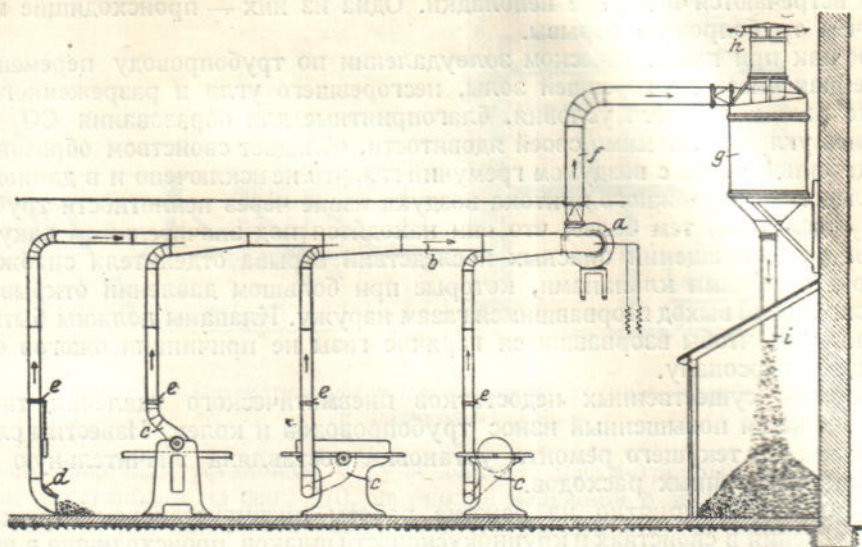
<sup>1</sup> Установки для пневматического удаления шламовых жидкостей — см. ниже.

<sup>2</sup> См. также фиг. 405.



В первом случае они прокладываются в закрытых траншеях, во втором — подвешиваются к перекрытию помещения мастерской (фиг. 576 и 577). Достоинство первого способа состоит в том, что трубопроводы не загромождают и не портят вид помещения, что имеет значение в случае сильно разветвленной сети.

План трубопроводов на деревообделочной фабрике, имеющих около 175 ответвлений, показан на фиг. 578.<sup>1</sup> Трубопроводы уложены в виде четырех продольных магистралей, каждая из которых работает от своего эксгаустера.



Фиг. 575. Схема установки для отсасывания стружек и опилок (М. А. Н.):

*a*—эксгаустер, *b*—главный трубопровод, *c*—намера всасывания, *d*—отверстие для уборки сора, *e*—шибер, *f*—нагнетательный трубопровод, *g*—отделитель, *h*—выпуск воздуха, *i*—выпуск материала.

После эксгаустеров они соединяются одним нагнетательным трубопроводом, установленным на столбах или подвешенным во дворе фабрики и ведущим к отделителям, расположенным над крышей котельного помещения (фиг. 579). Способ подвески на большом пролете нагнетательного трубопровода виден на фиг. 580. Данные о расходе воздуха и мощности установки по фигуре 578 приведены в таблице 83.

Таблица 83

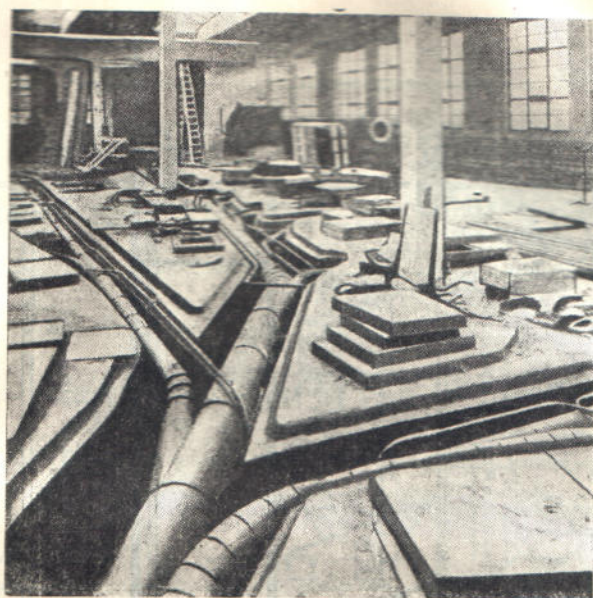
Характеристика установки по фиг. 578

| № установки | Расход воздуха (м <sup>3</sup> /сек) | Статическое давление (мм вод. ст.) | Расход мощности (квт) | Количество мест обслуживания | Наибольший диаметр трубопров. (мм) |
|-------------|--------------------------------------|------------------------------------|-----------------------|------------------------------|------------------------------------|
| I           | 11,0                                 | 100                                | 19                    | 54                           | 160                                |
| II          | 11,7                                 | 120                                | 21                    | 45                           | 800                                |
| III         | 8,0                                  | 125                                | 14                    | 25                           | 650                                |
| IV          | 12,3                                 | 125                                | 23                    | 52                           | 825                                |

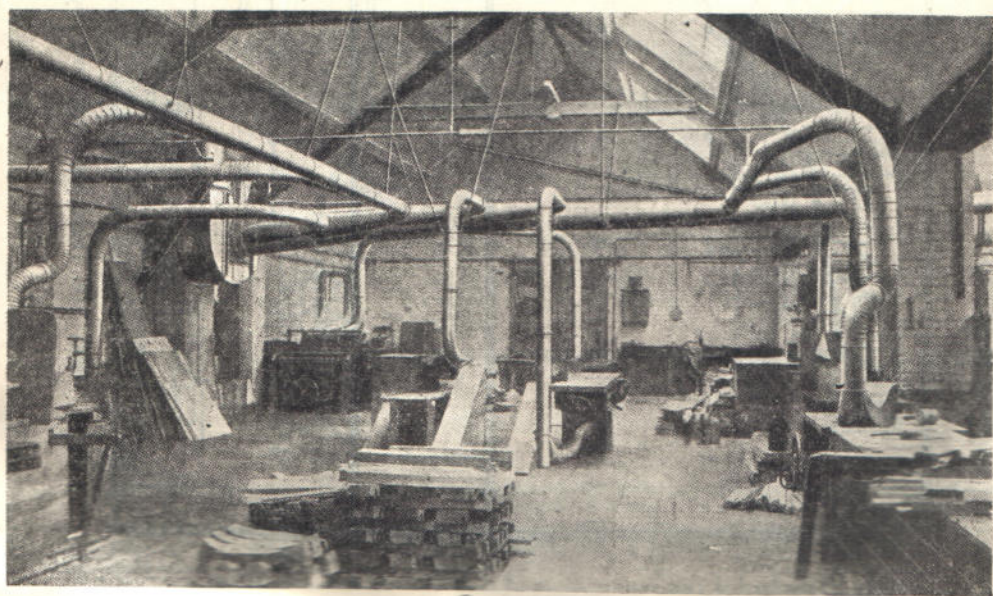
Средний расход мощности по этим данным составляет 0,6 л. с. на одно всасывающее сопло. Фирма Danneberg und Quandt приводит несколько меньшие

<sup>1</sup> «Fördertechnische Rundschau», 1932, № 6, стр. 3.



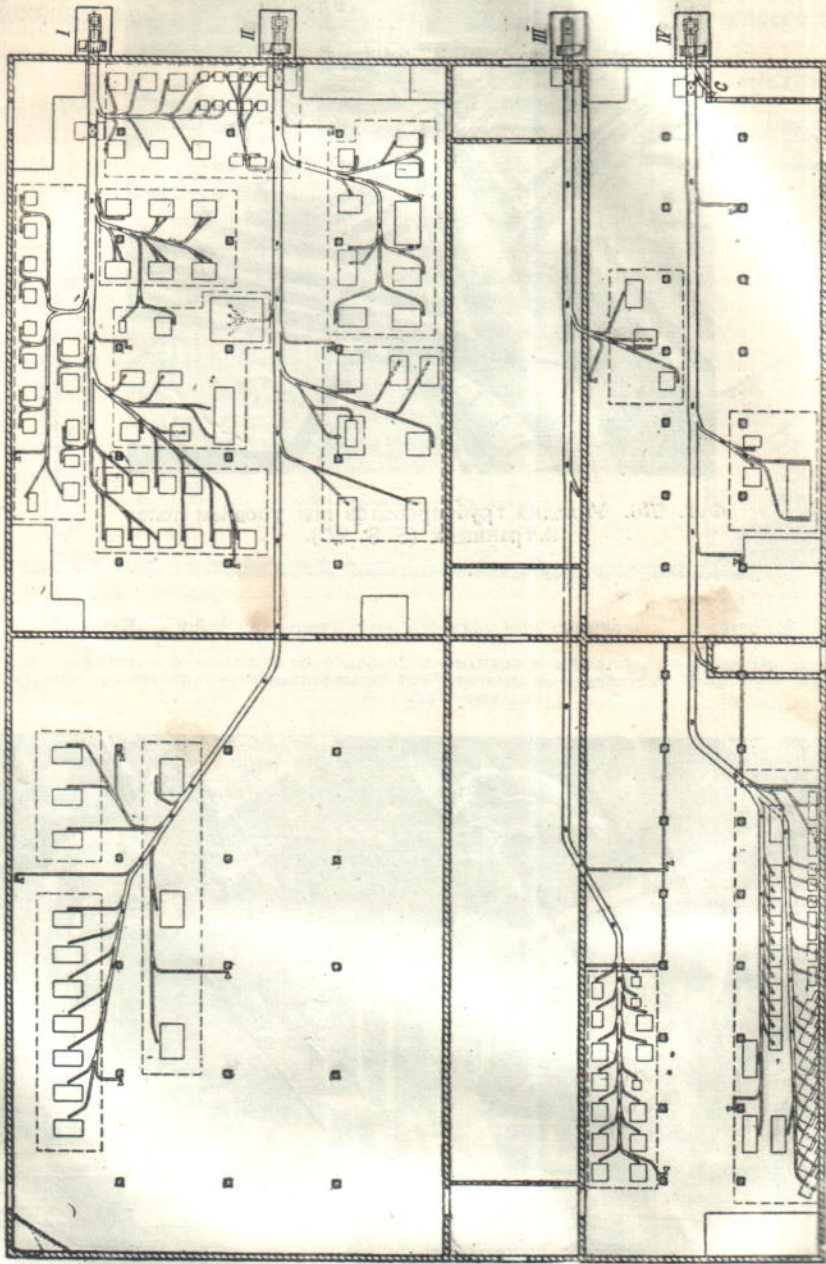


Фиг. 576. Укладка трубопроводов под уровнем пола в траншеях (S. S. W.).



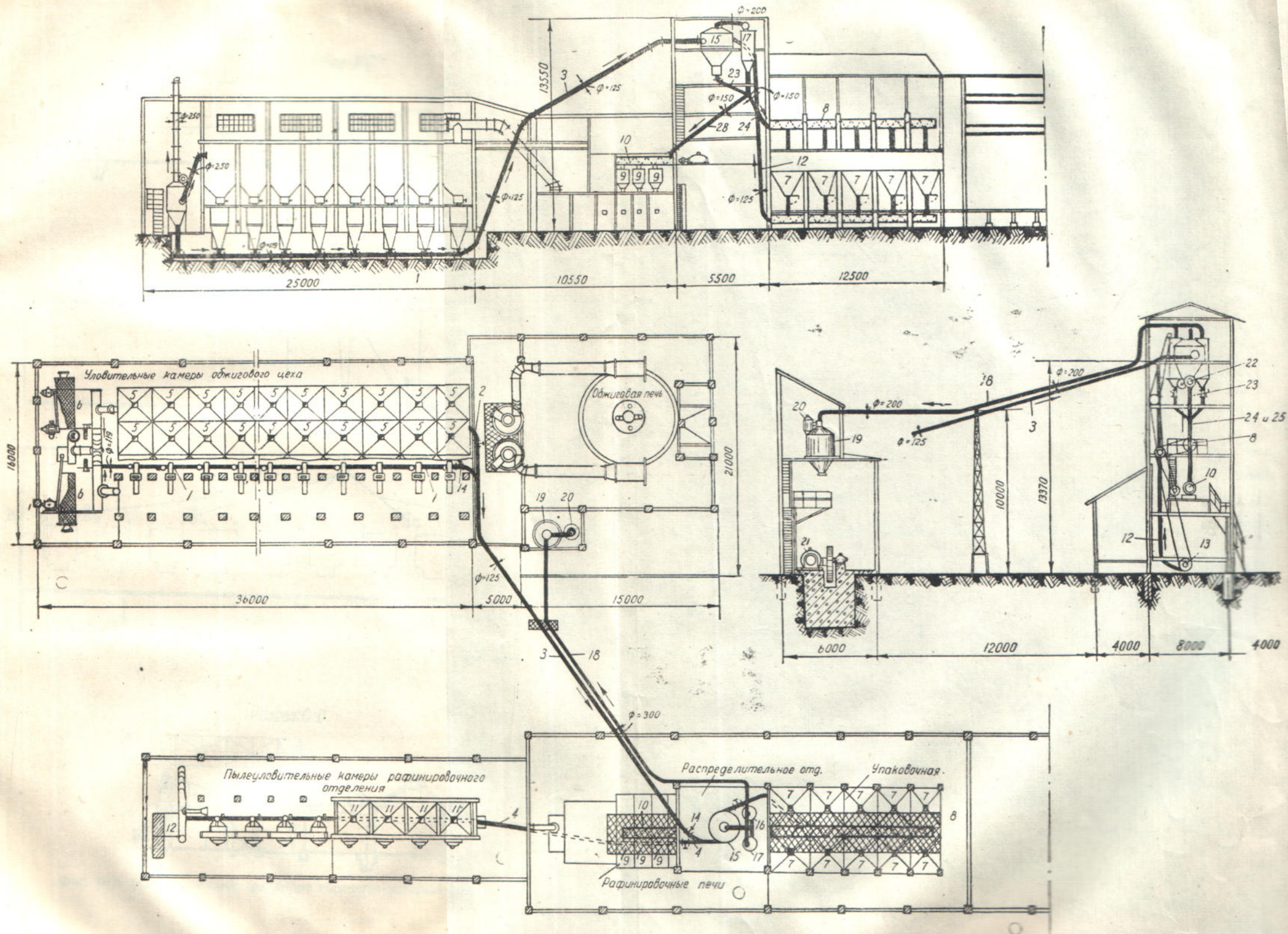
Фиг. 577. Система трубопроводов, подвешенных к перекрытию (Daqua).





Фиг. 578. План расположения трубопровода в под полом деревообделочной фабрики.



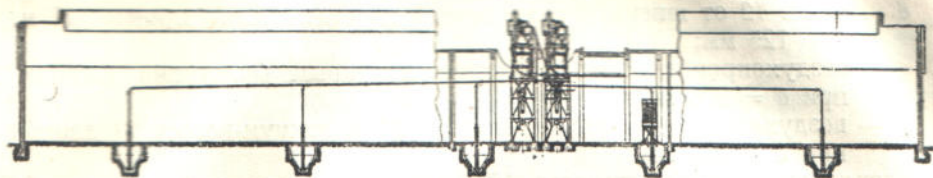


Фиг. 581. Пневматический транспорт на мышьяковом заводе:

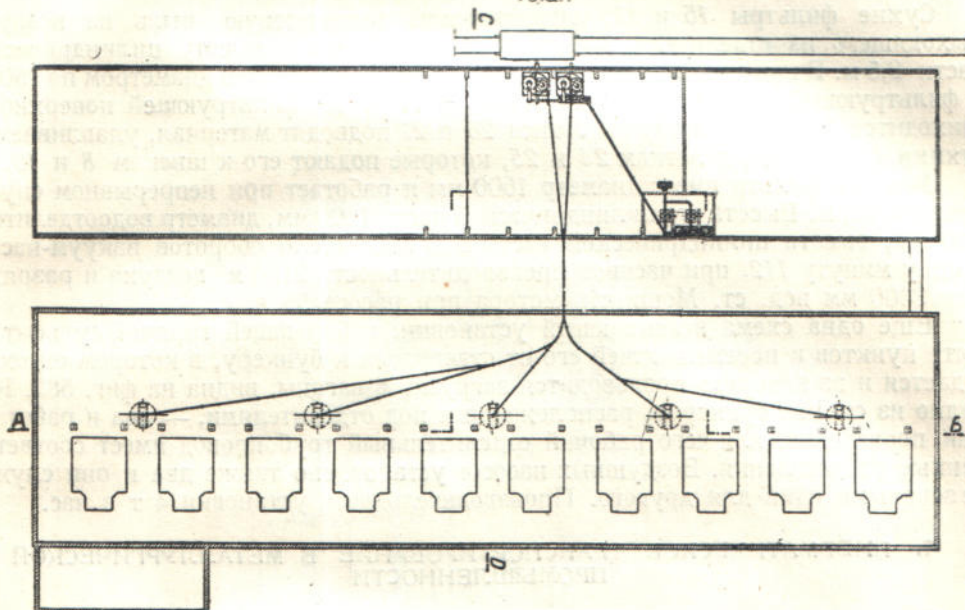
1, 2, 3—трубопровод, 4, 11—пылеулавливающие камеры, 6, 12, 16, 19—фильтры, 7—бункеры упаковочной, 8, 10, 13—шнеки, 9—бункеры рафинировочной печи, 14—краны, 15—отделитель, 18—воздуховод, 20—водоотделитель, 21—насос, 22—барабанный шлюз, 23, 24, 26, 26, 27—лотки.



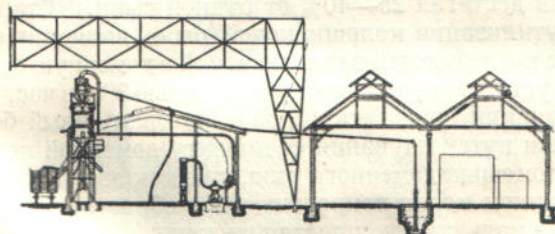
Разрез А-В



План



Разрез С-Д



Фиг. 582. Пневматический транспорт горячего сульфата (Luther).



- b* — ветвь 4 от фильтра до конца камер рафинировочного отдела длиной 22 м, при  $d = 119$  мм и от камер рафинировочного отдела до распределительного длиной 26 м, при  $d = 125$  мм;
- c* — трубопровод 3 от камер обжигового цеха до распределительного отдела длиной 55 м, при  $d = 125$  мм;
- d* — ветвь 12 от шнека 8 упаковочной до отделителя длиной 17 м, при  $d = 125$  мм;
- e* — воздухопровод 18 между сухими и мокрым фильтрами длиной 30 м, при  $d = 200$  мм;
- f* — воздухопровод от водоотделителя 20 к вакуум-наосу 21 длиной 7 м, при  $d = 250$  мм.

Разгрузитель имеет диаметр 1600 мм при высоте цилиндрической части 900 мм, конической — 1270 мм.

Разгрузитель снабжен шлюзовым затвором 22 барабанного типа. Число оборотов барабана в минуту 15,5. Материал, выходящий из шлюзового затвора, направляется по лоткам 23, 24 и 25 к шнекам 8 и 10.

Сухие фильтры 16 и 17, улавливающие мышьяковую пыль из воздуха, выходящего из отделителя, имеют диаметр 700 мм и высоту цилиндрической части 2,5 м. В каждом фильтре находится по восемь рукавов диаметром по 150 мм с фильтрующей поверхностью по 1,175 м<sup>2</sup>. На 1 м<sup>2</sup> фильтрующей поверхности приходится 2 м<sup>3</sup>/мин воздуха. Лотки 26 и 27 подводят материал, улавливаемый сухими фильтрами, к лоткам 24 и 25, которые подают его к шнекам 8 и 10.

Мокрый фильтр имеет диаметр 1600 мм и работает при непрерывном спуске грязной воды. Высота его цилиндрической части 1600 мм, диаметр водоотделителя 800 мм, высота цилиндрической части 800 мм. Число оборотов вакуум-наоса в одну минуту 112, при часовой производительности 2150 м<sup>3</sup> воздуха и разрежении 3400 мм вод. ст. Мощность мотора при насосе 55 л. с.

Еще одна схема всасывающей установки, забирающей горячий сульфат из пяти пунктов и перемещающей его от отделителя к бункеру, в котором он охлаждается и из которого производится загрузка в вагоны, видна на фиг. 582. Как видно из схемы, бункеров, расположенных под отделителями, — два и работают они поочередно, для чего рабочий отделительный трубопровод имеет соответственные разветвления. Воздушных насосов установлено также два и они служат резервными один для другого. Производительность установки 4 т в час.

