

МИНИСТЕРСТВО ПУТЕЙ СООБЩЕНИЯ РФ  
САМАРСКАЯ ГОСУДАРСТВЕННАЯ АКАДЕМИЯ ПУТЕЙ СООБЩЕНИЯ

И.В. Горюшинский  
И.И. Кононов  
В.В. Денисов  
Е.В. Горюшинская  
Н.В. Петрушкин

**ЕМКОСТИ ДЛЯ СЫПУЧИХ ГРУЗОВ  
В ТРАНСПОРТНО-ГРУЗОВЫХ СИСТЕМАХ**

УЧЕБНОЕ ПОСОБИЕ  
для студентов специальностей «Подъемно-транспортные, строитель-  
ные, дорожные машины и оборудование»,  
«Организация перевозок и управление на транспорте  
(железнодорожном)»

САМАРА 2003

УДК 656. 073. 437: 658.78  
Е60

Рецензенты:  
Заведующий кафедрой СДМиТМ (СамГАПС),  
доктор технических наук, профессор  
*В.Н. Самохвалов*

Генеральный директор ОАО «ВолгаУралТранс»  
*Г.М. Третьяков*

Е60 Емкости для сыпучих грузов в транспортно-грузовых системах/  
И.В. Горюшинский, И.И. Кононов, В.В. Денисов, Е.В. Горю-  
шинская, Н.В. Петрушкин. Под общей редакцией И.В. Горю-  
шинского: Учебное пособие. - Самара: СамГАПС, 2003. –  
232с.

В учебном пособии представлена номенклатура физико-механических свойств сыпучих грузов, конструктивно-технологические схемы бункерно-силосных. Изложены методики расчета эффективности функционирования и технико-экономических показателей транспортно-грузовых систем. Рассмотрены экологические вопросы по организации охраны окружающей среды и труда при работе с сыпучими грузами.

Предназначено для студентов специальностей «Подъемно-транспортные, строительные, дорожные машины и оборудование», «Организация перевозок и управление на транспорте (железнодорожном)»

УДК 656. 073. 437: 658.78

© Самарская государственная академия путей сообщения, 2003  
© Горюшинский И.В., Кононов И.И., Денисов В.В.,  
Горюшинская Е.В., Н.В. Петрушкин, 2003

## ОГЛАВЛЕНИЕ

|                                                                                       |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------|----|
| ПРЕДИСЛОВИЕ                                                                           | 6  |
| УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ                                                                  | 8  |
| ВВЕДЕНИЕ                                                                              | 10 |
| 1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О НАСЫПНЫХ ГРУЗАХ, БУНКЕРАХ И ОСОБЕННОСТЯХ ИХ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ      | 11 |
| 1.1. Физико-механические свойства насыпных грузов                                     | 11 |
| 1.2. Влияние условий хранения и транспортировки на характеристики грузов              | 18 |
| 1.2.1. Номенклатура сельскохозяйственных грузов при производстве комбикормов          | 18 |
| 1.2.2. Грузы минерального происхождения                                               | 19 |
| 1.2.3. Продукты микробиологического синтеза                                           | 20 |
| 1.2.4. Минеральные удобрения                                                          | 21 |
| 1.2.5. Строительные вяжущие грузы                                                     | 22 |
| 1.3. Общие сведения о бункерах и бункерных устройствах                                | 24 |
| 1.4. Анализ классических форм истечения грузов из бункеров и силосов                  | 26 |
| 1.5. Зоны давления в бункерах                                                         | 30 |
| 1.6. Уплотнение насыпного груза в емкости                                             | 36 |
| Контрольные вопросы по 1 главе                                                        | 38 |
| 2. КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ СХЕМЫ БУНКЕРОВ И БУНКЕРНЫХ УСТРОЙСТВ                 | 39 |
| 2.1. Бункера и их особенности                                                         | 39 |
| 2.1.1. Прямоугольные бункера                                                          | 39 |
| 2.1.2. Бункера цилиндрической формы                                                   | 43 |
| 2.1.3. Бункера усложненной формы                                                      | 45 |
| 2.1.4. Материалы для изготовления бункеров                                            | 47 |
| 2.2. Приемные устройства                                                              | 50 |
| 2.2.1. Приемные устройства для автомобильного Транспорта                              | 51 |
| 2.2.2. Приемные устройства для железнодорожных Вагонов                                | 53 |
| 2.3. Конструктивные особенности силосов                                               | 60 |
| 2.3.1. Сборные силосы                                                                 | 65 |
| 2.3.2. Разновидности типовых силосных емкостей                                        | 69 |
| 2.3.3. Типы конструкций металлических силосов из оцинкованной или эмалированной стали | 72 |
| 2.4. Отгрузка сыпучих грузов в подвижной состав                                       | 75 |
| 2.4.1. Отпускные трубы                                                                | 75 |
| 2.4.2. Установки для отпуска пылевидных грузов из стационарных емкостей               | 78 |
| 2.4.3. Затворы для отпускных емкостей                                                 | 90 |
| 2.4.4. Дозирующие устройства для отпускных бункеров                                   | 98 |
| 2.5. Распределители потока сыпучего груза,                                            |    |