## 7. ПНЕВМАТИЧЕСКОЕ ТРАНСПОРТИРОВАНИЕ В МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

В качестве примера применения пневматического транспортирования в металлургической промышленности могут служить установки для утилизации колошниковой пыли путем вдвухания ее в доменную печь.

В доменных печах, в особенности работающих на низкосортной шихте, вынос колошниковой пыли весьма велик. Так, на заводах «Днепростали» вынос колошниковой пыли достигал 25—40% от рудной сыпи.<sup>1</sup> Старым, хорошо испытанным способом утилизации колошниковой пыли является ее брикетирование или агломерация с последующей затем завалкой в доменную печь обычным порядком. Схема такой установки, производительностью 30 т в час, видна на фиг. 583.

В 1926 г. в Германии инж. Гескамп запатентовал новый более дешевый способ утилизации пыли путем вдвухания ее в шахту доменной печи. Вдвухание пыли осуществлялось с помощью доменного газа, так как автор патента опасался, что вдвухание пыли воздухом может сопровождаться образованием второй зоны плавления, нарушая нормальную эксплуатацию печи.

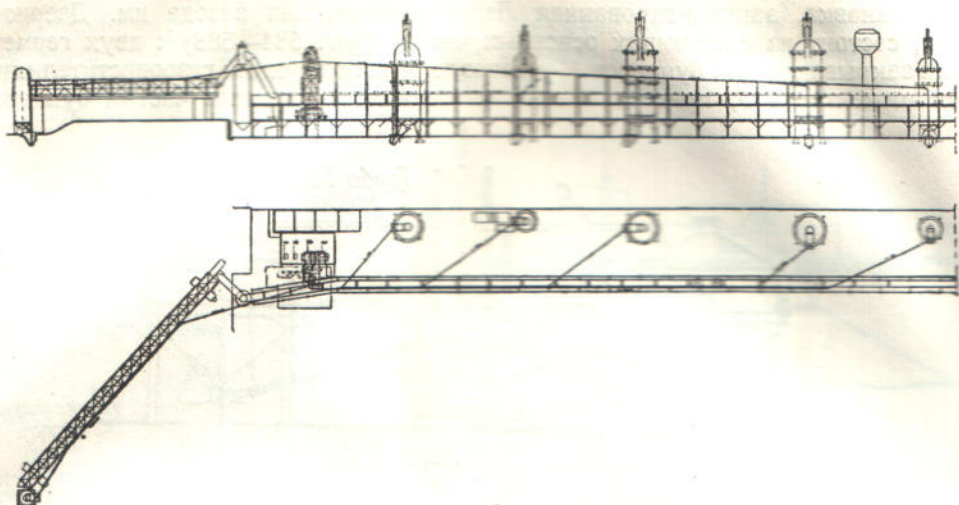
Вдвухание пыли в доменную печь благодаря своей дешевизне и простоте стало прививаться на заводах Германии, Франции, Голландии, а затем и в СССР.

Расчет и проделанный у нас эксперимент<sup>2</sup> показали, что вдвухание пыли в шахту доменной печи вполне осуществимо и с помощью воздуха, так что опасения Гескампа насчет образования второй зоны плавления не подтвердились.

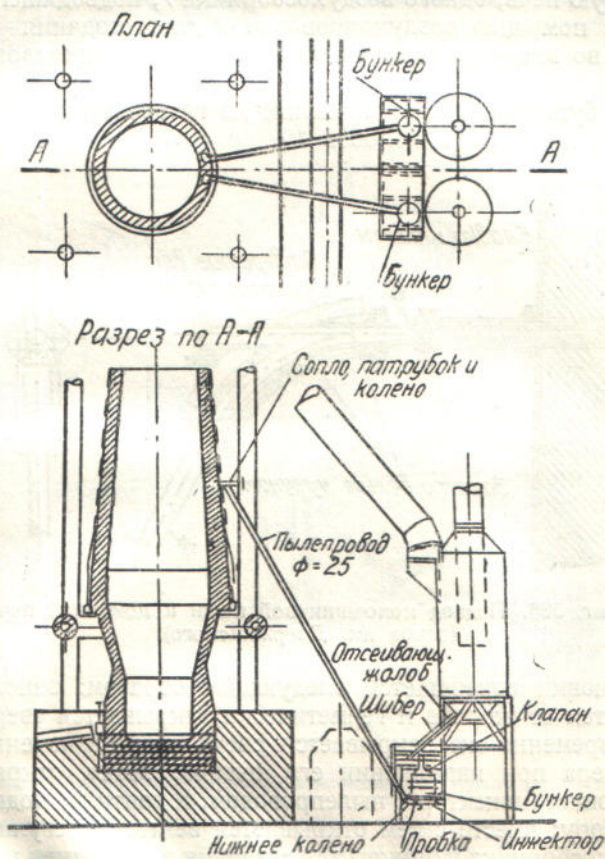
<sup>1</sup> См. отчет бригады Ленгипромеза в журнале «Домез» № 9 за 1935 г.

<sup>2</sup> На заводе им Дзержинского, в 1932 году.





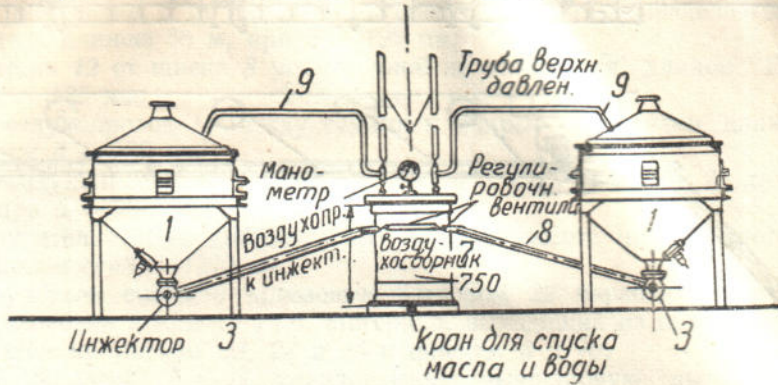
Фиг. 583. Пневматический транспорт колошниковой пыли производительностью 30 т/час (Luther).



Фиг. 584. Схема вдувания колошниковой пыли в доменную печь на заводе им. Дзержинского.



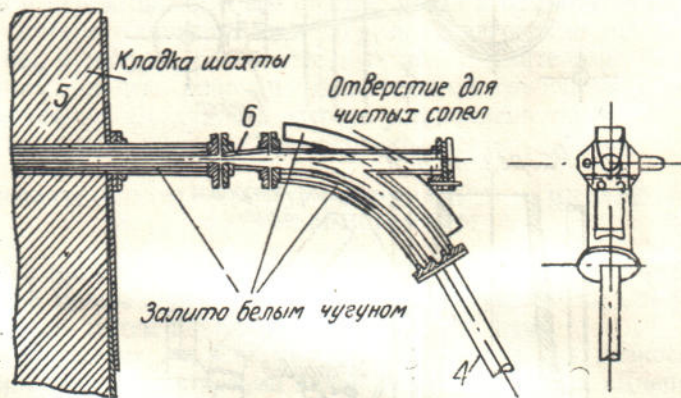
Установка, запроектированная Ленгипромезом для завода им. Дзержинского, состоит из следующих основных частей (фиг. 584—588)<sup>1</sup>: двух герметически закрывающихся бункеров 1, установленных под сухими газоочистителями 2; двух инжекторов 3, присоединенных к нижним коническим частям бункеров;



Фиг. 585. Бункеры, воздухоотборник и воздухопровод (завод им. Дзержинского).

двух пылепроводов 4, присоединенных внизу к инжекторам, а сверху к шахте доменной печи 5; двух сопел 6, присоединенных к пылепроводам сверху перед входом в доменную печь; одного воздухоотборника 7, подводящего сжатый воздух к инжекторам с помощью воздухопроводов 9 для создания противодавления внутри бункера во время выдувания пыли; одного компрессора, на фигурах не показанного.

Наполнение бункеров угольной пылью из газоочисток производится поочередно с помощью наклонных желобов 10.



Фиг. 586. Подвод колошниковой пыли к доменной печи (завод им. Дзержинского).

Работа установки совершается следующим образом: заполненный пылью бункер отключается от желоба и герметически закрывается сверху крышкой 11 (фиг. 587); одновременно же закрывается свеча, предназначенная для выхода воздуха из бункера при наполнении его пылью; затем открывается нижняя пробка, соединяющая инжектор с пылепроводом, и вентиль, подводящий сжатый воздух к инжектору; вместе с тем открывается вентиль, регулирующий подачу воздуха из воздухоотборника в бункер для создания в последнем противодавления.

Сжатый воздух, проходя через инжектор, захватывает с собой колошниковую пыль, транспортирует ее по пылепроводу и с помощью сопла 6 вдувает в доменную печь. Диаметр сопел 6 40 мм.

<sup>1</sup> «Домез», 1932 г., № 9.



















Установка имела однако ряд недостатков, к числу которых необходимо отнести также аггломерацию (окусковывание) пыли, наблюдающуюся в нижней, конической части бункеров. Образовавшиеся куски закупоривали выход пыли из бункеров в инжектор и приостанавливали подачу.

Аналогичная установка для вдувания колошниковой пыли была запроектирована также и на заводе им. Петровского в Днепрпетровске для доменной печи № 4.

Схема установки в основном такая же, как и на заводе им. Дзержинского, но вдувание пыли производится через два сопла, расположенные с диаметрально противоположных сторон печи. Такое расположение сопел дает основание ожидать более равномерного распределения пыли по поперечному сечению печи.

На фиг. 588 изображена общая схема пылеутилизаторной установки по проекту завода им. Петровского.

Общий вид бункера с желобом и предохранительным ситом, для избежания попадания в бункер особо крупных кусков, изображен на фиг. 589.

Разрез бункера дан на фиг. 590. Бункер снабжен иглой для регулирования количества подаваемой пыли и для пробивания отверстия при закупорке его аггломерировавшейся пылью.

Воздухосборник, изображенный на фиг. 591, осуществляет равномерную подачу сжатого воздуха к инжекторам и кроме того служит для отделения из воздуха влаги и масла, способствующих окусковыванию пыли в бункерах. Влага и масло увлекаются воздухом из цилиндра компрессора. Для улучшения выделения влаги и масла из воздуха, в воздухосборнике предусмотрены поперечные перегородки, которые путем многократного изменения направления движения потока ускоряют процесс выделения. Выделяющаяся жидкость отводится по спускной трубе, присоединенной к нижнему днису.

Диаметр пылепровода принят равным 44 мм при рабочей скорости воздуха 19 м/сек. Диаметр сопла принят равным 25 мм. Предполагаемая максимальная суточная производительность установки — 160 т пыли.

## 8. ПНЕВМАТИЧЕСКОЕ ТРАНСПОРТИРОВАНИЕ В КАМЕННОУГОЛЬНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Пневматическое транспортирование в каменноугольной промышленности находит себе применение, во-первых, при закладке выработанных пространств пустой породой — так называемая пневматическая закладка, и во-вторых, при транспортировании угля по подземным выработкам к стволу шахты. Обе указанные области применения пневматического транспортирования рассмотрены нами отдельно.

### а) Пневматическая закладка

1. *Общие сведения.* Способ пневматической закладки выработанных пространств, впервые примененный всего около 10—12 лет тому назад, в короткое время получил распространение благодаря ряду преимуществ, которыми он обладает по сравнению с другими способами закладки.

К числу этих преимуществ относятся:

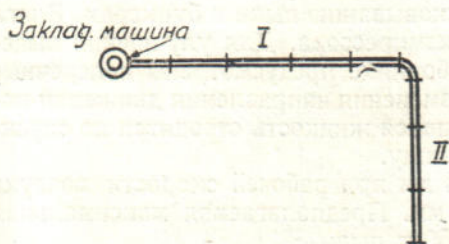
Плотность закладки, которая значительно выше, чем при ручной и приближается, а иногда даже превышает плотность при гидравлической: если осадка кровли при ручной закладке находится обычно в пределах 30—40%, достигая иногда, при сильном давлении кровли, 50—60% от мощности пласта, то осадка при пневматической закладке обычно не превышает 15—20%, а в некоторых случаях даже 10%; отсутствие необходимости механической доставки закладочного материала к местам очистных работ дает возможность использования механического транспортного оборудования шахты исключительно по его прямому назначению — транспортированию угля; независимость работ по пневматической закладке от работ по добыче и доставке угля дает возможность обслуживающему персоналу шахты организовать работу таким образом, чтобы закладка выработанного пространства не только не тормозила очистных работ, но,



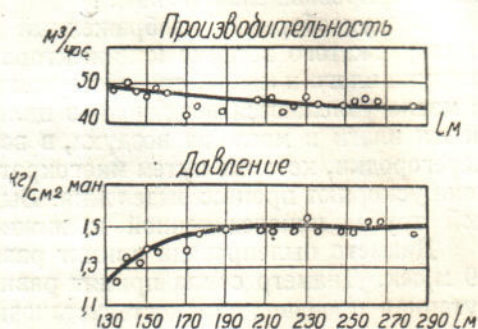
напротив, способствовала интенсификации их; возможность очень высокой производительности, трудно достижимой при ручном способе закладки; улучшение вентиляции у забоя благодаря притоку избыточного свежего воздуха; уменьшение числа занятых на закладке рабочих благодаря высокой автоматичности действия установок для пневматической закладки.

Основными недостатками пневматической закладки являются: довольно высокая стоимость оборудования, большой расход энергии и значительные эксплуатационные издержки на текущий ремонт. Однако стоимость пневматической закладки обходится зачастую не выше, а во многих случаях и ниже немеханизированной.

Закладка выработанных пространств производится с помощью сжатого воздуха. По степени давления воздуха большинство существующих установок по закладке могут быть разделены на два основных класса: установки высокого давления и установки низкого давления; первые работают при давлении 2,0—3,5 ат, вторые — при 1,1—2,0 ат. Установки более низкого давления, как не обеспечивающие требующейся в большинстве случаев плотности закладки, применяются меньше.



Фиг. 592. Схема трубопровода опытной установки.



Фиг. 593. Кривые производительности закладки и давления дутья в зависимости от длины II участка.

По дальности перемещения и удельному весу пневмотранспорта во всей доставке закладочного материала к выработанному пространству установки можно разделить на три группы: 1) стационарные, с помощью которых производится доставка материала по штреку и забую, либо даже по всем горным выработкам от бункера, в который материал подается с поверхности; 2) полустационарные, служащие для перемещения по забую либо по промежуточному штреку и забую, причем к пневматической системе транспортирования материал подается механическими транспортными средствами; 3) передвижные, служащие для подачи материала в забое непосредственно в выработанное пространство от механического транспортного устройства, ленточного или качающегося конвейера.

Рассмотренные выше закладочные машины Торкрет (фиг. 518—523) относятся к первому и ко второму (фиг. 519 и 520) типу — стационарных и полустационарных устройств.

Для выяснения влияния различного рода факторов на расход воздуха при пневматической закладке в Германии были произведены довольно обширные опыты, опубликованные инженером E. Deuschl'em.<sup>1</sup>

Опытная установка состояла из двух взаимно перпендикулярных участков I и II, соединенных закруглением с радиусом 0,75 м (фиг. 592). Участок I был строго горизонтален, участок II имел падение 10°. Оборудована установка двухкамерной закладочной машиной Торкрет,<sup>2</sup> трубопровод изнутри облицован гладким слоем керамики; диаметр трубопровода 150 мм.

<sup>1</sup> «Glückauf», 1931, № 2 и 3, Untersuchungen über den Luftverbrauch beim Blasveratzverfahren.

<sup>2</sup> Машины «Торкрет» см. на фиг. 518—520.



Кривые фиг. 593 иллюстрируют влияние длины участка II на давление дутья и производительность закладки при неизменной длине участка I (130 м). С увеличением длины участка II производительность понижается, а давление повышается. Однако при длине его от 60 до 160 м давление дутья почти не повышается. Некоторая разбросанность опытных точек объясняется неоднородным составом закладываемого материала.

В табл. 85 приведены более подробные сведения о влиянии длины наклонного участка II на расход и давление воздуха и производительность закладки.

Приведенные цифры являются средними из ряда опытов над установкой по схеме фиг. 592 при длине участка I в 200 м.

Таблица 85

Характеристика работы пневматической установки по фиг. 592 при изменении длины участка II

| Длина участка II (м) |     | Производит. закладки (м³/час) | Общее количество перемещенного материала (м³) | Расход воздуха (м³/час) | Удельный расход воздуха (м³/м³) | Давление дутья (ат. ман.) |
|----------------------|-----|-------------------------------|---|-------------------------|---------------------------------|---------------------------|
| от                   | до  |                               |   |                         |                                 |                           |
| 0                    | 57  | 44,1                          | 390   | 3950                    | 91                              | 1,55                      |
| 60                   | 117 | 43,4                          | 441   | 3970                    | 91                              | 1,60                      |
| 120                  | 170 | 42,3                          | 608   | 3930                    | 94                              | 1,60                      |

Из таблицы следует, что увеличение длины участка II сопровождается сравнительно незначительным уменьшением производительности закладки.

Влияние длины горизонтального участка I иллюстрируется цифрами таблицы 86.

Таблица 86

Характеристика работы пневматической установки по фиг. 592 при изменении длины участка I

| Длина горизонт. участка I (м) | Производит. закладки (м³/час) | Общее количество перемещенного материала (м³) | Расход воздуха (м³/час) | Удельн. расход воздуха (м³/м³) | Давление дутья (ат. ман.) | Скорость воздуха (м/сек) |         |
|-------------------------------|-------------------------------|---|-------------------------|--------------------------------|---------------------------|--------------------------|---------|
|                               |                               |   |                         |                                |                           | в начале                 | в конце |
| 55                            | 47,7                          | 52  | 3720                    | 79                             | 1,30                      | 26                       | 59      |
| 65                            | 45,5                          | 124   | 3770                    | 84                             | 1,35                      | 26                       | 60      |
| 76                            | 46,0                          | 35  | 3740                    | 83                             | 1,35                      | 26                       | 60      |
| 130                           | 48,2                          | 73  | 3730                    | 79                             | 1,45                      | 25                       | 59      |
| 134                           | 46,2                          | 580   | 3750                    | 82                             | 1,45                      | 25                       | 60      |
| 165                           | 44,3                          | 185   | 3770                    | 86                             | 1,52                      | 25                       | 60      |
| 200                           | 43,2                          | 1540  | 3890                    | 91                             | 1,60                      | 24                       | 62      |
| 240                           | 39,2                          | 208   | 3780                    | 98                             | 1,68                      | 23                       | 60      |
| 268                           | 37,5                          | 82  | 3760                    | 101                            | 1,85                      | 22                       | 60      |
| 288                           | 39,0                          | 95  | 3920                    | 102                            | 1,90                      | 22                       | 62      |
| 314                           | 39,3                          | 148   | 3850                    | 99                             | 2,00                      | 22                       | 61      |

Интересные результаты были получены при исследовании установки, аналогичной изображенной на фиг. 592, но имевшей диаметр трубопровода 200 мм и оборудованной однокамерной закладочной машиной.

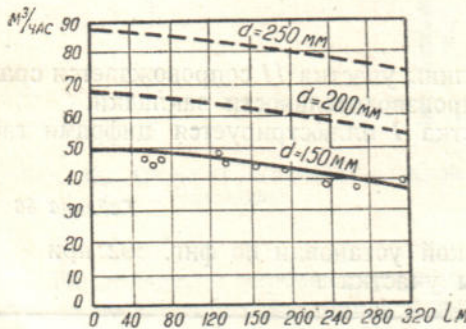
Длина участка II—100 м, участка I—90; 96 и 110 м. В таблице 87 сведены полученные результаты.



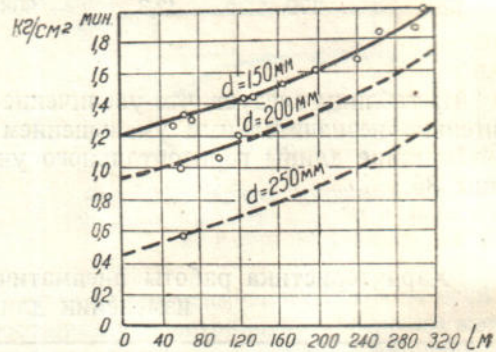
Характеристика работы установки по схеме фиг. 592 при диаметре трубопровода 200 мм

| Длина гориз. участка (м)<br><i>l</i> | Производит. закладки (м <sup>3</sup> /час) | Расход воздуха (м <sup>3</sup> /час) | Удельный расход воздуха (м <sup>3</sup> /м <sup>3</sup> ) | Давление дутья (ат ман.) | Скорость воздуха (м/сек) |         |
|--------------------------------------|--|--------------------------------------|---|--------------------------|--------------------------|---------|
|                                      |  |                                      |   |                          | в начале                 | в конце |
| 90                                   | 62,6                                       | 8720                                 | 140   | 1,20                     | 35                       | 76      |
| 96                                   | 69,0                                       | 7050                                 | 103   | 1,10                     | 30                       | 62      |
| 110                                  | 64,2                                       | 6500                                 | 102   | 1,20                     | 27                       | 58      |

Повышенный расход воздуха при длине горизонтального участка 90 м объясняется тем, что регулирование количества воздуха в этой установке, в отличие от предыдущей, производится вручную. Поэтому, когда в машину попадал низко-сортный закладочный материал и производительность установки понижалась, машинист открывал воздушный вентиль, чтобы добиться нормальной производительности. Однако значительное увеличение расхода воздуха сопровождалось только небольшим увеличением производительности.



Фиг. 594. Влияние длины  $l$  участка и диаметра трубопровода на производительность закладки.



Фиг. 595. Зависимость давления дутья от длины участка  $l$  и диаметра трубопровода.

Чтобы иметь гарантию от такого несовершенного регулирования, при опытах с 96-метровым участком был введен дроссель, что сразу же уменьшило расход воздуха на 20%. Дальнейшее уменьшение расхода воздуха на 8% было достигнуто за счет установки закрытого бункера.

В опытах с 200-миллиметровым трубопроводом было также обнаружено, что производительность при закладке мелкозернистого и грязного материала падала noticeably интенсивней, чем при трубопроводах диаметром 150 мм. Объяснение этому явлению нужно искать в уменьшении переносной способности воздуха при увеличении диаметра трубопровода.

Кривые на фиг. 594 иллюстрируют влияние длины горизонтального участка и диаметра трубопровода на производительность установки при постоянном расходе воздуха и наиболее целесообразном давлении. Длина наклонного участка постоянна и равна 100 м. Сплошная кривая проведена на основании серии точек, полученных из опыта, пунктирные же кривые проведены каждая только через одну опытную точку при сохранении, в общем, закона изменения сплошной кривой.

Кривые показывают значительное увеличение производительности с увеличением диаметра трубы и некоторое уменьшение производительности с увеличением длины горизонтального участка.

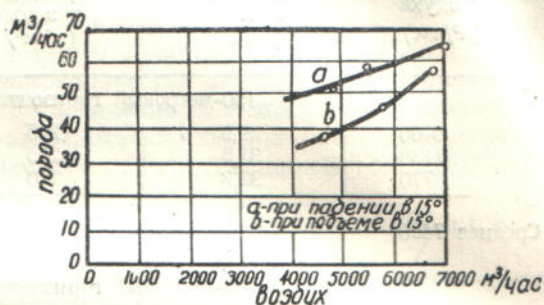


Зависимость наиболее целесообразного давления от длины горизонтального участка и диаметра трубопровода, при средней производительности закладки и постоянном расходе воздуха, изображена на фиг. 595. Под средней производительностью понимаются производительности, взятые для соответствующей длины из графика на фиг. 594.

Здесь, как и на фиг. 594, сплошная кривая получена на основании значительного количества опытов над трубопроводом диаметром 150 мм; кривая для 200-мм трубопровода проведена только через три опытные точки и наконец нижняя кривая — через одну опытную точку.

Давление дутья резко увеличивается с уменьшением диаметра трубопровода, и при постоянном диаметре увеличение тем интенсивнее, чем длиннее трубопровод.

Если наклонный участок не опускается по направлению движения струи, а поднимается, то производительность закладки понижается приблизительно на 25%, а расход воздуха на 10%. Понижение производительности закладки объясняется добавочной затратой энергии на подъем материала. Особенно низкая производительность наблюдалась при перемещении по поднимающемуся трубопроводу мелкозернистого и загрязненного материала. Однако при увеличении расхода воздуха производительность установки с поднимающимся наклонным участком увеличивается более интенсивно, чем производительность установки с понижающимся наклонным участком, хотя численно и остается меньшей. На фиг. 596 приведены соответствующие кривые.



Фиг. 596. Зависимость производительности закладки от расхода воздуха и наклона участка.

Результаты работы закладочной машины конструкции König'a на падающем пласте приведены в таблице 88. Падение пласта 15°, диаметр трубопровода 150 мм, наибольшая длина его 100 м.

Таблица 88

Характеристика работы закладочной машины König'a

| Расход воздуха<br>(м³/час) | Производительность закладки<br>(м³/час) | Общее количество перемещенного материала<br>(м³) | Удельный расход воздуха<br>(м³/м³) |
|----------------------------|---|--|------------------------------------|
| 1700                       | 29,3                                    | 35   | 58                                 |

Таблица 88 подтверждает, что наклон трубопровода по направлению движения струи сопровождается понижением расхода воздуха. При сравнении данных этой таблицы с данными других приведенных выше таблиц нужно иметь ввиду, что помещенные здесь числа получены при закладке только одного вагона породы. При закладке второго, третьего и т. д. вагона неизбежны перерывы в закладке материала, что отражается как на средней производительности установки, так и на расходе воздуха.

Опытное выяснение влияния закруглений, как и следовало ожидать, показало значительное снижение производительности установки при наличии в трубопроводе нескольких закруглений. Это снижение особенно заметно при закруглениях, расположенных на небольших расстояниях друг от друга. На одной из шахт, трубопровод которой имел четыре закругления по 90°, расположенных последовательно на расстоянии 4; 50; 20 и 10 м, производительность установки снизилась на 43%.



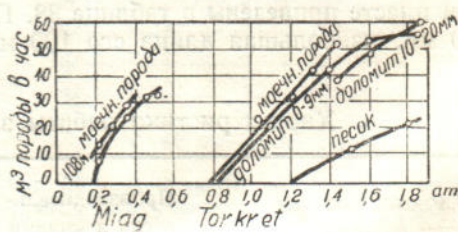
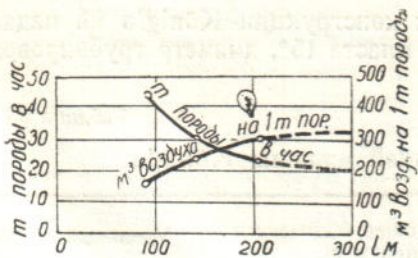
Для исследования свойств закладочной машины Miag были подвергнуты испытанию две установки: одна длиной транспортирования в 150 м при наличии одного 90° закругления на расстоянии 100 м от загрузочного устройства, другая — с прямолинейным трубопроводом длиной 108 м. Диаметр трубопроводов 250 мм. В таблице 89 приведены числа, полученные при этом испытании.

Таблица 89

Характеристика работы закладочной машины Miag

| Расход воздуха (м³/час)                 | Производительность закладки (м³/час) | Удельный расход воздуха (м³/м³) | Давление дутья (ат ман.) | Скорость воздуха (м/сек) |         |
|---|--------------------------------------|---------------------------------|--------------------------|--------------------------|---------|
|   |                                      |                                 |                          | в начале                 | в конце |
| 150-метровый горизонтальный трубопровод |                                      |                                 |                          |                          |         |
| 6460                                    | 29,9                                 | 215                             | 0,40                     | 26                       | 37      |
| 7130                                    | 31,5                                 | 225                             | 0,45                     | 28                       | 41      |
| 8770                                    | 32,3                                 | 270                             | 0,43                     | 35                       | 50      |
| Среднее 7450                            | 31,2                                 | 244                             | 0,43                     | 30                       | 43      |
| 108-метровый горизонтальный трубопровод |                                      |                                 |                          |                          |         |
| 6360                                    | 27,2                                 | 230                             | 0,34                     | 27                       | 36      |
| 9830                                    | 23,5                                 | 414                             | 0,26                     | 45                       | 56      |

Увеличение расхода воздуха сопровождается только незначительным увеличением производительности, а при 108-метровом трубопроводе даже небольшим уменьшением.



Фиг. 597. Изменение производительности и удельного расхода воздуха в зависимости от длины транспортирования при работе с закладочной машиной «Miag».

Фиг. 598. Влияние давления воздуха на производительность установки при различных сортах закладываемого материала. ]

На фиг. 597 приведены кривые изменения производительности и удельного расхода воздуха в зависимости от длины транспортирования при работе с закладочной машиной Miag. Средний часовой расход воздуха — около 7200 м³. Транспортируемый материал — доломит и отобранная порода.

Как показывает фиг. 597, при увеличении длины транспортирования до 200 м производительность резко падает; при дальнейшем увеличении длины падение происходит менее интенсивно.

Влияние давления воздуха на производительность установки чрезвычайно наглядно иллюстрируется кривыми фиг. 598, по оси абсцисс которой отложены давления, а по оси ординат — производительности. В установках, оборудованных машинами Miag и работающих поэтому при небольших давлениях дутья, уже незначительное понижение давления сопровождается резким снижением производительности, а при некотором предельном давлении даже полной приостановкой подачи. Это обстоятельство является одним из существенных недостатков закладочных машин низкого давления.



В установках, оборудованных машинами Torkret и работающих при более высоких давлениях, падение производительности при уменьшении давления происходит не столь интенсивно, в особенности при высоких давлениях (см. кривую для доломита 0—9 мм). Наиболее пологая кривая получена при транспортировании мелкого песка.

Влияние рода закладочного материала на производительность закладки иллюстрируется данными таблицы 90, полученными Deuschl'ем для закладочных машин Torkret и Miag. Данные таблицы имеют значение только для сравнения транспортной способности машин при работе по различным материалам.

При закладке крупнокускового материала — сланцев, доломита, крупных кусков котельной золы и т. п. — производительность велика. При уменьшении размеров кусков происходит заметное уменьшение производительности, которая при высоком содержании глинистых веществ может приостановиться совсем. Смесь доломита с песком при небольшом количестве песка транспортировалась с высокой производительностью, однако увеличение доли песка сопровождалось уменьшением производительности. Производительность при работе с машиной Miag всегда была значительно ниже, чем при работе с машиной Torkret.

Таблица 90

Производительность закладочных машин в зависимости от рода закладочного материала

| Транспортируемый материал  | Производительность (м <sup>3</sup> /час) |      |      |
|--|--|------|------|
|  | Torkret                                  | Miag |      |
| Сланец (отборная порода); насыпной вес 900 кг/м <sup>3</sup> . . . . . | 68                                       | 22   |      |
| Котельная зола . . . . .   | Куски 20—60 мм . . . . .                 | 60   | 24,4 |
|  | » 0—10 мм . . . . .                      | 42   | 9,0  |
| Доломит . . . . .  | Куски 20—40 мм . . . . .                 | 52   | 21,2 |
|  | » 10—20 мм . . . . .                     | 45   | 16,9 |
|  | » 0—9 мм . . . . .                       | 40   | 13,1 |
| Песок, смешанный с доломитом, в отношении                              | 1 : 4 . . . . .                          | 54   | —    |
|  | 1 : 2 . . . . .                          | 46   | —    |
|  | 1 : 1 . . . . .                          | 40   | —    |
| Песок с 7% содерж. глины . . . . .                                     | 32                                       | 5,8  |      |
| » с 15% содерж. глины . . . . .  | практически нуль                         |      |      |
| Песок, смешанный с золой, в отношении                                  | 1 : 2 . . . . .                          | 43   | —    |
|  | 1 : 1 . . . . .                          | 38   | —    |
| Глинистая порода . . . . .   | 18                                       | —    |      |

Опыты показали, что в установках, оборудованных закладочными машинами Torkret, удельное падение давления в 2—3 раза меньше, чем в установках, оборудованных машинами Miag.

Опытами Deuschl'я также установлено, что производительность закладки увеличивается с увеличением расхода воздуха линейно, а с увеличением диаметра трубопровода — квадратично.

Удельное потребление воздуха (м<sup>3</sup> на м<sup>3</sup> материала) также возрастает с увеличением диаметра трубопровода, например на 26% при увеличении диаметра с 150 мм до 200 мм и на 53% при увеличении диаметра с 150 мм до 250 мм. С точки зрения расхода воздуха трубопроводы малого диаметра предпочтительней.



При закладке мелкокусковой породы производительность, вообще говоря, примерно на 50—60% меньше, чем при крупнокусковой. Однако, если в самом начале трубопровода создать большую скорость воздуха, например 45—50 м/сек, то производительность значительно повышается, приближаясь к производительности при крупнокусковом материале. Такое увеличение скорости достигается сужением диаметра трубы на протяжении первых 6—8 м длины трубопровода.

При пневматической закладке крупнокусковой породы скорость воздуха в начале трубопровода, достаточная для создания необходимой первоначальной скорости материалу, лежит в пределах 20—30 м/сек.

На основании данных практики наивыгоднейшая скорость воздушного потока в трубопроводе при закладке лежит в пределах 40—60 м/сек. К верхнему пределу приближаются при длине трубопровода 400—500 м и значительной производительности — около 40—75 т/час закладочного материала; давление воздуха в начале трубопровода при этом 3—3,5 ат. К нижнему пределу 40 м/сек приближаются при более коротких трубопроводах (100—200 м) с малым количеством колен и закруглений и при меньшей производительности; давление воздуха при этом соответственно понижается до 1,5—2 ат.

Увеличение длины трубопровода свыше 500 м, при давлении 3,5 ат, сопровождается сперва снижением производительности, а при дальнейшем увеличении длины — закупорками и приостановкой подачи.

Крупность транспортируемых кусков породы может быть самой разнообразной, достигая величины в 80 мм, а в некоторых случаях даже 100 мм в поперечнике.

Диаметр рабочего трубопровода выбирается в пределах 150—250 мм, причем нижние пределы выбираются в установках высокого давления, верхние — в установках низкого давления.

Конечно, на выбор диаметра рабочего трубопровода оказывает влияние также и производительность установки, так что например в установках высокого давления при большой производительности применяют трубопроводы диаметром 200—225 мм. Например, при производительности до 30 м<sup>3</sup>/час закладочного материала берут диаметр 150 мм, до 45 м<sup>3</sup>/час — 175 мм, до 75 м<sup>3</sup>/час — 200 мм. В условиях каждой данной установки диаметры могут иметь некоторые отклонения от вышеуказанных, однако принимать ниже 150 мм не рекомендуется.

Для рабочих трубопроводов могут применяться железные сварные трубы, однако лучшие результаты показали маннессмановские, имеющие более гладкую внутреннюю поверхность, а потому оказывающие меньшее сопротивление проходящему потоку. Толщина стенок 5—10 мм, реже до 14 мм, причем более толстые трубы устанавливаются в начале трубопровода на участках, сравнительно редко разбираемых и переставляемых; тонкие, более легкие трубы устанавливают в конце трубопровода, в очистных забоях, где их часто приходится переставлять, наращивать и т. п.

Трубопроводы должны быть оперты или подвешены таким образом, чтобы они могли свободно вибрировать. Как указывалось, не следует трубы закапывать в почву, так как износ их при этом сильно повышается.

Колена, вставляемые в местах перемены направления трубопровода, имеют обычно радиус закругления от 0,75 до 1 м. Так как колена подвержены наибольшему износу и требуют частой замены, то их выполняют особых конструкций со сменными частями.<sup>1</sup>

Ввод материала в трубопровод производится с помощью специальных, так называемых закладочных машин. Некоторые из их конструкций были рассмотрены в разделе «Загрузочные устройства», другие разбираются ниже.

2. Описание некоторых машин и установок для пневматической закладки. На фиг. 599 изображена схема участка шахты Fürst Hardenberg der Vereinigte Stahlwerke, применяющей пневматическую закладку выработанного пространства,<sup>2</sup> причем пневматическая установка служит для перемещения породы как

<sup>1</sup> Описание таких колен дано выше, в разделе «Трубопроводы и их детали».

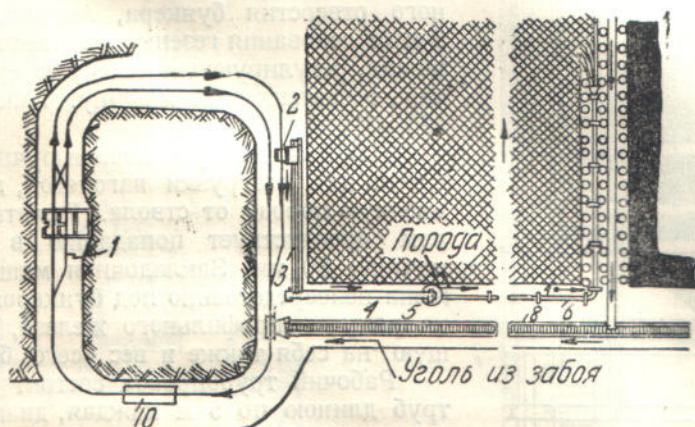
<sup>2</sup> «Glückauf», 1933, № 29, стр. 658.



по штреку, так и по забою. Вагонетки с породой, предназначенной для закладки, от подъема 1 подаются к опрокидывателю 2, где они разгружаются на 4-метровый качающийся конвейер 3, который перемещает материал к 12-метровой ленте 4. Лента переносит материал к бункеру закладочной машины, преодолев подъем около 4 м.

Закладочная машина 5 облегченного переносного типа двухкамерной системы Tokkret с автоматическим управлением<sup>1</sup> подает закладываемый материал в трубопровод 6. Трубопровод 6 расположен вдоль штрека с восстанием в 4° и поворачивает к месту закладки с падением в 3°.

Уголь из забоя перемещается резиновой лентой 7 с подъемом к штреку, где перегружается на стальной пластинчатый транспортер 8, которым и транспортируется к месту погрузки в вагонетки. Потеря высоты на самокатах компенсируется на подъемном столе 10.



Фиг. 599. Схема участка шахты Furst Hardenberg, применяющей пневматическую закладку:

- 1—подъем, 2—опрокидыватель, 3—качающийся конвейер, 4—породная лента, 5—закладочная машина, 6—трубопровод, 7—угольная лента, 8—пластинчатый транспортер, 9—погрузочная воронка, 10—подъемный стол.

Таким образом вагонетки совершают все время замкнутое круговое движение, причем подача ими породы к опрокидывателю не нарушает общего грузового потока.

Встречное движение закладываемого материала по трубопроводу 6 и угля по транспортерам 7 и 8 не препятствует нормальной эксплуатации забоя, так как оба потока вполне независимы.

Длина трубопровода в штреке около 180 м, в забое около 14 м, диаметр 150 мм.

Трубопровод в штреке состоит из отдельных цельнотянутых труб длиной по 5 м, соединенных фланцами. Трубы в забое имеют длину по 3 м каждая и в целях равномерного износа ежедневно поворачиваются на 45° относительно продольной оси, причем для ускорения сборки и разборки они соединяются с помощью особых клиновых захватов.

Колено, соединяющее прямолинейные участки трубопровода, выполнено со сменными пластинами из твердой литой стали, полученной путем электроплавки.

Закладочный материал, крупностью до 80 мм, состоит из 47% породы из отвала, 46% породы с мойки, 1% просеянной горной породы и 6% котельной золы.

Довольно высокое количество засасываемого воздуха — около 148 м<sup>3</sup> на 1 м<sup>3</sup> закладываемого материала — объясняется значительным содержанием глины в породе из отвала.

Часовая производительность машины при хорошем закладочном материале временно достигала 75 м<sup>3</sup>/час, при плохом глинистом материале — снижалась

<sup>1</sup> См. фиг. 519 и 520.



до 35—40 м<sup>3</sup>/час. Давление воздуха во время холостого хода 0,1—0,8 ат, во время подачи закладки 1,0—2,8 ат.

Закладочная машина обслуживается одним рабочим, двое заняты на перекладке трубопроводов и двое на опрокидывателе.

Стоимость пневматической закладки 155 пфеннигов на 1 м<sup>3</sup> закладки вместо 190 пфеннигов при ручной.