|        |                                                                                                             |     |
|--------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
|        | поступающего в емкость                                                                                      | 109 |
| 2.6.   | Питатели бункерных устройств                                                                                | 117 |
| 2.7.   | Побудители для стабилизации истечения в емкостях                                                            | 128 |
| 2.8.   | Стабилизаторы истечения                                                                                     | 138 |
| 2.9.   | Элементы расчетов стационарных емкостей                                                                     | 143 |
| 2.9.1. | Определение геометрических параметров емкостей                                                              | 143 |
| 2.9.2. | Определение производительности питателя при работе бункерного устройства в режиме дозирования               | 146 |
| 2.9.3. | Определение скорости истечения материалов из бокового щелевого отверстия                                    | 147 |
| 2.9.4. | Расчет пропускной способности бункера с донным щелевым отверстием                                           | 147 |
|        | Контрольные вопросы по 2 главе                                                                              | 148 |
| 3.     | НОВЫЕ РАЗРАБОТКИ УСТРОЙСТВ ДЛЯ ХРАНЕНИЯ, ВЫПУСКА СЫПУЧИХ ГРУЗОВ И ОЧИСТКИ ЕМКостей                          | 150 |
| 3.1.   | Емкости бункерно-силосного типа с боковым щелевым отверстием для выпуска сыпучих грузов                     | 150 |
| 3.2.   | Устройства для снижения вертикального давления                                                              | 157 |
| 3.3.   | Переносные сводообрушители-очистители                                                                       | 162 |
|        | Контрольные вопросы по 3 главе                                                                              | 167 |
| 4.     | МЕТОДИКА ОЦЕНКИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ЕМКостей ДЛЯ СЫПУЧИХ ГРУЗОВ                                                | 168 |
| 4.1.   | Факторы эффективности функционирования процессов загрузки, хранения и выпуска сыпучих грузов из емкостей    | 168 |
| 4.2.   | Оценка качества функционирования емкостей для сыпучих грузов                                                | 174 |
|        | Контрольные вопросы по 4 главе                                                                              | 179 |
| 5.     | МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ОБЪЕКТА ТРАНСПОРТНО-ГРУЗОВЫХ СИСТЕМ | 180 |
| 5.1.   | Экономические показатели и их особенности                                                                   | 180 |
| 5.2.   | Расчет капитальных затрат на строительство                                                                  | 182 |
| 5.3.   | Расчет годовых эксплуатационных расходов                                                                    | 183 |
| 5.3.1. | Расчет расходов на заработную плату и отчислений налогов и взносов в различные фонды                        | 183 |
| 5.3.2. | Расчет расходов на амортизацию, содержание и ремонт оборудования и сооружений                               | 184 |
| 5.3.3. | Расчет расходов на освещение                                                                                | 185 |
| 5.3.4. | Расчет расходов на энергоносители                                                                           | 186 |
| 5.3.5. | Расчет затрат на расходные материалы                                                                        | 187 |
| 5.3.6. | Расчет расходов на уплату налогов                                                                           | 187 |
| 5.4.   | Расчет доходов и прибыли от деятельности рассматриваемого объекта                                           | 189 |
| 5.5.   | Расчет срока окупаемости части капиталовложений                                                             | 190 |

|        |                                                                                                                                     |     |
|--------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 5.5.1. | Определение минимизации суммы приведенных капитальных затрат и эксплуатационных расходов                                            | 191 |
| 5.5.2. | Определение экономической эффективности от увеличения статической нагрузки подвижного состава и сокращения времени на его обработку | 191 |
| 5.5.3. | Определение удельных капиталовложений и себестоимости переработки одной тонны груза                                                 | 192 |
| 5.5.4. | Определение производительности труда (и/или выработка), трудоемкость                                                                | 192 |
| 5.6.   | Определение убытков от невозвратимых потерь при перевозке и хранении груза                                                          | 192 |
|        | Контрольные вопросы по 5 главе                                                                                                      | 193 |
| 6.     | БОРЬБА С ПЫЛЕНИЕМ В ТРАНСПОРТНО-СКЛАДСКИХ КОМПЛЕКСАХ ПРИ ПЕРЕРАБОТКЕ НАСЫПНЫХ ГРУЗОВ                                                | 194 |
| 6.1    | Виды пыли                                                                                                                           | 195 |
| 6.2    | Значимость экологизации транспортно-технологического процесса                                                                       | 196 |
| 6.3    | Зоны образования пыли                                                                                                               | 197 |
| 6.4    | Общие принципы вентилирования и очистки воздуха от пылевых частиц                                                                   | 199 |
| 6.5    | Основные способы борьбы с пылью                                                                                                     | 201 |
| 6.6    | Выбор оборудования                                                                                                                  | 211 |
| 6.7    | Правила техники безопасности и охрана труда при работе с сыпучими грузами                                                           | 213 |
|        | Контрольные вопросы по 6 главе                                                                                                      | 216 |
|        | ЗАКЛЮЧЕНИЕ                                                                                                                          | 217 |
|        | БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК                                                                                                            | 219 |
|        | ПРИЛОЖЕНИЯ                                                                                                                          | 220 |

## ПРЕДИСЛОВИЕ

За последние десятилетия мировой рынок переработки сыпучих грузов (зерна, цемента, минеральных удобрений и др.), импорта и экспорта быстро развивался. Совершенствовались также транспортные средства и разрабатывались новые эффективные методы доставки и хранения сыпучих грузов. Появилась необходимость в современных и наукоемких устройствах для их обработки. Чтобы удовлетворить эти требования, технология хранения и транспортировки сыпучих грузов ускоренно развивалась. В настоящее время развитие технических средств и методов комплексной механизации и автоматизации операций с сыпучими грузами достигло высокого уровня.

Бестарный способ является одним из основных путей транспортирования и хранения сыпучих грузов. При этом используются различного рода накопительные емкости (силосы, стационарные и передвижные бункеры, контейнеры). Такие хранилища широко распространены в химической, пищевой и комбикормовой промышленности, ряде других отраслей народного хозяйства. С их помощью обеспечивается стабильная работа всего технологического комплекса. Применение бестарного отпуска, транспортирования, приема и хранения сыпучих грузов значительно повышает уровень механизации и автоматизации производства, производительность труда, коэффициент использования складских емкостей и транспортных средств, исключает или минимизирует применение ручного труда. Кроме того, бестарный способ позволяет снизить потери груза и расход тароупаковочных материалов, улучшить санитарно-эпидемиологическую обстановку на рабочем месте.

Новые достижения в области хранения позволяют, например, мукомольным, комбикормовым и пивоваренным заводам хранить сырье и конечные продукты в элеваторах (силосах), благодаря чему устраняется обработка мешков, требующая больших затрат труда, что позволяет обеспечить предпосылки для автоматизирования производства и малолюдной технологии.

Несмотря на все преимущества бестарного способа хранения и транспортировки сыпучих грузов имеется достаточное количество проблем, возникающих в основном при хранении и отпуске грузов, особенно трудносыпучих. Функционирование транспортно-складских комплексов непосредственно влияет на сохранность грузов и качество перевозок, бесперебойную работу отпускных устройств хранилища, время простоя транспортных средств под грузовыми операциями, качество конечного продукта и, в конечном счете, экономическую эффективность технологического процесса.

Анализ ситуации в транспортно-складских системах показывает, что задачи длительного хранения без потери качества, бесперебойного и стабильного отпуска и загрузки сыпучих грузов еще не решены окончательно. Поэтому постоянно ведутся исследования этих процес-

сов, и продолжается поиск путей их совершенствования. Многообразие таких исследований и технических решений по конструкциям различных вспомогательных устройств свидетельствует о сложности данной задачи. Таким образом, совершенствование складских комплексов, используемых для хранения сыпучих грузов, их производства и дозирования, загрузки подвижного состава является актуальной задачей и требует углубленного изучения.