На шахте Prosper III<sup>1</sup> применяется для закладки выработанных пространств стационарная двухкамерная закладочная машина Torkret, по конструкции почти тождественная с машиной, изображенной на фиг. 518.

Для загрузки породы в машину использован в качестве бункера гезенк глубиной 35 м (фиг. 600), который для этой цели был обшит досками и старым листовым железом. У выходного отверстия бункера, лежащего на высоте 5 м от основания гезенка, устроена плоская задвижка, регулирующая подачу материала из бункера в закладочную машину. Емкость бункера 120 м<sup>3</sup>.

Над бункером установлен ручной опрокидыватель для разгрузки вагонеток, доставляющих мочечную породу от ствола. Решетка над бункером препятствует попаданию в него кусков крупнее 80 мм. Закладочная машина расположена непосредственно под бункером и опирается на раму из профильного железа, воспринимающую на себя также и вес всего бункера.

Рабочий трубопровод состоит из железных труб длиной по 5 м каждая, диаметром 150 мм в свету, при толщине стенки 5 мм. Общая длина рабочего трубопровода около 220 м. Рабочий трубопровод уложен строго по прямым линиям; на всем его протяжении имеется только одно колено в 90° в месте поворота от штрека к забою. Колено снабжено сменными пластинами.<sup>2</sup> В конце трубопровода присоединен резиновый подвижной мундштук, позволяющий изменять направление выбрасываемой струи закладываемого материала. На фиг. 601 изображен такой мундштук в работе.

Сжатый воздух подводится к закладочной машине воздухопроводом 5, присоединенным непосредственно к главному шахтному трубопроводу. Диаметр воздухопровода 130 мм.

Установка расходует в среднем около 100 м<sup>3</sup> засосанного воздуха на каждый кубический метр

закладочного материала, при давлении 1,2—1,5 ат. Производительность машины 25 м<sup>3</sup>/час закладочного материала.

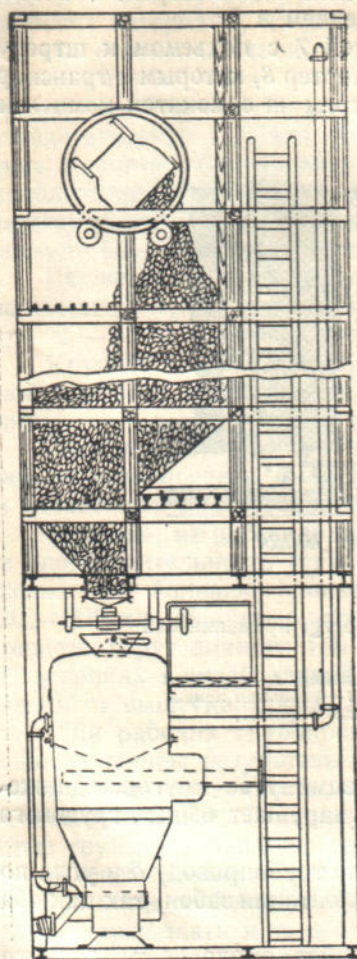
Стоимость пневматической закладки, включая и выплату фирме Torkret, не обходится дороже ручной закладки, стоимость которой в условиях шахты Prosper III исчисляется в 170 пфеннигов на 1 м<sup>3</sup>.

Введение пневматической закладки увеличило производительность угледобычи на 1 человеко-смену приблизительно на 30%.<sup>3</sup>

<sup>1</sup> «Glückauf», 1928, № 43, статья F. Kohde; русский перевод см. в «Горном журнале», 1929, № 6—7, стр. 932.

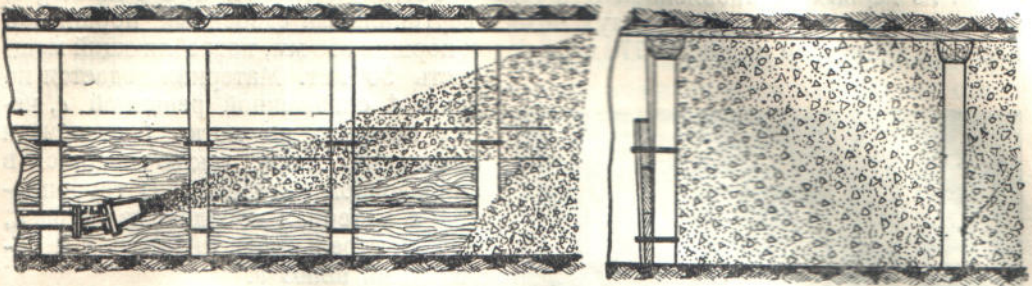
<sup>2</sup> Конструкцию колена см. на фиг. 450, соединение труб на фиг. 451.

<sup>3</sup> Подробнее см. «Горный журнал», 1929, № 6—7, стр. 913, 919 и 932; № 8—9, стр. 1208 (статья К. И. Горбачева и А. И. Гармаша).

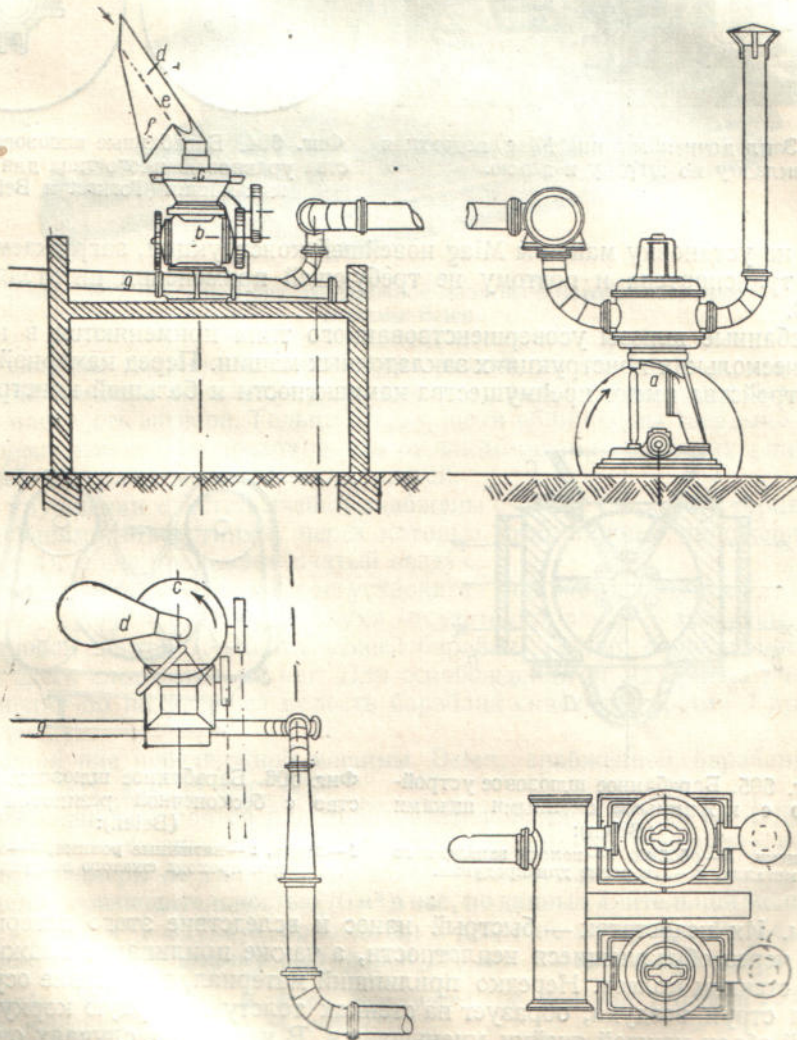


Фиг. 600. Использование гезенка в качестве бункера при закладочной машине.





Фиг. 601. Возведение закладки выработанного пространства.

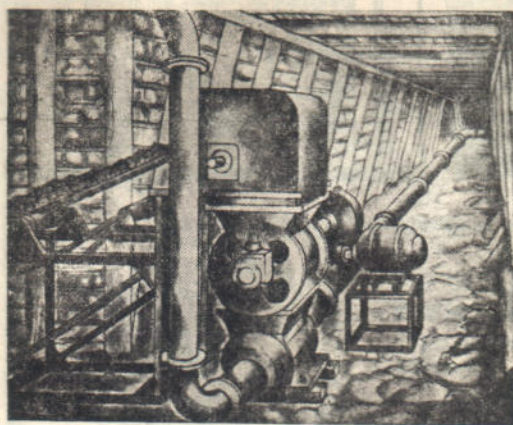


Фиг. 602. Установка закладочной машины типа Miag:

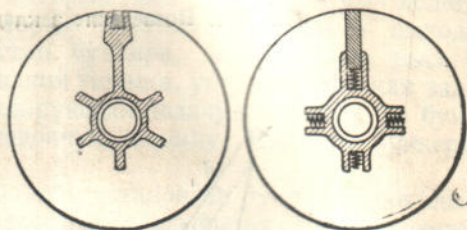
*a* — насос, *b* — барабанный шлюз, *c* — тарельчатый питатель, *d* — спускная труба,  
*e* — решетка, *ж* — лоток, *г* — рабочий трубопровод.



Схема закладочного устройства с машиной малых размеров системы Miag, одной из первых установленной на руднике Oberbayerische A. G. в Penzberg, видна на фиг. 602. Сжатый воздух подает вертикальный двоянный поршневой насос *a* с диаметром цилиндра 770 мм и ходом поршня 350 мм, потребляющий мощность 50 квт. Материал подается по трубе *d*, снабженной решеткой *e*, через которую по лотку *f* отводится глинистый шлам, заключающийся в закладочном материале. В трубопровод *d* материал попадает из трубы *d*, пройдя тарельчатый питатель *c* и барабанный шлюз *b*.



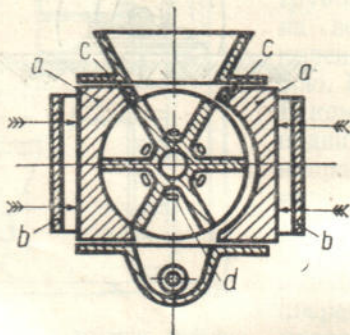
Фиг. 603. Закладочная машина Miag, подающая закладку по штреку и забою.



Фиг. 604. Барабанные шлюзовые устройства уравнивающего типа для закладочных машин (Torkret и Beien).

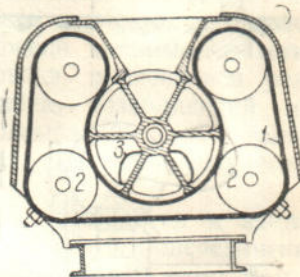
Вид на установку машины Miag новейшей конструкции, загружаемой с ленточного транспортера и поэтому не требующей применения питателя, дан на фиг. 603.

Барабанные шлюзы усовершенствованного типа применяются в настоящее время в нескольких конструкциях закладочных машин. Перед камерной системой такие устройства имеют преимущества компактности и большой конструктивной



Фиг. 605. Барабанное шлюзовое устройство с нажимными сменными щеками (Beien):

*a*—щеки, *b*—обойма, *c*—полосы закаленного металла, *d*—отверстие для продувки.



Фиг. 606. Барабанное шлюзовое устройство с бесконечной резиновой лентой (Beien):

*1*—лента, *2*—натяжные ролики, *3*—отверстие для прохода сжатого воздуха.

простоты. Их недостаток — быстрый износ и вследствие этого потери сжатого воздуха через образующиеся неплотности, а также прилипание влажного материала к стенкам колеса. Нередко прилипший материал, вследствие осушающего действия струи воздуха, образует на стенках толстую твердую корку, так что полезный объем каждой ячейки уменьшается. В некоторых случаях он сводится до нуля, так что подача материала через шлюз вовсе прекращается. Практическая пропускная способность барабанных шлюзов обычного типа до необходимости полной замены их — 8—12 тыс. м<sup>3</sup> закладки.

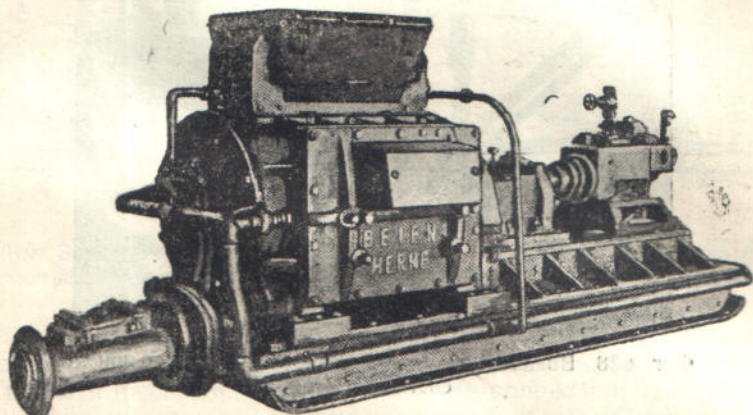
Имеется несколько способов борьбы с последствиями износа и забивания ячеек. На фиг. 604 показаны два типа усовершенствованных шлюзов. Оба они



основаны на том принципе, что кожух шлюза сделан из очень твердого, мало истирающегося материала, а трущиеся части стенок, колеса, напротив, из более мягкого.

В конструкции слева (Torkret) в края стенок вделаны сменные планки, выполненные из более мягкого металла, в конструкции справа (Miag, тип Wiener) стенки прижимаются к кожуху с помощью заложённых в пазы колеса пружин. Чтобы эти стенки не выпали при проходе под верхним и над нижним отверстием кожуха, они изнутри на торцевых стенках кожуха удерживаются невысокими кольцевыми приливами.<sup>1</sup>

Особого внимания заслуживает усовершенствованный затвор Beien (фиг. 605). В нем, в противоположность предыдущим типам, колесо выполнено из очень твердого металла, а щеки кожуха, напротив, из мягкого, легко истирающегося.



Фиг. 607. Внешний вид закладочной машины с барабанным шлюзом системы Beien.

Щеки *a* сделаны подвижными в охватывающей их обойме *b* и прижимаются к колесу нажимными винтами; при износе они прирабатываются к колесу и сохраняют плотность затвора. Только сверху щеки облицованы твердыми полосами *c*, имеющими назначение предохранять от заклинивания могущих попасть в закладочный материал металлических частей.

Для улучшения очистки ячейки снабжены с обеих сторон на торцевых стенках небольшими отверстиями, через которые, при нижнем положении ячейки (отверстие *d*), в нее проникает сжатый воздух.

Весьма своеобразно шлюзовое устройство той же фирмы (фиг. 606), в котором цилиндрические стенки кожуха отсутствуют вовсе и заменены бесконечной резиновой лентой *1*, охватывающей барабан. Трения скольжения барабана о стенки здесь следовательно нет. Для освобождения от материала ячеек, когда они проходят по низу, через полость барабана сквозь отверстие *3* продувается сжатый воздух.

Внешний вид передвижной машины Beien, снабженной барабанным шлюзом по фиг. 605, дан на фиг. 607.

Такие машины строятся для производительности в 25, 35, 60 и 70 м<sup>3</sup> в час. Для удобства перемещения по штреку таким машинам придаются поперечные габаритные размеры по габариту рудничной вагонетки.

Машина производительностью 70 м<sup>3</sup> в час, по данным длительной эксплуатации, расходует 94 м<sup>3</sup>/м<sup>3</sup> воздуха и приводится в действие мотором в 16 л.с. При этом путь перемещения по штреку был равен 210 м и по забою 220 м.<sup>2</sup>

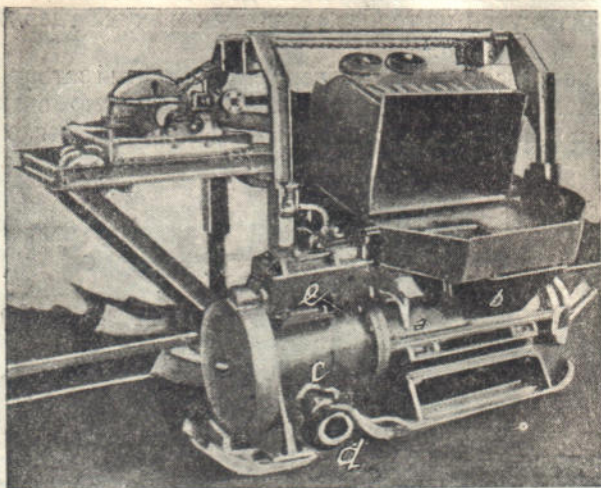
<sup>1</sup> Подробнее об этом см. K. Bax, Neuerungen im Bau von Zellenrad — Blasversatzmaschinen, «Glückauf», 1933, № 34, стр. 777.

<sup>2</sup> «Fördertechnik u. Frachtverkehr», 1934, № 7, 8, стр. 96.

Подробные эксплуатационные данные о разного типа германских машинах см. в том же журнале за 1933 г., № 3, 4, стр. 38; см. также «Kohle und Erz», 1931, № 8, 9 и 10, стр. 190, 223 и 259. Сведения об опытах по применению у нас в Кузнецком бассейне см. «Уголь Востока», 1933, № 11—12, и 1935, № 1, стр. 10. См. также «Системы разработки мощных каменноугольных пластов», 1935, в обработке инж. М. С. Стрелова.

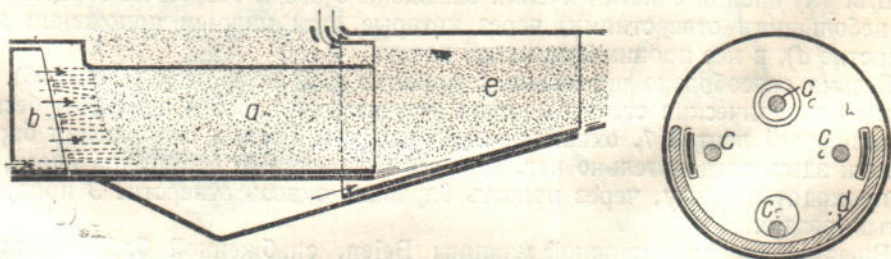


Внешний вид закладочной машины системы König (см. выше), передвигаемой вслед за забоем по штреку, дан на фиг. 608. Машина сделана заодно со станиной, на которой монтирован опрокидыватель для вагонеток, откатываемых по штрековым рельсовым путям. Основной частью машины является 300-миллиметровая закрытая с обеих сторон труба *a*, у одного из концов которой имеется



Фиг. 608. Внешний вид закладочной машины со шнеком системы König.

отверстие *b* для пропуска сыпаемого из вагонетки закладочного материала, крупность которого может быть до 80 мм. С другой стороны трубы, в кожухе *c*, имеется сопло для сжатого воздуха и патрубков *d*, служащий для приключения рабочего трубопровода, проложенного вдоль забоя и потому расположенного осью поперек продольной оси трубы. Материал к соплу подводится укрепленным в трубе шнеком, приводимым в действие от воздушного мотора *e*. Общий вес машины 1850 кг. Для удобства передвижения она, как и некоторые другие, раньше рассмотренные типы, установлена на салазках.<sup>1</sup>



Фиг. 609. Конструкция закладочного устройства, применяемого в забое, системы Palisa.

Из пневматических устройств для возведения закладки, применяемых в забое, большое распространение получила машина системы Palisa, изготавливаемая в Германии фирмой Frölich und Klüpfel и в Англии — фирмой Месо. Действие машины основано на принципе метания. Выбрасываемый струей воздуха с большой скоростью материал попадает в выработанное пространство, совершая свободный полет в воздухе.<sup>2</sup>

Конструкция и способ действия ее видны на фиг. 609. Закладочный материал, подаваемый в забой ленточным или качающимся конвейером, сыпается в жо-

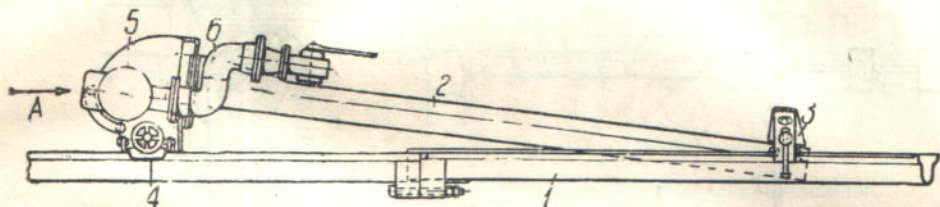
<sup>1</sup> Подробнее см. «Glücksauf», 1930, № 23, стр. 763.