В настоящей работе отражены основные понятия процесса функционирования емкостей стационарного типа. Рассматриваемым вопросам посвящены работы таких специалистов, как Богомяких В.А., Боуманс Г., Буренин П.Д., Варламов А.В., Горюшинский В.С., Гячев Л.В., Дженике Э.В., Зенков Р.Л., Рогинский Г.А., Степанов А.Л., Третьяков Г.М. и др.

В работах перечисленных специалистов отражен опыт многих десятилетий, однако имеются разногласия в формулировках и понятиях процессов, происходящих в стационарных емкостях.

Опыт авторского коллектива, накопившийся за восьмилетний срок, позволил проанализировать работы перечисленных специалистов и сформулировать единую концепцию, логически выстроенную в предлагаемой работе в виде шести глав и двух приложений.

Горюшинским И.В. были выполнены следующие разделы: 1.5, 1.6, 2.2, 2.4, 2.5 и глава 5; в соавторстве с Денисовым В.В. и Кононовым И.И. – 1.1...1.4, 2.1, 2.3, 2.6, 2.8, 2.9, главы 3 и 4; в соавторстве с Петрушкиным Н.В. – раздел 2.7.

Главы 3 и 4 являются научным продуктом, полученным в результате многолетней работы в стенах Самарской государственной академии путей сообщения при всесторонней поддержке ОАО «Промжелдортранс» (ныне ОАО «ВолгаУралТранс»), и защищены патентами и охраняемыми документами на интеллектуальную собственность.

Отдельно необходимо выделить шестую главу данной работы, представленную к.т.н. Горюшинской Е.В., которая придала учебному пособию актуальность, т.к. пыление сыпучих грузов при погрузочно-разгрузочных работах является в настоящее время достаточно острым вопросом, связанным с проблемами экологии.

Авторский коллектив глубоко признателен к.т.н., доценту Варламову А.В. за обсуждение результатов и критические замечания, которые нашли отражение в разделе 2.7 «Побудители для стабилизации истечения в емкостях» и надеется на дальнейшее сотрудничество.

## Условные обозначения

$\tau_0$  – начальное сопротивление сдвигу;  
 $v$  – скорость;  
 $d_{\text{пр}}$  – предельный диаметр сводообразующего отверстия;  
 $d$  – диаметр выпускного отверстия;  
 $\sigma_r$  – горизонтальное давление;  
 $\sigma_z$  – вертикальное давление;  
 $\omega$  – угловая скорость;  
 $\xi$  – коэффициент бокового давления;  
 $R_r$  – гидравлический радиус;  
 $\rho$  – плотность материала;  
 $P$  – давление вышележащих слоев;  
 $P_0$  – давление на выделенный объем;  
 $n_k$  – количество колец, составляющих воронку;  
 $i_k$  – порядковый номер кольца;  
 $\alpha_{\text{наб}}$  – угол наклона набетонки;  
 $A$  – расчетный размер меньшей стороны выпускного отверстия;  
 $K_n$  – коэффициент надежности;  
 $K_{\text{ф}}$  – коэффициент формы выпускного отверстия;  
 $K_r$  – коэффициент гранулометрического состава;  
 $f$  – коэффициент трения;  
 $M$  – масса заготавливаемого зерна;  
 $K_c$  – коэффициент суточной неравномерности;  
 $K_{\text{ч}}$  – коэффициент часовой неравномерности;  
 $T$  – плановый период заготовки зерна;  
 $t_{\text{э}}$  – продолжительность работы элеватора за сутки;  
 $Q$  – производительность;  
 $z$  – число одновременно открываемых люков;  
 $F_{\text{п}}$  – площадь поперечного сечения потока груза;  
 $K_d$  – коэффициент деформации потока истекающего из вагона груза;  
 $E$  – относительная погрешность;  
 $D_{\text{в}}$  – диаметр барабана;  
 $n$  – частота вращения барабана;  
 $b$  – ширина слоя груза на ленте;  
 $h$  – высота слоя груза на ленте;  
 $L$  – длина транспортера;  
 $\alpha_{\text{п}}$  – угол наклона питателя к горизонту;  
 $G$  – вес метра ленты;  
 $G_1$  – вес транспортируемого груза на метре ленты;  
 $c$  – коэффициент разрыхления;  
 $i_{\text{я}}$  – число ячеек;  
 $D_{\text{ш}}$  – диаметр шнека;  
 $S$  – шаг винта;



$K$  – коэффициент наполнения;  
 $m$  – масса груза;  
 $R_k$  – средний радиус круга груза;  
 $r^{\lambda}$  – расстояние от центра тяжести до оси вращения;  
 $b_{\text{ж}}$  – ширина несущей части желоба;  
 $l$  – ход столба;  
 $K_{\text{п}}$  – коэффициент подачи;  
 $B_{\text{л}}$  – ширина лотка;  
 $\alpha_{\text{р}}$  – угол наклона ребра воронки;  
 $\alpha_{\text{с}}, \alpha_{\text{с1}}$  – угол наклона боковых стенок воронки;  
 $B$  – размер стороны выпускного отверстия;  
 $W_{\text{р}}$  – расчетная площадь выпускного отверстия;  
 $P_0$  – периметр выпускного отверстия бункера;  
 $V_{\text{к}}$  – объем кольца треугольного сечения;  
 $R_{\text{б}}, R_{\text{н}}$  – радиус основания конуса;  
 $B_{\text{н}}$  – ширина щели;  
 $M_{\text{в}}$  – сумма величин векторов модели;  
 $\gamma$  – насыпная плотность груза;  
 $\varphi$  – угол внутреннего трения;  
 $\lambda$  – коэффициент истечения сыпучего груза;  
 $\Theta$  – угол раскрытия воронки истечения;  
 $\beta$  – угол между пересекающимися плоскостями противоположных стенок бункера;  
 $V$  – объем сосуда;  
 $f_{\text{вн}}$  – коэффициент внутреннего трения;  
 $K_{\text{у}}$  – коэффициент уплотнения;  
 $\alpha$  – угол естественного откоса.

## ВВЕДЕНИЕ

Механизация погрузочно-разгрузочных работ — один из важнейших резервов повышения экономической эффективности технологических операций с сыпучими грузами.

Многообразие насыпных грузов, различающихся по свойствам и назначению, обуславливает применение различных бункеров, бункерных устройств, загрузочных приспособлений, стабилизаторов истечения, питателей и т. д. Все они относятся к системе транспортирующих механизмов для комплексной механизации грузопотока.