<sup>2</sup> Аналогичные механические устройства см. «Конвейерные установки» ч. I, 2-ое изд., фиг. 547—552.



лоб *a*. С одной стороны жолоба укреплена камера *b*, через которую происходит вдувание сжатого воздуха, а с другой — сопло *e*. Отверстий *c*, через которые из камеры *b* проходит сжатый воздух, имеется четыре, кроме того через нижнее полукольцевое отверстие *d* и сверху над соплом засасывается извне воздух, образующий у стенок сопла как бы воздушную подушку.

Для промежуточной разгрузки закладочного материала с ленточного транспортера служит передвижная двухбарабанная разгрузочная тележка специального пониженного типа.<sup>1</sup> Для промежуточной разгрузки качающегося конвейера над ним укрепляется передвижное звено 2 (фиг. 610),<sup>2</sup> на котором материал поднимается над основным рештаком на высоту, достаточную для засыпки в приемный жолоб. Ссыпавшийся материал «налегу» подхватывается воздушной струей



Фиг. 610. Закладочное забойное устройство на качающемся конвейере (Месо):  
1—основной рештак, 2—передвижное звено, 3, 4—зажимы, 5—смесительная камера,  
6—трубопровод для подвода сжатого воздуха,

и в смесительной камере меняет направление движения на 90°. При этом давление воздушной струи дает направленную вверх составляющую, уравнивающую силу тяжести падающих частиц. В рабочем положении закладочное устройство вместе с вспомогательным звеном крепится с обоих концов на рештаке с помощью зажимов 3—4 и совершает заодно с ним рабочее качательное движение.

Удельный расход воздуха на таком устройстве, по литературным данным, составляет 15 м<sup>3</sup>/м<sup>3</sup> для золы, 30 м<sup>3</sup>/м<sup>3</sup> для горной породы и 40 м<sup>3</sup>/м<sup>3</sup> для глинистой закладки. По некоторым более поздним данным достигнуто значительное снижение этих цифр. Рабочее давление воздуха принимается 6 ат.

#### б) Подземная доставка угля

Подземная доставка угля от забоя к штреку нашла применение на некоторых рудниках в Англии.

Предпосылками для применения этого вообще дорогого способа доставки являются: 1) не слишком высокая влажность угля, 2) отсутствие в добытом угле крупных кусков, 3) незначительная деградация угля по ценности вследствие истирания.

Кроме того считается, что пневматический транспорт от забоя пока оправдывает себя экономически только в тех случаях, когда применение механических средств доставки затруднено или даже практически невозможно вследствие малой мощности пластов (или наличия сбросов) и когда уголь этих пластов представляет повышенную ценность, например используется на химические нужды или для коксования.

Достоинства пневматической доставки от забоя заключаются в простоте оборудования в самом забое (трубопровод и всасывающая насадка), удобстве наращивания и укорачивания трубопровода, малых поперечных размерах трубопровода, безопасности работы, усиленной вентиляции забоя вследствие интенсивного воздухообмена, отсутствия пылеобразования по пути следования угля.

Схема всасывающей пневматической установки по системе Kirby на английском руднике Browburn видна на фиг. 611. По проложенному от забоя трубопро-

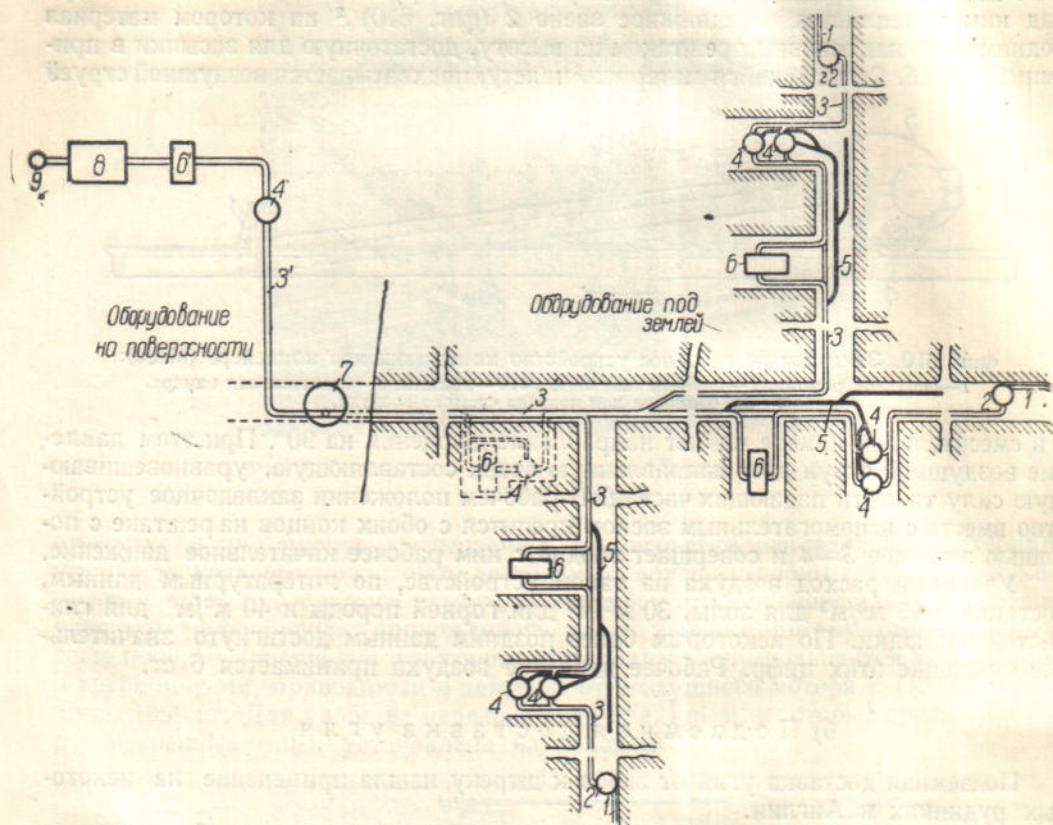
<sup>1</sup> См. «Конвейерные установки» ч. I, 2-ое издание, фиг. 549.

<sup>2</sup> W. I. Charlston, Pneumatic stowage in Lankashire, «Colliery Engineering», ноябрь 1932, стр. 385.



воду 1 уголь поступает в установленный на штреке отделитель 2. Воздух по трубе 3 отсасывается к пылеотделителю 4, к этому же пылеотделителю приключены трубопроводы 5, по которым происходит отсасывание пыли из штрека. Насосы 6 установлены в специальных насосных камерах. На руднике Browburn работают пять оборудованных таким способом участков.

После пылеотделителей воздух может быть введен в общую систему рудничной вентиляции или по специальному трубопроводу и шахте 7 отсосом на поверхность, где пыль осаждается в пылеотделителе 4' и пылесадочной камере 8.



Фиг. 611. Схема участков рудника, оборудованных пневматической доставкой угля:

1 — рабочий трубопровод, 2 — отделитель угля, 3 — трубопровод для воздуха с пылью, 4 — пылеотделитель, 5 — трубопровод для отсасывания пыли из штреков, 6 — насосы, 7 — ствол шахты, 8 — пылесадочная камера, 9 — увлажнитель.

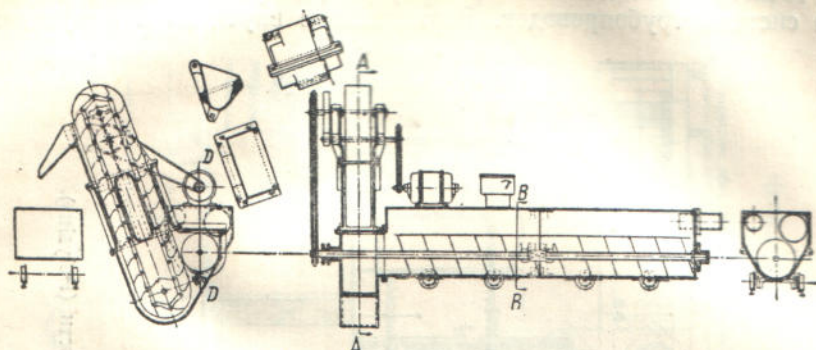
Диаметр рабочего трубопровода принят в 12 см, отдельные трубы соединяются между собой весьма компактными резиновыми муфтами. Коническая труба заканчивается плоской чашеобразной насадкой, к которой забойщик подгребаёт отбитый уголь.

Циклонный отделитель угля укрепляется на поперечных балках в штреке на такой высоте, чтобы под его нижним отверстием могла проходить рудничная вагонетка, наполняемая в этом месте углем. В дальнейшем, чтобы избежать связанного с этим расширения выработки, был сконструирован углеотделитель на колесном ходу, представляющий сочетание с вагонопогрузочной машиной (фиг. 612). камерой отделителя служит увеличенный в поперечном сечении кожух над горизонтальным шнеком, подгребающим выпавший из струи уголь к короткому ковшевому элеватору. Пылеотделитель применен механической системы «Whirliging», описанной выше (см. фиг. 490).

Поршневые насосы имеют на поршнях только по одному уплотняющему кольцу. Они вовсе не нуждаются в подведении смазки, так как угольная пыль сама по себе оказалась отличным смазывающим средством.



Производительность каждой установки 700 т в сутки (три смены); наибольшая длина транспортирования — 200 м, расход мощности, включая погрузочную машину — 7 квт-ч на тонну добытого угля. С применением пневматического транспорта на названном руднике, мощность пластов которого составляет всего



Фиг. 612. Углеотделитель в сочетании с вагонопогрузочной машиной.

около 60 см, не только уменьшилась себестоимость угля, но и значительно повысилась добыча.<sup>1</sup>

### 9. ПНЕВМАТИЧЕСКОЕ ПЕРЕМЕЩЕНИЕ ЖИДКОСТЕЙ

Сжатый воздух с успехом перемещает по трубам вязкие жидкости и гидро-смеси с твердыми частицами в тех случаях, когда перекачивание этих жидкостей непосредственно гидронасосом не дает благоприятных результатов. К таким жидкостям относятся: цементный раствор, жидкий бетон, всякого рода шламы из отстойных бассейнов, смесь воды с котельной золой, с металлургическими шлаками, вязкие химические растворы, а также сильно кислотные и щелочные растворы. Главный недостаток перемещения таких жидкостей насосом состоит в неполадках, вызываемых засорением, быстрым износом или разведением насоса.

Для перемещения жидкостей сжатым воздухом применяются два резко различающихся способа: по принципу статического давления, когда столб жидкости движется по трубам наподобие поршня под действием разности давлений по одну и по другую сторону от него, и по принципу, идентичному или более близкому пневматическому транспорту сыпучих материалов, когда воздух образует с жидкостью или гидромассой жидкостно-воздушную смесь и в таком виде движется по трубам.

К первому способу относится например примененный на стройках способ перемещения бетона от бетономешалок к месту укладки (система Ransome). При этом замес из бетономешалки выливается в герметически закрываемую камеру и под действием сжатого воздуха, подведенного к камере, выбрасывается с большой скоростью «выстрелом», по трубам. После этого возобновляются зарядка камеры новой порцией и перемещение ее по трубам. Недостаток этого способа в применении к бетону, помимо прерывности действия и большого расхода энергии, состоит еще в том, что, вследствие очень быстрого движения по трубам, бетон теряет однородность смеси.

Поэтому в строительном деле способ Ransom'a сохраняет значение только для нагнетания цементного раствора.<sup>2</sup>

Большим усовершенствованием этого способа явилось применение двухкамерного автоматического аппарата (Doppel-Pressor-Anlage) системы Polysius. Он годен для всякого рода шламовых жидкостей, в том числе относительно

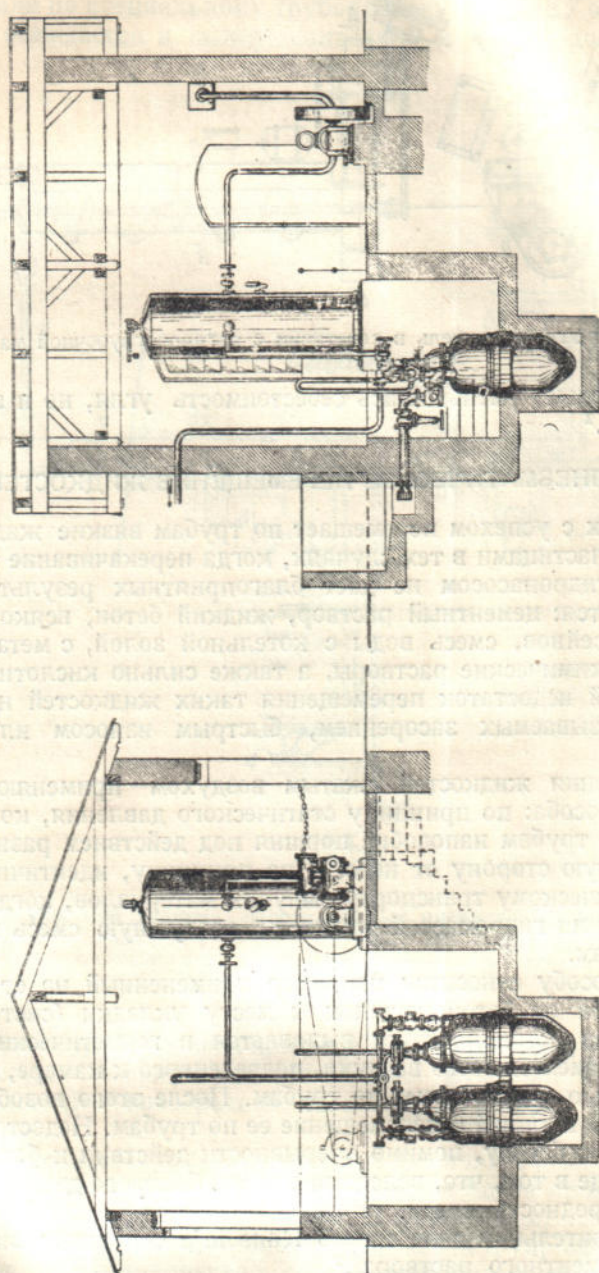
<sup>1</sup> См. T. C. Futers, The Kirby-System of underground coal conveying, «The Colliery Guardian» от 14/III 1930, см. также «Coal and Iron» от 4/XI 1927, «Fördertechnik u. Frachtverkehr», 1932, № 15/16, стр. 178; «Colliery Engineering», 1932.

<sup>2</sup> См. «Промышленный транспорт», 1930, № 9, стр. 28.



густых, горячих и пр., и применяется для транспортирования шлама из отстойных бассейнов, на углемойках, на химических, цементных, сахарных заводах и пр.

Схема такой установки видна на фиг. 613.<sup>1</sup> Она состоит из компрессора, промежуточного уравнивающего резервуара (воздухосборника), двух рабочих камер и системы трубопроводов. Вертикальные впускная и выпускная трубы



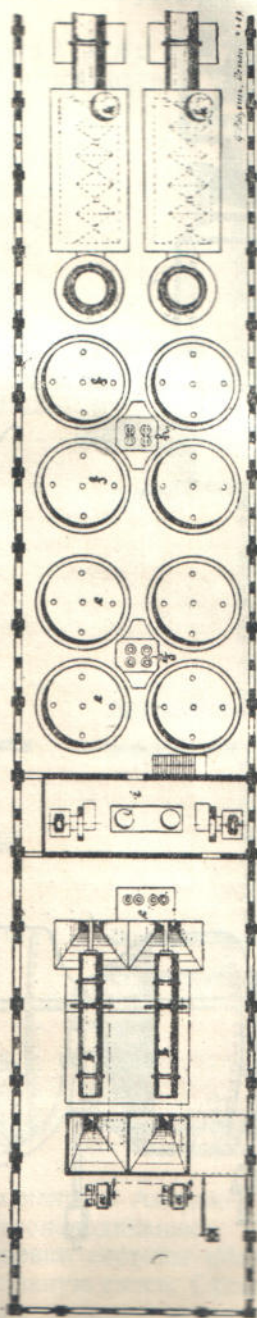
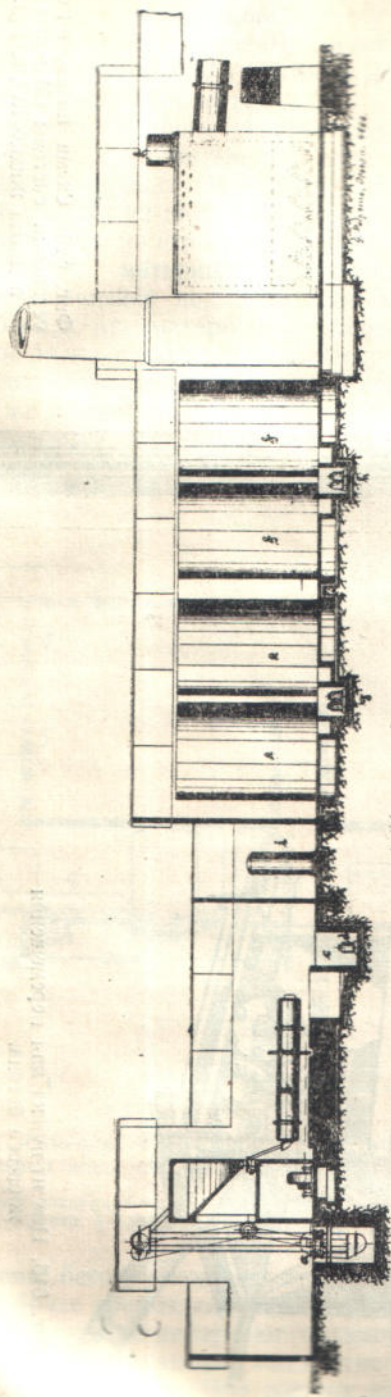
Фиг. 613. Двухкамерная нагнетательная установка для шламовой жидкости (Polysius).

доходят в камеру до самого дна, которое сделано, для опоражнивания без остатка, оттянутой книзу воронкообразной формы. Камеры снабжены автоматическим управлением вентилями, когда одна из них наполняется из соседнего резервуара, другая гонит жидкость по рабочему трубопроводу.

Пример применения такой установки в системе шламового хозяйства цементного завода дает фиг. 614.

<sup>1</sup> «Fördertechnik u. Frachtverkehr», 1934, № 11,12, стр. 143.

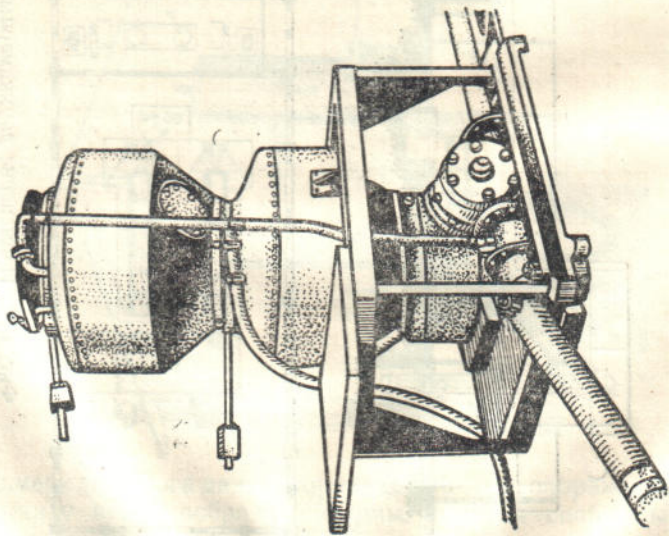




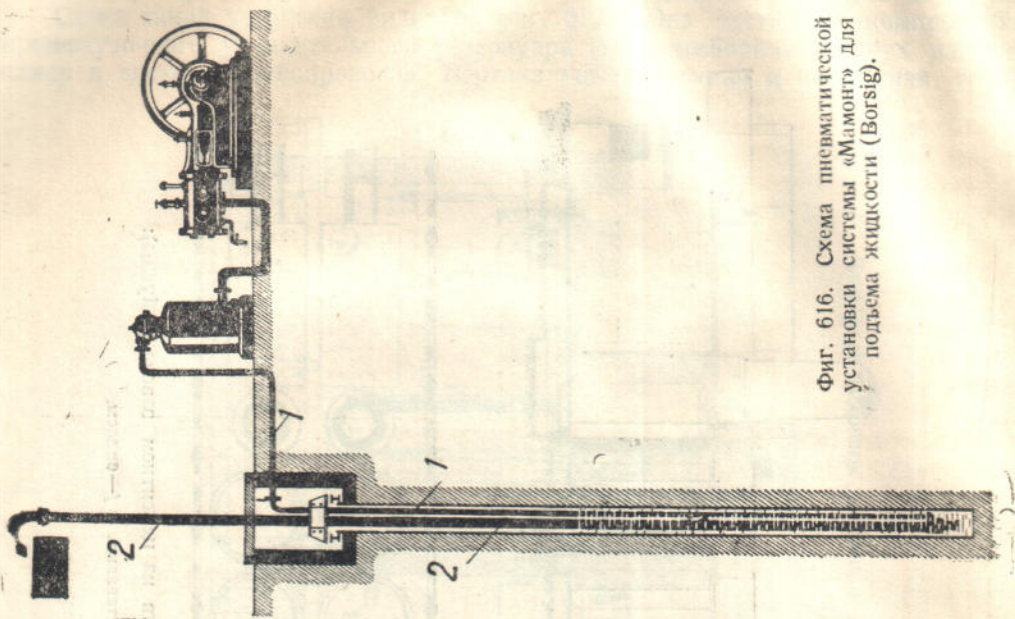
Фиг. 614. Применение двухкамерных нагнетательных устройств на цементном заводе (Polysius):

а — дробилки, б — мельницы, с, г, и — двухкамерные установки, е, ф — силосы.