В связи с этим общеинженерная подготовка в железнодорожных вузах по специальностям 24 01 00 «Организация перевозок и управление на транспорте (железнодорожном)» сопровождается изучением курса «Транспортно-грузовые системы» и 17 09 00 «Подъемно-транспортные, строительные, дорожные машины и оборудование» - курсов «Подъемно-транспортные машины» и «Машины непрерывного транспорта». В процессе обучения студенты получают знания об особенностях процессов перегрузки сыпучих грузов, основных типах транспортирующих устройств, их характеристиках, области применения и методах расчетов. При изучении данных курсов студент самостоятельно определяет место и потребность в транспортно-грузовых комплексах транспортирующих машин и рассчитывает параметры их основных узлов с учетом условий работы и предъявляемых требований.

К сожалению, необходимые справочные материалы приведены в различных литературных источниках и, кроме того, в них не всегда учтена специфика работы железнодорожного транспорта, где вследствие значительной номенклатуры сыпучих грузов существует проблема выбора оборудования для их хранения и переработки. Все это существенно затрудняет освоение изучаемых дисциплин.

В предлагаемом учебном пособии представлены сведения о физико-механических свойствах грузов, методы и приборы для их определения, конструктивно-технологические схемы бункеров и бункерных устройств, в том числе современные разработки, и особенности их функционирования. Изложены методики и нормативные материалы, необходимые для расчета эффективности функционирования и технико-экономических показателей объектов транспортно-грузовых систем, а также экологические аспекты, связанные с организацией пылеподавления и охраной труда при работе с сыпучими грузами.

Учебное пособие может быть полезно студентам техникумов, ВУЗов и инженерным работникам, занимающимся комплексной механизацией процессов переработки насыпных грузов.

# 1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О НАСЫПНЫХ ГРУЗАХ, БУНКЕРАХ И ОСОБЕННОСТЯХ ИХ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ

## 1.1. Физико-механические свойства насыпных грузов

Процесс затаривания, хранения и выгрузки сыпучего груза из емкостей зависит от физико-механических свойств насыпного груза, что в значительной степени определяет конструкцию, форму емкости и выбор материала, из которого ее изготавливают.

Для совершенствования процесса истечения необходимо четко представлять происходящие внутри полости емкости явления.

На гравитационное истечение сыпучего груза из отверстия емкости влияют многие факторы, которые могут быть сгруппированы так: режимные (технологические) паузы в загрузке, выпуске, физико-механические свойства грузов и параметры элементов емкости (рис. 1.1).

На стабильность истечения грузов, а, следовательно, и процесс сводообразования, оказывают влияние повышенное содержание влаги и уплотнение груза над выпускным отверстием.



Рис.1.1. Классификация факторов, влияющих на гравитационный выпуск сыпучего груза из емкостей

*Влажность* определяется отношением массы испарившейся воды (после просушивания) к исходной массе взятого материала (в весовых процентах). Устойчиво просматривается связь увеличения слеживаемости, уплотнения, смерзаемости, теплостойкости, коррозии ограждающих конструкций и «дыхания» груза от повышения его влажности. С увеличением влажности значительно возрастают адгезия и аутогезия.

*Адгезия* в переводе с английского языка означает «прилипание, сцепление, притяжение», возникающее при контакте двух разнородных конденсированных тел. Она характеризует связь между двумя телами или силы взаимодействия частиц между поверхностями тел. Взаимодействие частиц с ограждающими конструкциями (стенки бункера, контейнера, тары) принято называть *аутогезией*.

Адгезионные силы могут быть больше сил аутогезии и наоборот. При разгрузке зернового груза, особенно мелкодисперсного (мука, отруби и т. п.), наблюдается «конкуренция» между адгезией и аутогезией. Если аутогезия преобладает над адгезией, то часть зернового груза остается в кузове, а если адгезия преобладает над аутогезией, то зерновой груз выгружается полностью.

Взаимосвязь между адгезией и аутогезией имеет большое значение на практике. Известно, что объемы сыпучих грузов составляют десятки миллионов тонн. Если в транспортных средствах (вагонах, автомобилях, контейнерах и другой таре) будут удерживаться доли процента груза, то потери составят сотни тысяч тонн.

*Гранулометрический состав* насыпного груза характеризуется количественным распределением составляющих частиц по крупности. Крупность частицы груза определяют по наибольшему ее линейным размерам.

Гранулометрический состав определяют ситовым анализом, просеивая взвешенную пробу через набор сит с размерами калиброванных отверстий, установленными ГОСТом (последовательно, от больших к меньшим). Эта операция обеспечивает разделение взятой пробы на отдельные фракции (рис.1.2). По размеру остаточной фракции на каждом сите устанавливают процентное содержание материала рассматриваемой крупности в пробе.

*Насыпная плотность* – это отношение массы насыпного груза к занимаемому им объему с учетом пор и промежутков между отдельными частицами. Насыпная плотность определенного груза неоднородна и зависит от гранулометрического состава и других факторов.

Насыпную плотность мелкофракционных грузов измеряют пуркой вместимостью 1 л. Она оснащена отсекателем для сбрасывания излишков при наполнении (рис.1.3). Уплотненный насыпной груз характеризуется плотностью, которая для одного и того же груза может варьироваться в широких пределах. При определении насыпной плотности груз насыпается в сосуд 1 через рамку 3 до ее верха; по оконча-

нии заполнения сосуда рамка поворачивается вокруг штыря 2 в положение а, причем излишек насыпного груза срезается и падает в поднос 4; затем рамка снимается со штыря и сосуд с насыпным грузом взвешивается. Насыпная плотность определяется по формуле

$$\gamma = \frac{G_0 - G_1}{V_1}, \text{ кг/м}^3, \quad (1.1)$$

где  $G_0$  – масса сосуда с насыпным грузом в кг;  
 $G_1$  – собственная масса сосуда в кг;  
 $V_1$  – объем сосуда в м<sup>3</sup>.

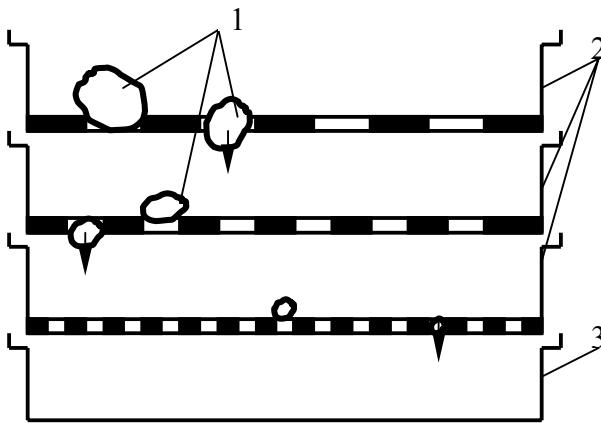


Рис. 1.2. Схема устройства для определения гранулометрического состава: 1- просеиваемый материал; 2- набор сит с разным диаметром отверстий; 3- поддон для мелкой фракции