Фиг. 615. Цемяг-пушка для перемещения  
жидкого бетона.



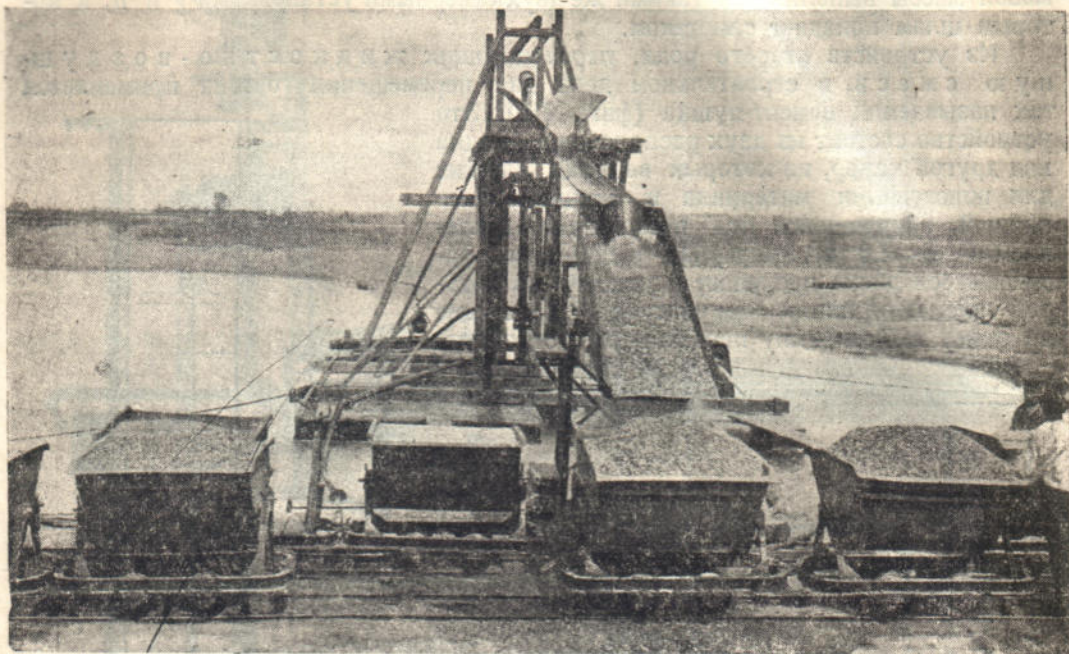
Фиг. 616. Схема пневматической  
установки системы «Мамонт» для  
подъема жидкости (Botsig).







сообщающихся сосудов увлекает жидкость из колодца. Чем больше сопротивление движению смеси, тем больше должно быть относительное количество воздуха. По фирменным данным, высота подъема на такой установке достигает 600 м. При высоких и имеющих большую протяженность в горизонтальном направлении трубопроводах применяется промежуточная подача сжатого воздуха.



Фиг. 619. Подача с помощью пневматической установки гальки со дна озера (Borsig).

На фиг. 617 и 618 представлены схемы двух установок применительно к горному делу: первая для подъема из рудника химически едкой воды, вторая для откачки воды, собирающейся в зумпфе вертикальной шахты. На фиг. 619 дан снимок установки, с помощью которой со дна озера глубиной в 8 м извлекается гидросмесь, содержащая мелкую гальку. Средняя производительность установки — 15 м<sup>3</sup> гальки в час.

Аналогичные устройства применяются при гидравлической золоуборке, в шламовом хозяйстве, на цементных и сахарных заводах.<sup>1</sup>

## § 5. ПРИМЕРЫ РАСЧЕТОВ

**Пример 1.** Произвести расчет пневматической установки для транспортирования закладочного материала в количестве  $Q_m = 70$  т/час. В качестве закладочного материала служит пустая порода с удельным весом  $\gamma_k = 2$  т/м<sup>3</sup>, крупностью 80 мм в поперечнике и насыпным весом  $\gamma = 1,6$  т/м<sup>3</sup>, так что обычная производительность  $V \cong 43,5$  м<sup>3</sup>/час.

Трубопровод состоит из двух взаимно перпендикулярных прямолинейных участков *A* и *B* (фиг. 620) длиной  $l_a = 200$  м и  $l_b = 170$  м. Участок *A* горизонтален, участок *B* имеет подъем в 10° по направлению движения струи. По системе — установка нагнетательного типа.

Принимаем диаметр рабочего трубопровода постоянным по всей длине и равным

$$D = 0,175 \text{ м.}$$

<sup>1</sup> Подробнее см. «Mechanical Handling», 1934, № 2, стр. 38. «Fördertechnik und Frachtverkehr», 1934, № 17/18 и 19/20, стр. 202 и 222; Таггарт, Справочник по обогащению полезных ископаемых, 1934, IV, стр. 127.



Выбранное значение диаметра является приемлемым для установки с часовой производительностью закладки в  $43,5 \text{ м}^3$  как по величине удельного расхода воздуха, так и с точки зрения надежности и безопасности эксплуатации.

Скорость воздуха при выходе из рабочего трубопровода принимаем равной

$$v_l = 55 \text{ м/сек.}$$

Динамический напор (по уравнению 314)

$$p_{\bar{o}}' = \frac{\gamma_l v_l^2}{2 \cdot g} = \frac{1,22 \cdot 55^2}{2 \cdot 9,81} = 188 \text{ кг/м}^2.$$

Давление воздуха в конце рабочего трубопровода равно сумме давлений наружного воздуха и динамического напора

$$p_{e'} = p_{at} + p_o = 10000 + 188 = 10188 \text{ кг/м}^2.$$

Удельный вес воздуха в конце рабочего трубопровода

$$\gamma_l' = \frac{\gamma_{at} \cdot p_{e'}}{p_{at}} = \frac{1,2 \cdot 10188}{10000} = 1,22 \text{ кг/м}^2,$$

то-есть то же значение, которое принималось нами при вычислении скоростного напора.<sup>1</sup>

Количество воздуха, протекающего через трубопровод в 1 час:

$$Q_l = v_l F \gamma_l' \cdot 3600 = 55 \cdot 0,024 \cdot 1,22 \cdot 3600 = 5800 \text{ кг/час,}$$

Фиг. 620. Схема установки для углеподачи (к численному примеру 1).

где  $F = 0,024 \text{ м}^2$  — площадь поперечного сечения трубопровода в свету.

Коэффициент смеси

$$\mu = \frac{Q_m}{Q_l} = \frac{70000}{5800} = 12,1.$$

Падение давления на участке  $B$  обусловлено как подъемом материала и воздуха благодаря наклону участка, так и различного рода сопротивлениями, которые испытывает поток при движении по трубопроводу. Полное падение давления на участке  $B$  (см. уравнения 298 и 302)

$$\Delta p = (1 + \mu) \gamma_l \cdot H + (1 + \mu \operatorname{tg} \alpha) \frac{\lambda Q_l^2}{2gD\gamma_l F^2 3600^2} \cdot l_b,$$

здесь  $H$  — разность высот концов участка  $B$ ; в данном случае  $H = l_b \sin 10^\circ = 170 \cdot 0,174 = 29,6 \text{ м}$ ,

$\lambda$  — коэффициент сопротивления.

Согласно уравнению (275)

$$\lambda = 0,02745 \left( \frac{d}{G_l} \right)^{0,22} = 0,02745 \left( \frac{175}{5800} \right)^{0,22} = 0,0127.$$

Тангенс угла наклона прямой удельного падения давления принимаем равным:

$$\operatorname{tg} \alpha = 0,4.$$

При этом:

$$\begin{aligned} \Delta p &= (1 + 12,1) 29,6 \gamma_l + (1 + 12,1 \cdot 0,4) 0,0127 \cdot \frac{5800^2}{2 \cdot 9,81 \cdot 0,175 \cdot (0,024)^2 3600^2} \times \\ &\times \frac{l_b}{\gamma_l} = 388 \gamma_l + 97,3 \frac{l_b}{\gamma_l}. \end{aligned} \quad (505)$$

<sup>1</sup>  $\gamma_{at}$  — уд. вес наружного воздуха принят равным 1,2 согласно «Нормам испытания вентиляторов и компрессоров», Харьков, 1932.



Если принять в качестве первого приближения удельный вес воздуха на всем участке  $B$  равным удельному весу в конце его

$$\gamma_l = 1,22 \text{ кг/м}^3,$$

то падение давления на участке  $B$  будет:

$$\Delta p = 388 \cdot 1,22 + 97,3 \frac{170}{1,22} = 474 + 13\,550 \cong 14\,000 \text{ кг/м}^2,$$

а давление в начале участка  $B$  возле закругления

$$p_a'' = p_a' + \Delta p = 10\,188 + 14\,000 \cong 24\,200 \text{ кг/м}^2.$$

Этому давлению соответствует удельный вес воздуха

$$\gamma_l'' = \frac{1,2 \cdot 24\,200}{10\,000} = 2,9 \text{ кг/м}^3.$$

Если принять удельный вес воздуха на всем участке  $B$  равным удельному весу в начале его  $\gamma_l = 2,9$ , то падение давления на участке  $B$  было бы:

$$\Delta p = 388 \cdot 2,9 + 97,3 \frac{170}{2,9} = 1135 + 5700 = 6835 \text{ кг/м}^2.$$

В среднем падение давления на участке  $B$ :

$$\Delta p_{\text{ср}} = \frac{14\,000 + 6835}{2} = 10\,400 \text{ кг/м}^2.$$

Давление же воздуха в начале участка  $B$  (возле закругления)

$$p_a = 10\,188 + 10\,400 \cong 20\,600 \text{ кг/м}^2.$$

Этому давлению соответствуют:  
удельный вес

$$\gamma_l = \frac{1,2 \cdot 20\,600}{10\,000} = 2,47 \text{ кг/м}^3$$

и скорость воздуха

$$v_l = \frac{G_l}{\gamma_l F} = \frac{5800}{2,47 \cdot 0,024 \cdot 3600} = 27,1 \text{ м/сек.}$$

Падение давления в закруглении (уравнение 310)

$$\Delta p_k = 0,76 (1 + 0,64 \mu) \frac{\gamma_l v_l^2}{2g} = 0,76 (1 + 0,64 \cdot 12,1) \frac{2,47 \cdot (27,1)^2}{2 \cdot 9,81} = 615 \text{ кг/м}^2.$$

Закругление выбрано нормальное с радиусом закругления равным (по уравнению 467):

$$R = \frac{r \cos \frac{90}{2x}}{1 - \cos \frac{90}{2x}} = \frac{0,175 \cos \frac{90}{2 \cdot 2}}{2 \left(1 - \cos \frac{90}{2 \cdot 2}\right)} = 1,05 \text{ м,}$$

$x$  — принято равным 2.

Давление воздуха в конце участка  $A$  (возле закругления)

$$p_a' = p_a + \Delta p_k = 20\,600 + 615 \cong 21\,200 \text{ кг/м}^2.$$

Этому давлению соответствует удельный вес воздуха

$$\gamma_l' = \frac{1,2 \cdot 21\,200}{10\,000} = 2,54 \text{ кг/м}^3.$$

Если принять удельный вес воздуха постоянным по всей длине участка  $A$  и равным удельному весу в его конце

$$\gamma_l = 2,54 \text{ кг/м}^3,$$



то падение давления на всем участке  $A$  было бы (см. уравнение 505)

$$\Delta p_a = 97,3 \frac{l_a}{\gamma_l} = 97,3 \frac{200}{2,54} = 7650 \text{ кг/м}^2.$$

В уравнении (505) первый член принят равным нулю, так как участок  $A$  горизонтален и следовательно  $H = 0$ .

Давление воздуха в начале участка  $A$  при этом было бы:

$$p_a'' = p_a' + \Delta p_a = 21\,200 + 7650 \approx 28\,900 \text{ кг/м}^2,$$

этому давлению соответствует удельный вес

$$\gamma_l'' = \frac{1,2 \cdot 28\,900}{10\,000} = 3,47 \text{ кг/м}^3.$$

Если же принять удельный вес воздуха по всей длине участка  $A$  равным удельному весу в его начале,

$$\gamma_l = 3,47 \text{ кг/м}^3,$$

то падение давления было бы:

$$\Delta p_a = 97,3 \frac{200}{3,47} = 5600 \text{ кг/м}^2.$$

В среднем падение давления на участке  $A$

$$\Delta p_{cp} = \frac{7650 + 5600}{2} \approx 6630 \text{ кг/м}^2.$$

Давление же воздуха в начале участка  $A$  (возле закладочной машины)

$$p_a = p_a' + \Delta p_{cp} = 21\,200 + 6630 \approx 27\,800 \text{ кг/м}^2.$$

Действительное давление в начале участка  $A$  выше только что полученного, так как нами еще не учтено падение давления воздуха вследствие затраты энергии на сообщение материалу соответствующей скорости.

Это падение давления происходит на всем пути перемещения материала, однако наиболее интенсивно в начале движения, поэтому условно мы его и отнесем к началу участка  $A$ .

Согласно уравнению (317)

$$p''_0 = \frac{G_m v_k^2}{2gFv_l \cdot 3600}.$$

Принимаем скорость кусков  $v_k \approx 0,8 v_l$ ,

тогда:

$$p''_0 = \frac{70\,000 \cdot (0,8 \cdot 55)^2}{2 \cdot 9,81 \cdot 0,024 \cdot 55 \cdot 3600} = 1450 \text{ кг/м}^2.$$

Таким образом полное давление воздуха в начале участка  $A$  (возле закладочной машины):

$$p_a = 27\,800 + 1450 \approx 29\,200 \text{ кг/м}^2.$$

Удельный вес воздуха в начале участка

$$\gamma_l = \frac{1,2 \cdot 29\,200}{10\,000} = 3,5 \text{ кг/м}^3.$$

Скорость воздуха в начале участка  $A$ :

$$v_l = \frac{5800}{3,5 \cdot 0,024 \cdot 3600} = 19,2 \text{ м/сек.}$$

Произведем проверку, достаточна ли полученная величина скорости воздуха



для обеспечения нормального перемещения материала, для чего определим скорость парения (уравнение 330):

$$v_s = 0,6 \sqrt{28,4 \frac{\gamma_k}{\gamma_l} D_k};$$

наибольший размер куска  $D_k = 0,080$  м,

удельный вес материала  $\gamma_k = 2000$  кг/м<sup>3</sup>,

удельный вес воздуха  $\gamma_l = 3,5$  кг/м<sup>3</sup>,

тогда

$$v_s = 0,6 \sqrt{28,4 \frac{2000}{3,5} 0,080} = 21,7 \text{ м/сек.}$$

Таким образом в начале трубопровода скорость воздуха лишь немного меньше скорости парения  $v_s$ . А так как скорость воздуха увеличивается по мере перемещения потока к месту закладки, достигая например в начале участка В значения  $v_l = 27,1$  м/сек при скорости парения

$$v_s = 0,6 \sqrt{28,4 \frac{2000}{2,47} 0,080} = 25,8 \text{ м/сек,}$$

а в конце участка В значения  $v_l = 55$  м/сек при

$$v_s = 0,6 \sqrt{28,4 \frac{2000}{1,22} 0,080} = 36,6 \text{ м/сек,}$$

последовательно на всем пути перемещения материала скорость воздуха  $v_l$  больше или равна скорости парения  $v_s$  и только в самом начале трубопровода она немного меньше  $v_s$ ; это служит гарантией надежной эксплуатации установки.

Количество воздуха, которое должен подавать компрессор, учитывая потери воздуха через неплотности (10%):

$$V_l = \frac{1,1 G_l}{\gamma_{at}} = \frac{1,1 \cdot 5800}{1,2} = 5310 \text{ м}^3/\text{час.}$$

Принимая коэффициент полезного действия компрессорной установки  $\eta = 0,7$ , находим мощность транспортной установки, без учета закладочной машины (уравнение 322):

$$N = \frac{(p_a - 10\,000) V_l}{3600 \cdot 75 \eta} = \frac{(29\,200 - 10\,000) 5310}{3600 \cdot 75 \cdot 0,7} = 540 \text{ л. с.}$$

Расход энергии на тонну перемещаемого материала

$$n = \frac{N}{G_m} = \frac{540}{70} = 7,7 \text{ л.с./т в час.}$$

Коэффициент тяги

$$w = \frac{270 N}{G_m l} = \frac{H}{l} = \frac{270 \cdot 540}{70 \cdot 370} = \frac{29,6}{370} = 5,63 - 0,08 = 5,55.$$

Пример 2. Произвести расчет мощности нагнетательной пневматической установки для транспортирования угольной пыли от пылеприготовительного отделения к бункерам котельной. Производительность установки  $Q_m = 50$  т/час. Влажность угля незначительна. Схема трубопровода показана на фиг. 621. Одновременно уголь подается к бункеру только одного котла. Наибольший путь транспортирования 102 м.

Разбиваем трубопровод на участки:

I —  $l_1 = 8$  м — горизонтальный,

II —  $l_2 = 20$  м — горизонтальный,

III —  $l_3 = 14$  м — вертикальный,

IV —  $l_4 = 60$  м — горизонтальный.

<sup>1</sup> См. «Пневматические установки» ч. I, 2-ое изд., стр. 23, уравнение 11'.



Принимаем диаметр рабочего трубопровода постоянным по всей длине:

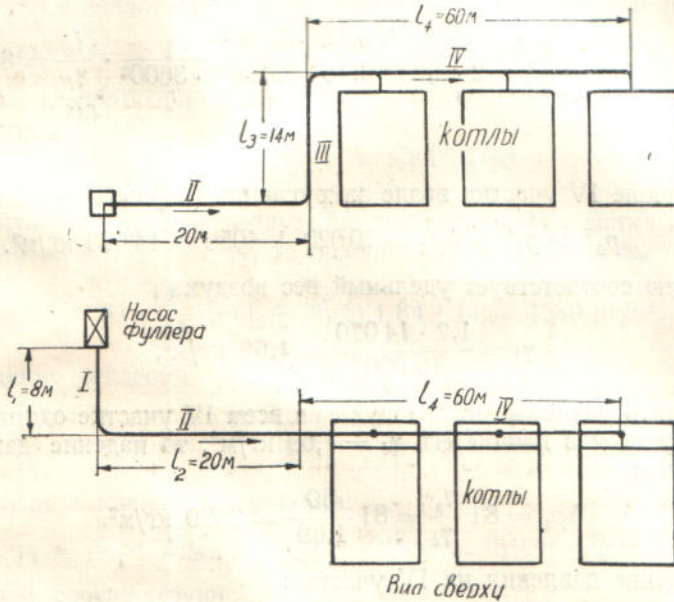
$$D = 0,15 \text{ м.}$$

Скорость воздуха в конце IV участка при выходе из рабочего трубопровода принимаем равной:

$$v_l = 18 \text{ м/сек.}$$

Динамический напор по уравнению (314):

$$p_0' = \frac{\gamma_l v_l^2}{2g} = \frac{1,20 \cdot 18^2}{2 \cdot 9,81} = 19,1 \text{ кг/м}^2.$$



Фиг. 621. Схема установки для подачи к котлам угольной пыли (к численному примеру 2).