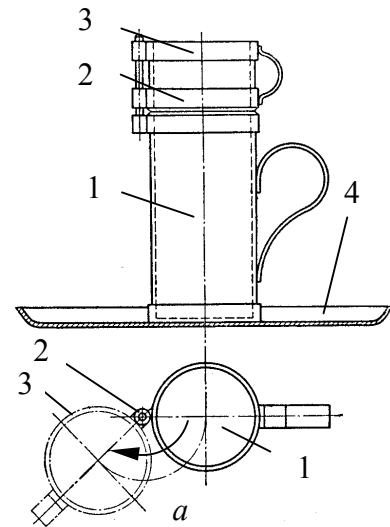


Рис. 1.3. Схема пурки для определения насыпной плотности сыпучих грузов

*Коэффициент уплотнения насыпного груза* — отношение его уплотненной массы к массе того же объема до уплотнения. Условия заполнения насыпного груза определенного объема формирует начальный коэффициент уплотнения, значение которого имеет существенный диапазон. В этой величине доминирующее место занимают динамические нагрузки и вибрация, в результате которых материалы претерпевают структурное переформирование — мелкие частицы укладываются в порах между более крупными. При этом воздух вытесняется из пор, число контактов частиц между собой увеличивается, что сопровождается возникновением молекулярных сил. Насыпной груз уплотняется, его плотность повышается. Установлено, что коэффициент уплотнения  $K_y$  увеличивается с ростом коэффициента внутреннего трения  $f_{вн}$  по зависимости

$$K_y = 1 + 0,2 f_{вн}. \quad (1.2)$$

Различные насыпные грузы имеют довольно большой разброс изменений коэффициента уплотнения: от 1,05 до 1,52 (нижний предел характерен хорошо сыпучим грузам). Следует отметить, что процесс уплотнения приводит к возрастанию начального сопротивления сдвигу, а его значение характеризует сыпучесть.

*Угол естественного откоса* — угол между горизонтальной плоскостью и линией откоса насыпного груза при свободной его отсыпке. При истечении груза на горизонтальную плоскость образуется горка с некоторым углом откоса, который соответствует равновесию частиц. Угол естественного откоса является наибольшим углом, образованным линией естественного откоса с горизонтальной плоскостью и служит одним из основных показателей подвижности груза. Значение угла естественного откоса отвечает действию сил трения, зависящих от формы, размеров частиц и их влажности. Увеличение последней способствует росту рассматриваемой характеристики. Угол естественного откоса для большинства насыпных грузов не превышает 60° (при естественной влажности). Минимальному углу естественного откоса соответствует наибольшая подвижность частиц рассматриваемого груза.

Угол естественного откоса в покое и в динамике имеет различные значения. Причем угол естественного откоса в движении меньше его значения в покое и составляет  $\varphi_{дв} = 0,74 \varphi_{п}$ . Угол естественного откоса определяют с помощью угломерных инструментов. На рис.1.4 представлена схема прибора для определения угла естественного откоса сыпучих грузов. Прибор состоит из емкости 1 с поворотным затвором 2 и горизонтальной площадки, имеющей вертикальную 3 и горизонтальную линейку, точка отсчета последних размещена соосно емкости. После открытия затвора груз высыпается на горизонтальную площадку с малой высоты с углом естественного откоса, который определяется из выражения

$$\alpha = \arctg \frac{h}{r}, \quad (1.3)$$

где  $h$  — высота образованного грузом конуса;  
 $r$  — радиус указанного конуса.

*Начальное сопротивление сдвигу*  $\tau_0$  характеризует подвижность частиц, связанность насыпного груза, определяет силу сцепления частиц и имеет размерность ньютон на метр квадратный (Н/м<sup>2</sup>).

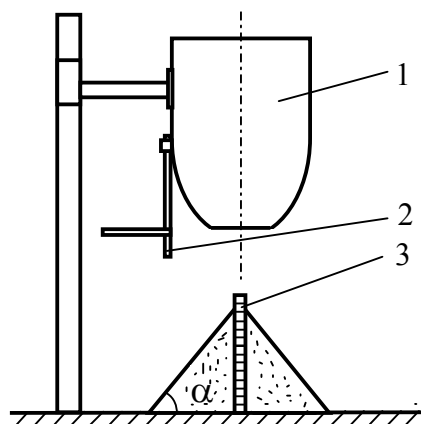


Рис. 1.4. Схема прибора для определения угла естественного откоса сыпучих грузов

Начальное сопротивление сдвигу фиксируют в лабораторных условиях по полученной построением зависимости нормального напряжения и напряжения сдвига данным. С их помощью могут быть получены угол и коэффициент внутреннего трения ( $\varphi$ ,  $f_{вн}$ ). При этом устанавливается функциональная зависимость между сопротивлением сыпучей среды сдвигу и нормальным напряжением.

*Коэффициент внешнего трения* насыпного груза об ограждающие конструкции соответствует тангенсу угла, отражаемого прямой с осью абсцисс в состоянии покоя груза. Угол наклона плоскости, с которой свободно скатываются частицы рассматриваемого груза, является углом трения. Угол трения существенно влияет на выбор угла наклона стенок и ребер бункера. Сопротивление насыпного груза сдвигу по ограждающим конструкциям определяют на тех же приборах, что и внутреннее сопротивление сдвигу. Схема прибора для определения коэффициентов трения представлена на рис.1.5. Он состоит из желоба 1, заполняемого исследуемым грузом, и подвижной рамки 4. Рамка 4 катками 6 опирается на направляющие 3 и соединена с грузовой чашкой 9 посредством троса 7, перекинутого через блок 8. Образец в рамке 4 уплотняется при помощи прижимной пластины с грузами 5. Поверхность сдвига в желобе 1 может меняться при установке пластины 2 для определения внешнего трения (сталь, фторопласт, и т.д.).

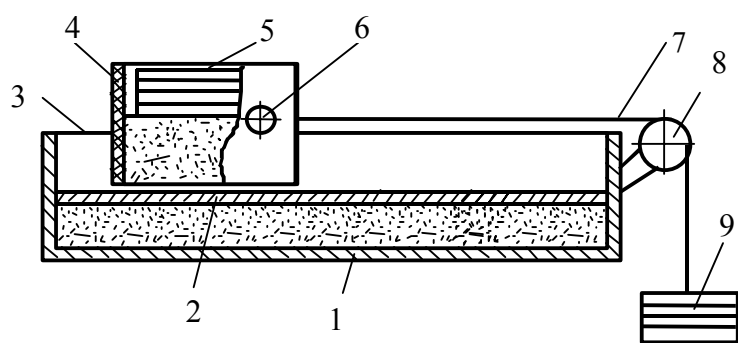


Рис.1.5. Схема установки для определения коэффициентов трения

*Высоту свободно стоящей вертикальной стенки* груза измеряют при помощи прибора, представленного на рис.1.6, в следующей последовательности. В открытый ящик 1, оснащенный подвижной стенкой 2, загружают испытуемый груз равными горизонтальными слоями. При открытии замка 3 и плавном опускании подвижной стенки связный груз остается неподвижным без обрушения свободно стоящего вертикально испытуемого груза. После достижения предельно допустимой высоты стенки испытуемого груза за счет опускания подвижной стенки ящика она обрушивается. Высоту свободно стоящей вертикальной стенки используют наряду с другими физико-механическими свойствами грузов для определения начального сопротивления сдвигу.

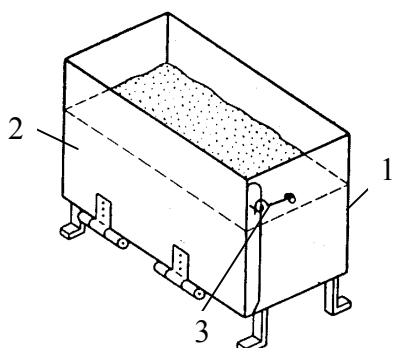


Рис.1.6. Прибор для определения высоты свободно стоящей вертикальной стенки насыпного груза

*Предельный диаметр сводообразующего отверстия* оказывает значительное влияние на выбор площади поперечного сечения выгрузного люка емкости. Выгрузное отверстие с наибольшей площадью, при которой наблюдается явление сводообразования, называют сводообразующим отверстием. Последнее определяют экспериментально с помощью прибора. Площадь отверстия зависит от связности груза: большему сводообразующему отверстию соответствует более связный груз. По предельному размеру сводообразующего отверстия оценивают и сравнивают способность различных насыпных грузов к истечению. Рассматриваемый показатель зависит также от гранулометрического состава груза.

Предельный диаметр сводообразующего отверстия для хорошо-сыпучих грузов можно определить эмпирически:

$$d_{\text{пр}} = A \epsilon^{ba}, \quad (1.4)$$

где  $A$  и  $b$  — постоянные ( $A = 4,64$ ,  $b = 0,244$ );

$a$  — наибольший размер средней частицы груза, мм.

*Сыпучесть* оценивают временем высыпания определенной массы испытуемого груза из конусообразной воронки с углом раствора  $60^\circ$  через отверстие диаметром 15 мм.

Сыпучесть отождествляют с таким состоянием груза, при котором между его частицами отсутствует сплошная материальная связь. В процессах транспортирования и хранения сыпучесть рассматривают как комплексный показатель физико-механических свойств. Наряду с физико-механическими свойствами рассматриваемого груза на сыпучесть существенно влияют параметры хранилища, выпускной воронки, ее форма и размер отверстия, высота слоя засыпки.

Сыпучесть количественно оценивают *коэффициентом сыпучести* (подвижности)  $m$ , который характеризует способность частиц груза к относительной подвижности:

$$m = \frac{1 - \sin \varphi}{1 + \sin \varphi}, \quad (1.5)$$

где  $\varphi$  — угол естественного откоса, град.

Свойство некоторых насыпных грузов терять сыпучесть при хранении отождествляется со слеживаемостью. Слеживаемость является следствием длительного хранения насыпных грузов в состоянии покоя, т. е. длительного воздействия гравитационных сил. Их действие при длительном хранении может превратить названные грузы в конгломераты (рис.1.7).

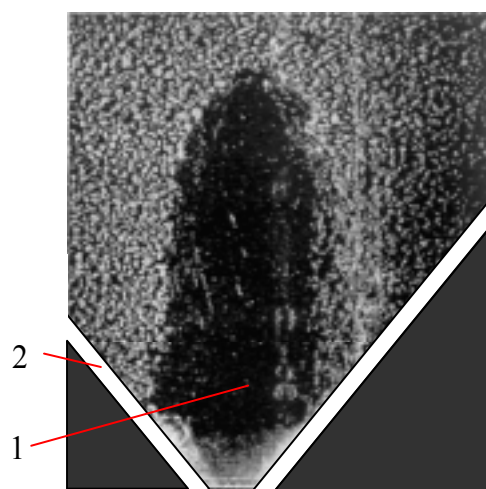


Рис. 1.7. Слежавшийся груз после длительного хранения:

1 — пустота в толще груза;  
2 — стенки емкости



Явление слеживаемости следует рассматривать как проявление сцепления частиц насыпных грузов. Динамические нагрузки ускоряют процесс слеживаемости. При этом выпуск грузов значительно затрудняется. Использование для побуждения истечения ударных нагрузок приводит к образованию пустот (устойчивых статических сводов) над выгрузным отверстием (см. рис.1.7). Устойчивость пустот зависит от сил аутогезии частиц и площади поперечного сечения выпускного отверстия.

*Сводообразование* — образование сводов в емкостях в процессе выпуска сыпучего груза. Возникшие своды разделяют на неустойчивые и статически устойчивые своды.

Неустойчивые своды в процессе движения вышележащих слоев периодически разрушаются и появляются при всех видах истечения и в любом сечении емкости.

*Сегрегация груза* — расслоение его частиц по крупности, форме и плотности. Сегрегация частиц груза по крупности наблюдается при свободном его падении в случае, если частицы имеют горизонтальную составляющую скорости, и при ударе потока о наклонную плоскость (загрузка конвейером или наклонной воронкой).

Удар потока груза о наклонную поверхность способствует скатыванию его частиц по уклону с увеличенной траекторией движения частиц более крупных, тяжелых и округлых по сравнению с мелкими, легкими и чешуйчатыми. Последние остаются в месте соударения с наклонной плоскостью.

*Гигроскопичность* — свойство груза поглощать водяные пары из воздуха или выделять их. Сухой гигроскопичный груз поглощает влагу до тех пределов, при которых его влажность сопоставляется с влажностью окружающей среды. Пониженная влажность окружающей среды приводит к выделению из груза влаги, высыханию. Поглощение влаги вызывает гнилостные процессы в грузах органического происхождения, увеличивает слеживаемость сыпучих грузов. Высыхание приводит к пылению дисперсных грузов, потере технологических качеств.

*Самовозгорание* — способность некоторых грузов органического происхождения повышать свою температуру до самовозгорания.