Давление воздуха в конце IV участка:

$$p_4' = p_{at} + p_0' = 10000 + 19,1 \approx 10020 \text{ кг/м}^2.$$

Удельный вес воздуха в конце IV участка

$$\gamma_l' = \frac{\gamma_{at} p_4'}{p_{at}} = \frac{1,2 \cdot 10020}{10000} \approx 1,2 \text{ кг/м}^3, 1$$

Количество воздуха (в кг), протекающее через трубопровод в 1 час:

$$G_l = v_l \cdot F \cdot \gamma_l' \cdot 3600 = 18 \cdot 0,0176 \cdot 1,2 \cdot 3600 = 1370 \text{ кг/час,}$$

здесь  $F = 0,0176 \text{ м}^2$  — площадь поперечного сечения трубопровода в свету.

Коэффициент смеси

$$\mu = \frac{Q_m}{Q_l} = \frac{50000}{1370} = 36,5;$$

полученный коэффициент смеси  $\mu = 36,5$  лежит в пределах, обычно принимаемых значений для угольной пыли  $\mu = 30-40$ .

Падение давления на участке IV, согласно уравнениям (298) и (299):

$$\Delta p_4 = (1 + \mu \operatorname{tg} \alpha) \frac{\lambda G_l^2}{2g D F^2 3600^2} \cdot \frac{l_4}{\gamma_l};$$

<sup>1</sup> Удельный вес наружного воздуха  $\gamma_{at}$  принят равным  $1,2 \text{ кг/м}^3$  согласно «Нормам испытания вентиляторов и компрессоров», Харьков, 1932 г.



коэффициент сопротивления, согласно уравнению (275):

$$\lambda = 0,02745 \left( \frac{d}{G_l} \right)^{0,22} = 0,02745 \left( \frac{150}{1370} \right)^{0,22} = 0,0169.$$

Принимаем

$$\operatorname{tg} \alpha = 0,8.$$

В качестве первого приближения считаем удельный вес воздуха на всем IV участке одинаковым и равным удельному весу в его конце:

$$\gamma_l = 1,2 \text{ кг/м}^3.$$

При этом

$$\begin{aligned} \Delta p_4 &= (1 + 36,5 \cdot 0,8) \frac{0,0169 \cdot 1370^2}{2 \cdot 9,81 \cdot 0,15 \cdot 0,0176^2 \cdot 3600^2} \cdot \frac{l_4}{\gamma_l} = 81 \cdot \frac{l_4}{\gamma_l} = \\ &= 81 \frac{60}{1,2} = 4050 \text{ кг/м}^2. \end{aligned}$$

Давление в начале IV участка возле закругления (первое приближение):

$$p_4'' = p_4' + \Delta p_4 = 10020 + 4050 = 14070 \text{ кг/м}^2.$$

Этому давлению соответствует удельный вес воздуха

$$\gamma_l = \frac{1,2 \cdot 14070}{10000} = 1,69 \text{ кг/м}^3.$$

Если принять удельный вес воздуха на всем IV участке одинаковым и равным удельному весу в начале его  $\gamma_l = 1,69 \text{ кг/м}^3$ , то падение давления на IV участке было бы:

$$\Delta p_4 = 81 \frac{l_4}{\gamma_l} = 81 \frac{60}{1,69} = 2880 \text{ кг/м}^2.$$

В среднем падение давления на IV участке:

$$\Delta p_{4cp} = \frac{4050 + 2880}{2} \cong 3470 \text{ кг/м}^2.$$

Давление же воздуха в начале IV участка, возле закругления

$$p_4 = p_4' + \Delta p_{4cp} = 10020 + 3470 = 13490 \text{ кг/м}^2.$$

Этому давлению соответствуют:  
удельный вес

$$\gamma_l = \frac{1,2 \cdot 13490}{10000} = 1,62 \text{ кг/м}^3$$

и скорость воздуха

$$v_l = \frac{G_l}{\gamma_l F \cdot 3600} = \frac{1370}{1,62 \cdot 0,0176 \cdot 3600} = 13,3 \text{ м/сек.}$$

Падение давления в закруглении, соединяющем участки III и IV (см. уравнение 310):

$$\Delta p_k = 0,76 (1 + 0,64 \mu) \frac{\gamma_l v_l^2}{2 \cdot g} = 0,76 (1 + 0,64 \cdot 36,5) \frac{1,62 \cdot 13,3^2}{2 \cdot 9,81} = 270 \text{ кг/м}^2.$$

Закругление выбрано с радиусом закругления равным 1 м.

Давление воздуха в конце III участка:

$$p_3' = p_4 + \Delta p_k = 13490 + 270 = 13760 \text{ кг/м}^2.$$

Этому давлению соответствует удельный вес воздуха

$$\gamma_l = \frac{1,2 \cdot 13760}{10000} = 1,65 \text{ кг/м}^3.$$



Падение давления на III участке определяется по выражению (см. уравнение 298, 299 и 302):

$$\Delta p_3 = (1 + \mu \cdot \operatorname{tg} \alpha) \frac{\lambda \cdot G_l^2}{2 \cdot g \cdot D \cdot F^2 3600^2} \frac{l_3}{\gamma_l} + (1 + \mu) \gamma_l H.$$

Если принять удельный вес воздуха постоянным по всей длине III участка и равным удельному весу в его конце  $\gamma_l = 1,65 \text{ кг/м}^3$ , то падение давления на III участке было бы

$$\Delta p_3' = 81 \frac{14}{1,65} + (1 + 36,5) 1,65 \cdot 14 = 1550 \text{ кг/м}^2.$$

Давление воздуха в начале III участка при этом было бы (первое приближение):

$$p_3'' = p_3' + \Delta p_3' = 13760 + 1550 = 15310 \text{ кг/м}^2;$$

этому давлению соответствует удельный вес воздуха

$$\gamma_l = \frac{1,2 \cdot 15310}{10000} = 1,84 \text{ кг/м}^3.$$

Если же принять удельный вес воздуха по всей длине III участка равным удельному весу в его начале  $\gamma_l = 1,84$ , то падение давления было бы

$$\Delta p_3'' = 81 \frac{14}{1,84} + (1 + 36,5) 1,84 \cdot 14 = 1580 \text{ кг/м}^2.$$

В среднем падение давления на III участке

$$\Delta p_{3cp} = \frac{1550 + 1580}{2} = 1565 \text{ кг/м}^2.$$

Давление воздуха в начале III участка:

$$p_3 = p_3' + \Delta p_{3cp} = 13760 + 1565 = 15330 \text{ кг/м}^2.$$

Этому давлению соответствуют:  
удельный вес

$$\gamma_l = 1,2 \frac{15330}{10000} = 1,84 \text{ кг/м}^3$$

и скорость воздуха

$$v_l = \frac{G_l}{\gamma_l F 3600} = \frac{1370}{1,84 \cdot 0,0176 \cdot 3600} = 11,7 \text{ м/сек.}$$

Падение давления в закруглении, соединяющем III и II участки,

$$\Delta p_k = 0,76 (1 + 0,64 \cdot 36,5) \frac{1,84 \cdot 11,7^2}{2 \cdot 9,81} = 238 \text{ кг/м}^2.$$

Закругление нормальное с радиусом  $R = 1 \text{ м}$ .

Давление воздуха в конце II участка

$$p_2' = p_3 + \Delta p_k = 15330 + 238 = 15570 \text{ кг/м}^2.$$

Удельный вес воздуха в конце II участка

$$\gamma_l = 1,1 \frac{15570}{10000} = 1,87 \text{ кг/м}^3.$$

Падение давления на II участке, считая удельный вес воздуха по всей его длине равным  $\gamma_l = 1,87 \text{ кг/м}^3$ ,

$$\Delta p_2' = 81 \frac{l_2}{\gamma_l} = 81 \cdot \frac{20}{1,87} = 866 \text{ кг/м}^2.$$



Давление воздуха в начале II участка (первое приближение)

$$p_2'' = 15\,570 + 866 = 16\,440 \text{ кг/м}^2.$$

Этому давлению соответствует удельный вес

$$\gamma_l = 1,2 \cdot 1,644 = 1,97 \text{ кг/м}^3,$$

тогда

$$\Delta p_2'' = 81 \frac{20}{1,97} = 820 \text{ кг/м}^2.$$

В среднем падение давления на II участке

$$\Delta p_{2cp} = \frac{866 + 820}{2} = 843 \text{ кг/м}^2.$$

Давление в начале II участка:

$$p_2 = p_2' + \Delta p_{cp} = 15\,570 + 843 = 16\,410 \text{ кг/м}^2.$$

Этому давлению соответствуют:

$$\gamma_l = 1,2 \cdot 1,641 = 1,97 \text{ кг/м}^3,$$

$$v_l = \frac{1370}{1,97 \cdot 0,0176 \cdot 3600} = 11 \text{ м/сек.}$$

Падение давления в закруглении, соединяющем участки II и I:

$$\Delta p_k = 0,76 (1 + 0,64 \cdot 36,5) \frac{1,97 \cdot 11^2}{2 \cdot 9,81} = 225 \text{ кг/м}^2.$$

Закругление нормальное радиусом  $R = 1 \text{ м}$ .

Давление в конце I участка

$$p_1' = p_2 + \Delta p_k = 16\,410 + 225 \cong 16\,640 \text{ кг/м}^2.$$

Удельный вес в конце I участка

$$\gamma_l = 1,2 \cdot 1,664 = 2,0 \text{ кг/м}^3.$$

Падение давления на I участке:

$$\Delta p_1' = 81 \frac{l_1}{\gamma_l} = 81 \frac{8}{2,0} = 324 \text{ кг/м}^2.$$

Давление в начале I участка

$$p_1 = p_1' + \Delta p_1' = 16\,640 + 324 \cong 16\,960 \text{ кг/м}^2.$$

Пересчет падения давления по величине удельного веса в начале I участка не производим, так как разница с полученным значением  $\Delta p_1'$  очевидно будет невелика.

Действительное давление в начале I участка будет выше только что полученного, так как нами не учтено еще падение давления воздуха вследствие затраты энергии на сообщение материалу соответствующей скорости.

Относя это падение давления, условно, к началу первого участка, получим, согласно уравнению (317), его величину:

$$p_{\partial}'' = \frac{Q_m v_k^2}{2gFv_l 3600}.$$

Принимая скорость кусков  $v_k$  равной 0,8 скорости воздуха  $v_l$ , где  $v_l = 18 \text{ м/сек}$  — наибольшее значение скорости воздуха, тогда:

$$p_{\partial}'' = \frac{50\,000 \cdot (0,8 \cdot 18)^2}{2 \cdot 9,81 \cdot 0,0176 \cdot 18 \cdot 3600} = 460 \text{ кг/м}^2.$$



Таким образом полное давление воздуха в начале I участка

$$p_1 = 16\,960 + 460 = 17\,420 \text{ кг/м}^2.$$

Удельный вес воздуха в начале I участка

$$\gamma_l = 1,2 \cdot 1,742 = 2,09 \text{ кг/м}^3.$$

Скорость воздуха в начале I участка

$$v_l = \frac{1370}{2,09 \cdot 0,0176 \cdot 3600} = 10,3 \text{ м/сек.}$$

В дальнейшем, для определения мощности компрессорной установки, необходимо знать потери энергии воздуха на вихреобразование и удары при выходе его из форсунок насоса Fuller-Kinyon'a.

Однако эти потери зависят от целого ряда обстоятельств, не поддающихся точному учету, поэтому учет потерь на вихреобразование и удары при выходе воздуха из форсунок произведем грубо ориентировочно понижением коэффициента полезного действия компрессорной установки.<sup>1</sup> Примем

$$\eta = 0,4.$$

Количество воздуха, которое должно подаваться компрессорной установкой, учитывая потери через неплотности (10%):

$$V_l = \frac{1,1 Q_l}{\gamma_{at}} = \frac{1,1 \cdot 1370}{1,2} = 1250 \text{ м}^3/\text{сек.}$$

Мощность транспортной установки, без учета расхода энергии на вращение шнека насоса Fuller-Kinyon'a:

$$N = \frac{(p_1 - p_{at}) V_l}{3600 \cdot 75 \cdot \eta} = \frac{(17\,420 - 10\,000) 1250}{3600 \cdot 75 \cdot 0,4} = 86 \text{ л. с.}$$

Расход энергии на тонну перемещаемой пыли:

$$n = \frac{N}{Q_m} = \frac{86}{50} = 1,72 \text{ л. с./т.}$$

Коэффициент тяги

$$w = \frac{270 N}{Q_m l} - \frac{H}{l} = \frac{270 \cdot 86}{50 \cdot 88} - \frac{14}{88} = 5,27 - 0,16 = 5,11.$$

---

<sup>1</sup> При более точном расчете следовало бы увеличить расчетное давление на потерю в форсунке. Это дало бы возможность определить также необходимое давление компрессорной установки.



Где  $\rho$  — плотность воздуха в кг/м<sup>3</sup>,  $V$  — объем воздуха в м<sup>3</sup>,  $W$  — расход воздуха в м<sup>3</sup>/с,  $Q$  — расход воздуха в м<sup>3</sup>/ч,  $W_{\text{н}} = \frac{Q}{3600}$  — расход воздуха в м<sup>3</sup>/с.

$$W_{\text{н}} = \frac{Q}{3600} = \frac{117,42}{3600} = 0,0326 \text{ м}^3/\text{с}$$

Итак, расход воздуха в м<sup>3</sup>/с равен 0,0326. Для определения расхода воздуха в м<sup>3</sup>/ч необходимо умножить этот расход на 3600. Тогда получим:  $Q = 0,0326 \cdot 3600 = 117,42 \text{ м}^3/\text{ч}$ .

$$Q = W_{\text{н}} \cdot 3600 = 0,0326 \cdot 3600 = 117,42 \text{ м}^3/\text{ч}$$

Расход воздуха в м<sup>3</sup>/ч равен 117,42. Для определения расхода воздуха в м<sup>3</sup>/с необходимо разделить этот расход на 3600. Тогда получим:  $W_{\text{н}} = \frac{117,42}{3600} = 0,0326 \text{ м}^3/\text{с}$ .

$$W_{\text{н}} = \frac{Q}{3600} = \frac{117,42}{3600} = 0,0326 \text{ м}^3/\text{с}$$

Расход воздуха в м<sup>3</sup>/с равен 0,0326. Для определения расхода воздуха в м<sup>3</sup>/ч необходимо умножить этот расход на 3600. Тогда получим:  $Q = 0,0326 \cdot 3600 = 117,42 \text{ м}^3/\text{ч}$ .

$$Q = W_{\text{н}} \cdot 3600 = 0,0326 \cdot 3600 = 117,42 \text{ м}^3/\text{ч}$$

Расход воздуха в м<sup>3</sup>/ч равен 117,42. Для определения расхода воздуха в м<sup>3</sup>/с необходимо разделить этот расход на 3600. Тогда получим:  $W_{\text{н}} = \frac{117,42}{3600} = 0,0326 \text{ м}^3/\text{с}$ .

$$W_{\text{н}} = \frac{Q}{3600} = \frac{117,42}{3600} = 0,0326 \text{ м}^3/\text{с}$$

Расход воздуха в м<sup>3</sup>/с равен 0,0326. Для определения расхода воздуха в м<sup>3</sup>/ч необходимо умножить этот расход на 3600. Тогда получим:  $Q = 0,0326 \cdot 3600 = 117,42 \text{ м}^3/\text{ч}$ .

$$Q = W_{\text{н}} \cdot 3600 = 0,0326 \cdot 3600 = 117,42 \text{ м}^3/\text{ч}$$

Расход воздуха в м<sup>3</sup>/ч равен 117,42. Для определения расхода воздуха в м<sup>3</sup>/с необходимо разделить этот расход на 3600. Тогда получим:  $W_{\text{н}} = \frac{117,42}{3600} = 0,0326 \text{ м}^3/\text{с}$ .

$$W_{\text{н}} = \frac{Q}{3600} = \frac{117,42}{3600} = 0,0326 \text{ м}^3/\text{с}$$

Расход воздуха в м<sup>3</sup>/с равен 0,0326. Для определения расхода воздуха в м<sup>3</sup>/ч необходимо умножить этот расход на 3600. Тогда получим:  $Q = 0,0326 \cdot 3600 = 117,42 \text{ м}^3/\text{ч}$ .

$$Q = W_{\text{н}} \cdot 3600 = 0,0326 \cdot 3600 = 117,42 \text{ м}^3/\text{ч}$$



## ЛИТЕРАТУРА

### ОБЩАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Альбом существующих конструкций, Союзтранстехпром, 1932.
2. Бари Э. А., Механизация строительных работ, 1934.
3. Батицкий В. Н., Остольский В. О. и Терехин К. П., Механизация грузовых операций на железных дорогах, 1933.
4. Воловик Д. З., Некоз А. В., Ильичев А. С. и Аронов Б. В., Рудничные конвейеры, их теория и расчет.
5. Ганфштенгель Г. проф., Механизация транспорта массовых грузов, ч. I, 1934.
6. Гармаш А. А. проф., Организация и механизация транспорта на строительных работах, 1934.
7. Козьмин П. С. проф., Элеваторы, транспортеры и конвейеры, 1929, 2-ое издание, ч. I, 1932.
8. Кокин Б. Н. доц., Транспортирующие установки, 1933.
9. Лукашев А. А., Транспорт на поверхности рудников, 1-ое изд., 1933, 2-ое изд., 1935.
10. Ляхницкий В. Е. проф., Перегрузочные и транспортные устройства на железнодорожном транспорте, 1930.
11. Ляхницкий В. Е. проф., Механизация перегрузочных работ на морском транспорте, 1931.
12. Нерославский И. и Житков Д., Грузоподъемные машины и транспортные устройства, 1934.
13. Рубинштейн М. И. и Сирбард Ф. Я. (ред.), Механизация погрузочно-разгрузочных работ на внутризаводском транспорте, 1934.
14. Сборники «Обмен опытом», Стальпроммеханизация, № 1—2 и 3, 1934.
15. Сорокин Б. И., Механизация перегрузочных операций на железнодорожном транспорте, 1934.
16. Соколов А. Я., Механическое оборудование зерновых элеваторов, 1933.
17. Таггарт, Справочник по обогащению полезных ископаемых, т. IV, 1934.
18. Шухгальтер Л. Я. (ред.), Организация внутризаводского транспорта, 1934 г.
19. Aumund H., Hebe und Förderanlagen, I—II, 1926.
20. Broughton H. H., The electrical handling of materials, I—IV, 1920—1923.
21. Hanffstengel G., Die Förderung von Massengütern, I, 1926.
22. Hanffstengel G., Billig Verladen und Fördern, 1926.
23. Hänchen R., Das Förderwesen der Werkstättenbetriebe.
24. Koshkin S. I., Modern Materials Handling, 1932.
25. Material Handling Cyclopedia, 1921.
26. Michenfelder C., Kran und Transportanlagen für Hütten-, Hafen-, Werft- und Werkstattbetriebe, 1926.
27. Michenfelder C., Materialbewegung in chemisch-technischen Betrieben, 1915.
28. Müller H. R., Transportwesen in industriellen Betrieben, 1929.
29. Pasoret E., Appareils de levage de manutention et des transports mecaniques industriels, 1932.
30. Schulze-Manitius H., Nahtransport, 1927.
31. Zimmer, Mechanical handling and storing of materials, I—II, 1932.

### К главе I (Шнеки)

1. Аксенов Н. П. проф., Оборудование литейных, 1932.
2. Арнольд В. В. проф., Машина в строительном деле, IV, 1930.
3. Колат В. Л., Скребокковые цепные конвейеры и шнеки, 1933.
4. Николаев А. И., Техническое нормирование основной производственной аппаратуры свеклосахарных заводов, 1932.
5. Пономарев В. И., Шнеки, 1933.
6. Пономарев В. И., Винтовые транспортеры, 1933.
7. Халиф А. И., Механизация зерноскладского хозяйства, 1934.



## К главе II (Транспортерные трубы)

1. Вейс М., Сушка угля, 1934.
2. Ворошилов А. П., Барабанный сушильный агрегат, 1934.
3. Егоров Б. Г. (ред.), Теория и практика дробления и тонкого измельчения.
4. Канторович Б. З., Машины и аппаратура силикатной промышленности, 1934.
5. Ланге, Механическое оборудование зерноочистительных элеваторов, 1930.
6. Левенсон Л. Б. проф., Машины для обогащения полезных ископаемых, 1933.
7. Прейгерзон Б. И., Общий курс обогащения угля, 1934.
8. Dreyer H., Die Berechnung des Arbeitsverbrauches der Rohrmühlen, 1929.
9. Fahrenwald A. W. and Lee H. E., Ball mile studies, 1931.

## К главе III (Роликовые транспортеры)

1. Hütte, Справочная книга по металлургии железа, 1927.
2. Hütte, Справочник прокатчика, 1934.
3. Берман С. И., Истомин, П. С., Прокатка цветных металлов, ч. I, 1934.
4. ВОМТ, Альбом стандартов, ролганги блюминга, вып. 13.
5. Пуппе и Штаубер, Прокатное дело, 1933.
6. «Прокатка», сборник монографий, под редакцией В. Щировского, 1933.
7. Ришарм Э., Прокатные станы, сортовые и провололочные, 1930.
8. Щировский В. Г., Конструкции прокатных станов и их оборудование, 1933.
9. Mittelstädt H. L., Fliessende Fertigung, 1927.
10. Puppe I. und Stauber G., Walzwerkswesen, 1934.

## К главе IV (Гидравлическое транспортирование)

1. Апполов Г. и Лукашин, Гидрометрия, 1932.
2. Глыбовский Н. Н., Машины гидроторфа, 1933.
3. Лебедев Н. П., Гидравлическая и скреперная закладка, 1934.
4. Пиль Р., Разработка россыпей месторождений гидравлическим способом, 1933.
5. Прандль Л., Титъенс О., Гидро- и аэромеханика, I, 1933.
6. Павловский В. И. (ред.), Механизация мелиоративно-гидравлических работ, 1931.
7. Ржаницы Н. А., Речная гидравлика, 1934.
8. Русанов А. В., Производство земляных работ гидравлическим способом, 1934.
9. Рюль А. и Шюльте, Золоудаление в крупных котельных установках, 1931.
10. Салтыков А. А. проф., Гидравлический способ разработки золотых россыпей, 1932.
11. Флоров В. А., Горные работы гидравлическим способом, 1934.
12. Холин Н. Д. и Воскресенский С. В., Гидромеханизация земляных и горных работ, 1932.
13. Шевяков Л. Д. проф., Разработка месторождений полезных ископаемых, 1930.
14. Шкундин Б. И., Гидромеханизация, 1934.
15. Шкундин Б. И., Горные работы гидравлическим способом, 1934.

## К главе V (Пневматическое транспортирование)

1. Блейбтрей Г., Пылеугольное отопление, 1931.
2. Гастерштадт И., Пневматический транспорт, 1927.
3. Жуковский Н. Е., Теоретические основы воздухоплавания, 1925.
4. Звягин П. З., Механизированная закладка выработанного пространства, 1933.
5. Каменев П. Н. проф., Аналитический расчет сложного вентиляционного трубопровода, 1930.
6. Каменев П. Н. проф., Расчет воздухопроводов и водоструйных аппаратов (элеваторов), 1934.
7. Калинушкин, Пневматический транспорт.
8. Карг Г. Р., Пневматический транспорт материалов, 1930.
9. Клячко Л. С., Пневматический транспорт на деревообделочных предприятиях, 1931.
10. Мельдау, Пыль в производстве и способы ее удаления, 1931.
11. Прандль Л., Титъенс О., Гидро- и аэродинамика, I, 1933.
12. Рюль А. и Шюльте Р., Золоудаление в крупных котельных установках, 1934.
13. Смухнин П. проф., Центробежные пылеотделители-циклоны.
14. Стахович К. И. проф., Основы теории и расчета пневматических установок, 1934.
15. Туркус В. и Лихущин Н., Расчет разветвленных трубопроводов промышленной вентиляции и пневматического транспорта.
16. Blaess, Die Strömung in Röhren.
17. Handbuch der physikalischen und technischen Mechanik, B. VI, L. 2, 1928, статья Wagner's.
18. Karg H., Pneumatische Materialtransport, 1927.
19. Troup John D., Coal and ash handling plant, 1926.



## ЖУРНАЛЫ

1. Вестник инженеров и техников.
2. Вестник электропромышленности.
3. Внутривозовский транспорт и стальные конструкции.
4. Гидротехническое строительство.
5. Горный журнал.
6. Домез.
7. Изв. Всесоюзного теплотехнического института.
8. Отопление и вентиляция.
9. Советская металлургия.
10. Строительная промышленность.
11. Тепло и сила.
12. Торфяное дело.
13. Уголь.
14. Уголь Востока.
15. Химстрой.
16. Braunkohle.
17. Der Bergbau.
18. Coal Age.
19. Colliery Engineering.
20. Demag-Nachrichten.
21. Engineering.
22. Fördertechnik und Frachtverkehr.
23. Fördertechnische Rundschau.
24. Glückauf.
25. Iron and Coal Trades Review.
26. Iron Age.
27. Mechanical Handling and Works Equipment.
28. Mechanical World and Engineering Record.
29. AEG—Mitteilungen.
30. Pit and Quarry.
31. Stahl und Eisen.
32. La Technique Moderne.
33. Technische Blätter.
34. Die Wärme.
35. Z. d. V. d. I.

## МАТЕРИАЛЫ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИХ И ПРОЕКТНЫХ ОРГАНИЗАЦИЙ, ТРЕСТОВ И ЗАВОДОВ

1. ВОМТ, Москва.
2. Гинсталмост, Москва.
3. Гипрошахт, Ленинград.
4. Горзавтрест, Харьков.
5. Гос. гидравлический институт, Ленинград.
6. Завод им. Дзержинского, Запорожье.
7. Завод им. Ленина, Никополь.
8. Завод им. Петровского, Днепропетровск.
9. Завод «Свет шахтера», Харьков.
10. Завод им. Шевченко, Харьков.
11. Союззолото.
12. Союзстальмост, Москва.
13. Стальпроммеханизация, Москва—Днепропетровск.
14. Шахтострой, Харьков.

## МАТЕРИАЛЫ ИНОСТРАННЫХ ФИРМ

по главе I (Шнеки)

1. Allgemeine Transportanlagen A. G., Leipzig (ATG).
2. Burgdort Altona.
3. Carlshütte A. G., Waldenburg-Altwasser.
4. Clark Tractor Company, Battle Creek, Mich.
5. Fr. Gröppel, Bochum.
6. K. Händle Söhne Maschinenfabrik, Mühlacker.
7. Gebr. Kerner, Suhl i Th.
8. Link-Belt Company, Philadelphia.
9. G. F. Lieder, Würzen i Sa.
10. Smith Engineering Works, Milwaukee, Wis (Telsmith).
11. A. Stotz, Stuttgart.
12. Simplex, Compagnie des Transporteurs, Paris.
13. I. A. Topf & Soehne, Erfurt.
14. Weller Mfg Co, Chicago Ill.



### К главе II (Транспортерные трубы)

1. Bartlett and Snow, Cleveland, Ohio.
2. Berlin-Anhaltische Maschinenfabrik A. G., Berlin (Bamag).
3. Buckau R. Wolf A. G. Magdeburg.
4. Büttner A. G., Dessau.
5. Deutsche Maschinenfabrik A. G., Duisburg (Demag).
6. Fr. Haas, Lenner Rheinland.
7. A. B. Karlstadts Mek. Werkstad, Karlstad.
8. Kennedy — Van Saun Mtg. & Eng. Corporation, New-York.
9. Link-Belt Company, Philadelphia.
10. Maschinenfabrik Imperial, Meissen i Sa.
11. Miag, Braunschweig (Amme-Luther-Seck).
12. G. Polysius A. G., Dessau.
13. A. Stotz, Stuttgart.
14. Traylor Engineering and Manufacturing Co, Allentown, Pa.

### К главе III (Роликовые транспортеры)

1. Allgemeine Elektrizitäts Gesellschaft, Berlin (AEG).
2. J. Banning A. G. Hamm, Westf.
3. Deutsche Maschinenfabrik A. G. Duisburg (Demag).
4. Foster-sche Masch. u. Arm. Fabrik Essen-Altenessen (Foster).
5. Ernst Heckel, Saarbrücken (Heckel).
6. Fried. Krupp Grusonwerk A. G. Magdeburg.
7. Lauchhammer Rheinmetall A. G., Berlin.
8. Mathews Conveyor Company, Ellwood City, Pa.
9. Ofenbau-Union, Düsseldorf.
10. Palmer Bee Co, Detroit.
11. Quast und Lemberg, Köln-Rodenkirchen (Quast).
12. Maschinenfabrik Sack, Düsseldorf (Sack).
13. Samuel Olson & Co, Chicago, III (Olson).
14. Schloemann A. G. Düsseldorf.
15. Carl Schenck, Darmstadt (Schenck).
16. Siegerin-Goldmann Werke, Mannheim (Siegerin).
17. Standard Conveyor Company, North St. Paul, Min. (Standard).
18. Wilh. Stöhr, Offenbach a. M. (Stöhr).

### К главе IV (Гидравлическое транспортирование)

1. The Ash Co, London.
2. Otto Dietrich, Rohrleitungsbau A. G. Bitterfeld.
3. Fr. Gröppel, Bochum.
4. Joshua Hendy Iron Works, S. Francisco.
5. Anton Rothstein, Leipzig.
6. Franz Seifert & Co A. G. Berlin.
7. Westighaus Co, Pittsburg, Pa.

### К главе V (Пневматическое транспортирование)

1. A. Beien, Herne i W.
2. A. Borsig, Berlin—Tegel.
3. Claudius Peters A. G.; Hamburg—Wallhof.
4. Danneberg & Quand, Berlin (Daqua).
5. Deutsche Evaporator A. G., Berlin.
6. Frölich und Klüpfel, Wuppertal-Barmen.
7. Fuller Co, Catasauqua, Pa.
8. Gewerkschaft Orange, Gelsenkirchen (Orange)
9. Hartmann Maschinenfabrik A. G. Offenbach A. M.
10. Heltzel Steel Form & Iron Co, Warren, O.
11. Holly Pneumatic Conveyors, New-York.
12. Kennedy-Van Saun Mtg & Eng. Corporation, New-York.
13. G. Luther A. G. Braunschweig.
14. Maschinenfabrik Augsburg-Nürnberg (MAN).
15. Miag Braunschweig (Amme-Luther-Seck).
16. Netzschkauer Maschinenfabrik Franz Stark & Söhne, Netzschkau (Stark).
17. Parson Manufacturing Co, New-York.
18. Maschinenfabrik G. Polysius A. G., Dessau.
19. Gebr. Seck, Maschinenfabrik, Dresden (Seck).
20. Henry Simon Ltd, Cheadle Heath.
21. Siemens-Schuckert Werke, Berlin. (S. S. W.)
22. Torkret Ges. Berlin.
23. I. A. Topf & Soehne, Erfurt.

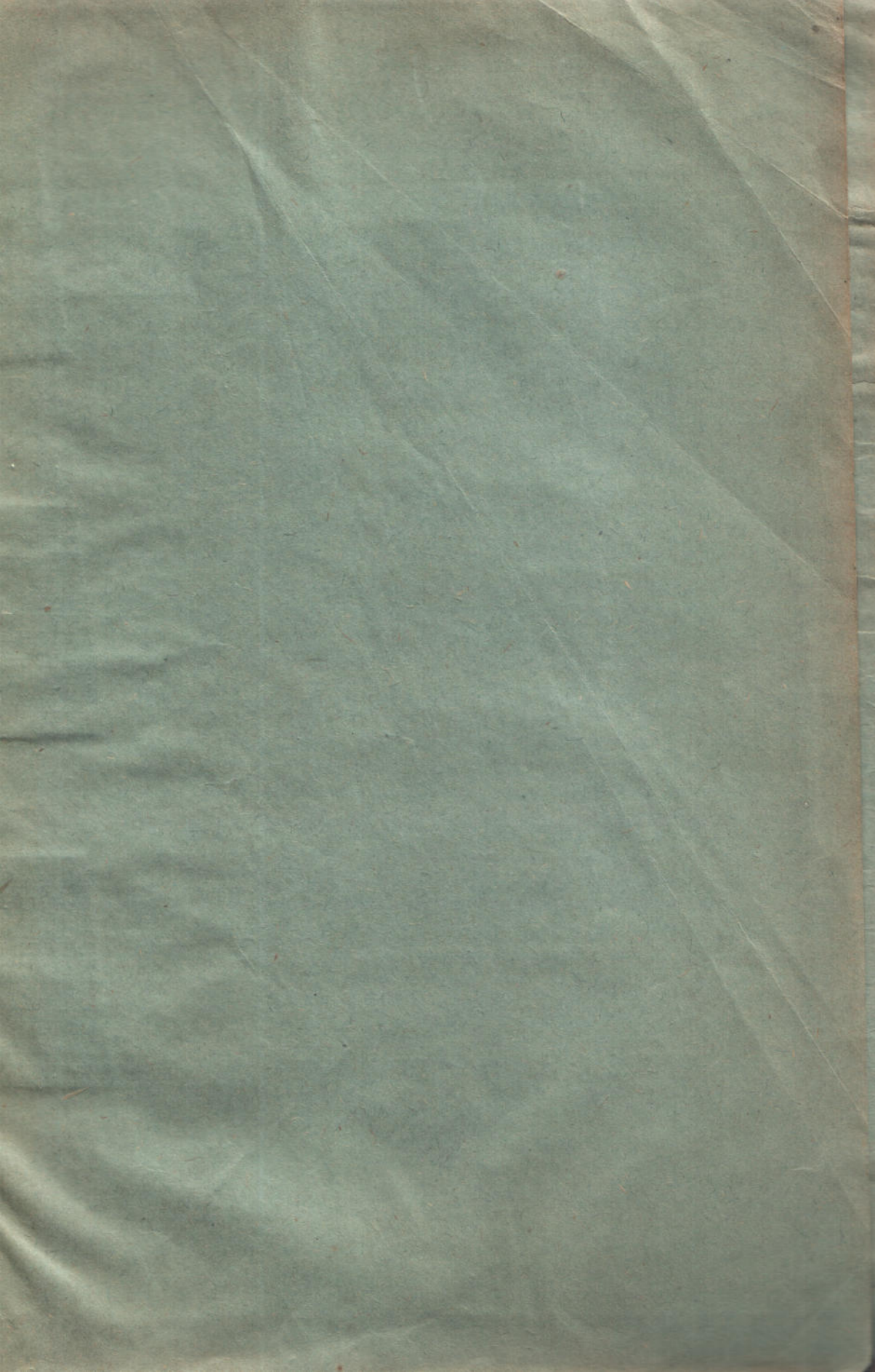


ЗАМЕЧЕННЫЕ ОПЕЧАТКИ

| Стр. | Строка     | Напечатано              | Должно быть           |
|------|------------|-------------------------|-----------------------|
| 24   | табл. 5    | кг/см                   | кг-см                 |
| 107  | 16 св.     | $e^{2fa}$               | $e^{2fa}$             |
| 109  | 13 сн.     | $\Sigma X -$            | $\Sigma X =$          |
| 116  | 14 сн.     | $e^{2\alpha}$           | $e^{2fa}$             |
| 116  | 5 сн.      | $e^{2\pi}$              | $e^{2f\pi}$           |
| 116  | 1 сн.      | $e^{2(\alpha-\pi)}$     | $e^{2f(\alpha-\pi)}$  |
| 121  | 8 св.      | Наличные                | Начальные             |
| 203  | 11 св.     | от роликов к мотору     | от мотора к роликам   |
| 206  | 1 сн.      | качании                 | качении               |
| 209  | 1 сн.      | Vorgänge                | Vorgänge              |
| 305  | 6 св.      | 0,0150   0,4152         | 0,0154   0,0152       |
| 334  | ур-ние 398 | $v_{rx}^2 = v_{ry}^2$   | $v_{rx}^2 - v_{ry}^2$ |
| 335  | ур-ние 407 | $t = C_1$               | $t - C_1$             |
| 373  | 6 сн.      | монограммами            | номограммами          |
| 505  | 16 св.     | 1-ое изд... 2-ое изд... | 1 ч.... 2 ч....       |

Фиг. 39 и 145 — перевернуть, фигуры 129 и 172 — наклонить.

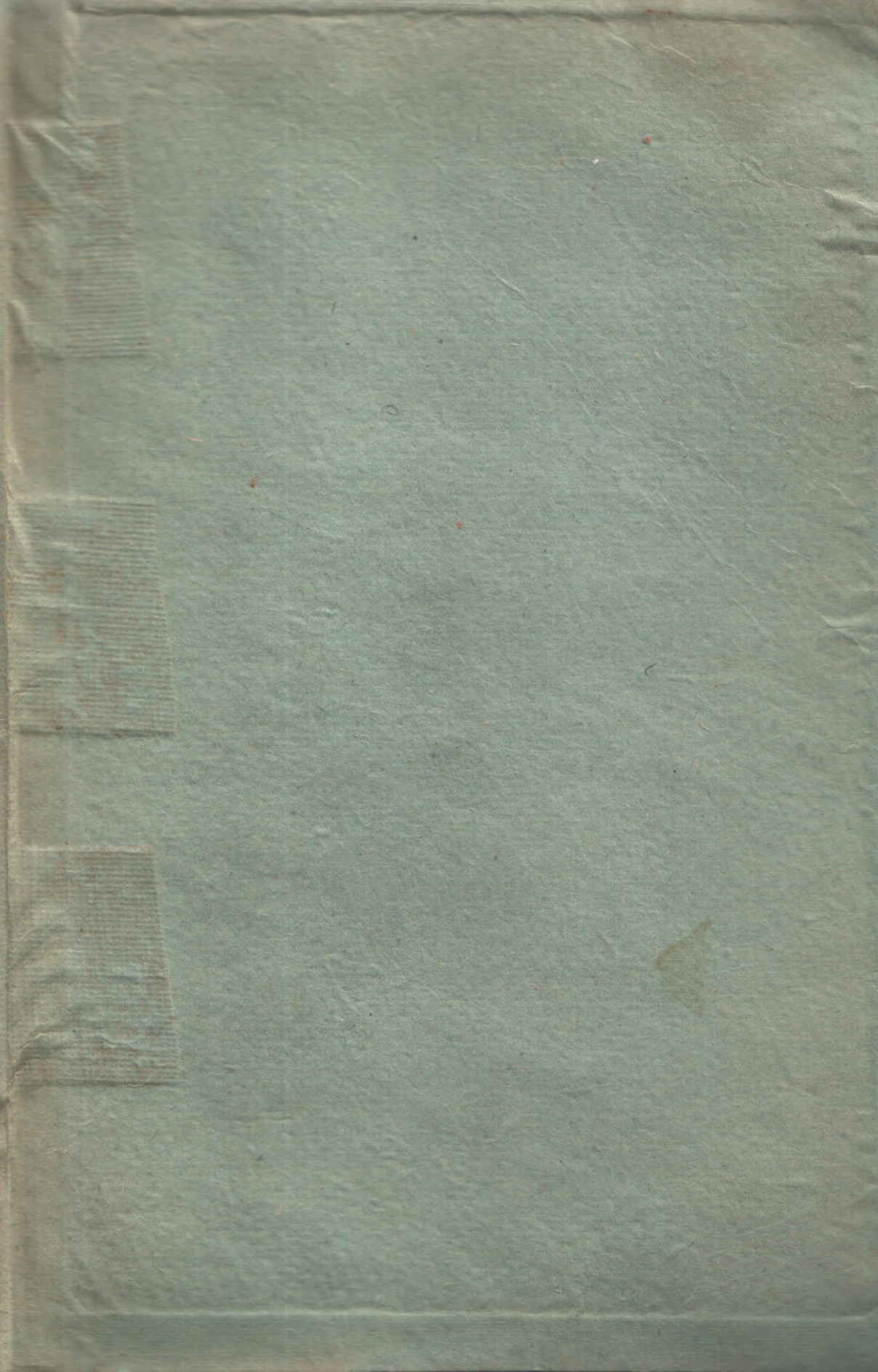














Уг 05—5—2

Цена 8 руб. 50 коп.

Переплет 1 руб.