«Дыхание» перевозимых грузов (органического происхождения) заключается в окислительных процессах находящихся в их составе жиров и углеводов. Эти процессы сопровождаются выделением теплоты, в результате чего повышаются температура и влажность материала, ускоряются биологические процессы, размножаются болезнетворные микробы и вредители продуктов.

В приложении 1 представлены физико-механические свойства насыпных грузов.

## **1.2. Влияние условий хранения и транспортировки на характеристики грузов**

### **1.2.1. Номенклатура сельскохозяйственных грузов при производстве комбикормов**

Кормовая база производства комбикормов основана на использовании до 100 наименований компонентов. Наибольшая составляющая комбикормов – растительная. В нее входят зерновые материалы. На каждую тонну комбикорма приходится 65..70% этого вида грузов.

В балансе сырья важную роль играют побочные продукты мукомольных, крупяных заводов (отруби, мучка) и производства растительных масел (жмых, шрот). В структуре комбикормов отруби и мучка могут составлять 10..15%, а жмыхи и шроты - до 7%. Измельченное зерно, отруби и мучка относятся также к зерновым грузам.

Жмых, шрот, мука травяная, мука хвойная и подобные им кормовые добавки растительного происхождения относятся к категории белково-витаминных добавок (БВД).

Важнейшими компонентами комбикормов являются корма животного происхождения (мясная, мясокостная, кровяная мука, сухое обезжиренное молоко, рыбная, креветочная, крабовая мука). Эти компоненты относятся к грузам, наиболее полно отвечающим требованиям контейнеризации и пакетирования. Они, как правило, удалены от потребителя на значительное расстояние. Их поставки сопряжены с взаимодействием нескольких видов транспорта (морского, железнодорожного, автомобильного). В зависимости от вида комбикорма содержание этих компонентов колеблется от 3...5 до 55...60%. Рассмотренную группу компонентов относят к не зерновым грузам.

Для обогащения комбикормов питательными веществами их состав пополняется продуктами микробиологического синтеза – кормовыми дрожжами, аминокислотами и другими премиксами. Этот вид грузов поставляется на комбикормовые производства в таре.

Непременным компонентом комбикормов является сырье минерального происхождения. В качестве минерального сырья используют сухо молотый мел, поваренную соль, ракушечник, фосфаты, ракушечную муку, бетонитовые глинопорошки и т.п. Для ввода сырья минерального происхождения в готовую продукцию (1...7%) поставки его осуществляются железнодорожным и автомобильным транспортом в таре. Этот вид груза можно отнести к химическим грузам.

Анализируя поставки сырья и готовой продукции комбикормовой отрасли, следует отметить, что зерновые грузы потребитель получает, как правило, бестарно (в вагонах-хопперах, грузовых автомобилях).

Перевозки и складирование кормов животного происхождения, продуктов микробиологического синтеза и минерального сырья осуществляются, в основном, в таре (с тенденцией расширения поставок

в контейнерах). Готовая продукция комбикормовой отрасли – комбикорма - может перевозиться бестарно, но в северных районах из-за использования смешанных видов транспорта целесообразно применять пакетные и контейнерные поставки.

### 1.2.2. Грузы минерального происхождения

К грузам минерального происхождения относятся шпат полевой, цеолит, мел, соль и ряд других.

Результаты исследований хранения соли и мела в различных условиях позволили сделать следующие выводы:

- хранение соли в открытых жестких емкостях сопровождается значительной слеживаемостью (аутогезией) и адгезией к стенкам емкости. Исходя из этого, предпочтительной формой жестких контейнеров является усеченный конус или усеченная пирамида с расширением в сторону выгрузки и днищем, открывающимся по всему сечению уширенной части емкости;
- хранение соли в трехслойных полиэтиленовых мешках, обеспечивающих ограниченный воздухообмен с окружающей средой и достаточно полно имитирующих временное складирование в мягких контейнерах, позволяет интенсифицировать процесс выпуска ее из мешков.

Данные о хранении соли и мела в многооборотных мягких контейнерах типа МК-2-1,5 в зимне-весенний период при их укладке в 2 яруса и хранении на открытой площадке в производственных условиях приведены в табл. 1.1.

*Таблица 1.1*

Изменение состояния соли и мела в процессе хранения  
в мягких контейнерах типа МК-2-1,5 в зимне-весенний период

| Показатель                                | Сроки хранения соли, в сутках |       |       |       |       |      |
|-------------------------------------------|-------------------------------|-------|-------|-------|-------|------|
|                                           | Исходное состояние            | 5     | 10    | 15    | 20    | 28   |
| Соль                                      |                               |       |       |       |       |      |
| 1. Влажность, %                           | 0,27                          | 0,38  | 0,28  | 0,45  | 0,32  | 0,27 |
| 2. Объемная плотность, кг/см <sup>3</sup> | 1,14                          | 1,06  | 1,12  | 1,05  | 1,06  | 1,12 |
| Мел                                       |                               |       |       |       |       |      |
| 1. Влажность, %                           | 11,00                         | 11,82 | 12,53 | 12,61 | 12,63 | -    |
| 2. Объемная плотность, кг/см <sup>3</sup> | 0,84                          | 0,85  | 0,87  | 0,87  | 0,88  | -    |

Примечание. Данные, приведенные в этой таблице, получены при следующих условиях: средняя максимальная и средняя минимальная относительная влажность воздуха соответственно 82...100 и 42...91 %, а средняя максимальная и средняя минимальная температура воздуха от –6 до +4 и от –1 до –16 °С.

Эти данные свидетельствуют о незначительной реакции содержимого контейнеров в процессе хранения на изменение характеристик окружающей среды. Такое явление возможно при ограниченном воздухообмене с окружающей средой. Слеживаемость (аутогезия) соли и мела в процессе хранения в полости контейнера незначительна. При неподвижном состоянии контейнеров соль принимает форму контейнера. Грузовые операции с заполненным контейнером приводят к рыхлению его содержимого и гравитационному истечению соли.

Мел в процессе хранения не слеживается и в течение всего периода хранения остается в рыхлом состоянии.

В связи с тем, что размеры выгрузного люка (0,6×0,6 м) составляют лишь треть площади поперечного сечения контейнера (1,1×1,1 м), груз полностью не извлекается. Он может быть удален внешним воздействием, которое деформирует контейнер до размеров разгрузочного люка. Хранение соли и мела в контейнерах на открытой площадке при соблюдении инструкции затаривания исключает попадание влаги в полость контейнера.

Проверка технологических приемов загрузки, хранения и растаривания мягких контейнеров свидетельствует о том, что этот тип контейнеров наиболее пригоден для погрузочно-разгрузочных и транспортно-складских (ПРТС) операций с минеральным сырьем.

### 1.2.3. Продукты микробиологического синтеза

К наиболее характерным для этой группы компонентам относятся дрожжи кормовые и кормовой концентрат лизина. Качество комбикормов и биологических витаминных добавок (БВД) с наличием кормовых дрожжей сохраняется лучше в полиэтиленовых мешках по сравнению с мешками из крафт-бумаги и тканевыми мешками. В полиэтиленовых мешках после 4 месяцев хранения БВД снижение сыпучести не наблюдается. После 2,5 месяцев хранения названного компонента в крафт-мешках отмечены слеживаемость, плесневение и развитие насекомых вредителей.

В крафт-мешках более интенсивно разрушается витамин В<sub>2</sub>, увеличивается кислотное число жира БВД по сравнению с хранением в полиэтиленовых мешках. В тканевых мешках сохранность БВД хуже, чем в крафт-мешках. Отмечена длительная сохранность (150 сут.) рыбной муки при хранении в полиэтиленовых мешках с регулируемой газовой средой (при 1 % кислорода). Установлено также, что хранение в полиэтиленовой упаковке предохраняет высокобелковые продукты от увлажнения и развития микроорганизмов, тормозит процессы расщепления жира, повышает сохранность витаминов.

Рекомендуемый срок хранения в контейнерах МКР-1,0М: дрожжей гидролизных кормовых — не более 6 мес., концентрата лизина — не более 3 мес.

#### 1.2.4. Минеральные удобрения

Многочисленными исследователями были изучены физико-механические и химические свойства минеральных удобрений при контейнерной транспортировке их на открытом подвижном составе и хранении на открытых площадках (прил. 1, табл.1.4).

Прочность гранул суперфосфата ( $100 \text{ Н/см}^2$  и более) позволяет рекомендовать этот вид удобрений для поставок и хранения как в контейнерах, так и насыпью независимо от технологии изготовления (камерным способом или поточным методом).

Заполнение контейнеров нитрофоской Воскресенского химкомбината, карбамидом Новгородского п/о «Азот», аммиачной селитрой Череповецкого азотно-тукового завода при температуре свыше  $30^\circ\text{C}$  приводит к слеживаемости. Они не имеют указанного недостатка при охлаждении их до температуры ниже  $30^\circ\text{C}$  и влажности по ГОСТ. На слеживаемость аммиачной селитры влияют также гранулометрический состав, марка и процент добавок. Наилучшая сохранность аммиачной селитры обеспечивается при добавке против слеживаемости магнетита.

Непременное условие гравитационной выгрузки минеральных удобрений из контейнера — прочность на раздавливаемость слежавшегося удобрения, не превышающая  $0,16 \text{ Па}$ .

Компоненты для приготовления тукосмесей и возможность контейнеризации названных грузов следует выбирать в соответствии с табл. 1.2.

Таблица 1.2

Допустимость смешивания при загрузке минеральных удобрений  
в контейнеры

| Удобрения                       | Сульфат аммония<br>гранулированный | Сульфат аммония<br>кристаллический | Аммиачная селитра | Мочевина | Суперфосфат порошковый | Суперфосфат гранулированный | Аммофос, диаммофос | Нитроаммофос, нитрофос | Нитроаммофоска, нитрофоска | Карбоаммофос | Карбоаммофоска | Хлор.калий гранулир. крупноз | Хлор.калий мелкий |
|---------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|-------------------|----------|------------------------|-----------------------------|--------------------|------------------------|----------------------------|--------------|----------------|------------------------------|-------------------|
| Сульфат аммония гранулированный | Н                                  | С                                  | С                 | С        | Н                      | С                           | С                  | С                      | ПВ                         | ПВ           | ПВ             | С                            | Н                 |
| Сульфат аммония кристаллический | Н                                  | С                                  | Н                 | Н        | ПВ                     | Н                           | Н                  | Н                      | Н                          | Н            | Н              | Н                            | С                 |
| Аммиачная селитра               | С                                  | Н                                  | С                 | Н        | Н                      | ПВ                          | С                  | С                      | ПВ                         | Н            | Н              | С                            | Н                 |

|                                        |    |    |    |    |    |    |    |   |    |    |    |    |    |
|----------------------------------------|----|----|----|----|----|----|----|---|----|----|----|----|----|
| Мочевина                               | С  | Н  | Н  | С  | Н  | ПВ | С  | Н | Н  | ПВ | ПВ | С  | Н  |
| Суперфос-<br>фат порош-<br>ковый       | С  | Н  | ПВ | ПВ | Н  | С  | С  | С | ПВ | ПВ | ПВ | С  | Н  |
| Суперфос-<br>фат грану-<br>лированный  | Н  | ПВ | Н  | Н  | С  | Н  | Н  | Н | Н  | Н  | Н  | Н  | ПВ |
| Аммофос,<br>диаммофос                  | С  | Н  | С  | С  | Н  | С  | С  | С | ПВ | ПВ | ПВ | С  | Н  |
| Нитроам-<br>мофос,<br>нитрофос         | С  | Н  | С  | Н  | Н  | С  | С  | С | С  | Н  | Н  | С  | Н  |
| Нитроаммо-<br>фоска,<br>нитрофоска     | ПВ | Н  | ПВ | Н  | Н  | ПВ | ПВ | С | С  | Н  | Н  | ПВ | Н  |
| Карбоам-<br>мофос                      | ПВ | Н  | Н  | ПВ | Н  | ПВ | ПВ | Н | Н  | С  | С  | С  | Н  |
| Карбоам-<br>мофоска                    | ПВ | Н  | Н  | ПВ | Н  | ПВ | ПВ | Н | Н  | С  | С  | ПВ | Н  |
| Хлор.калий<br>гранулир.<br>крупнозерн. | С  | Н  | С  | С  | Н  | С  | С  | С | ПВ | С  | ПВ | С  | Н  |
| Хлор.калий<br>мелкий                   | Н  | С  | Н  | Н  | ПВ | Н  | Н  | Н | Н  | Н  | Н  | Н  | С  |

Примечание:

Н – смешивать не рекомендуется;

ПВ – можно смешивать перед внесением;

С – смешивать можно

### 1.2.5. Строительные вяжущие грузы

Вяжущие вещества по составу делят на две большие группы:

- 1) органические (битумы, дегти, животный клей, полимеры), которые переводят в рабочее состояние нагреванием, расплавлением или растворением в органических жидкостях;
- 2) неорганические (известь, цемент, строительный гипс, жидкое стекло и др.), которые растворяют водой (реже водными растворами солей).

Неорганическими вяжущими веществами называют порошкообразные материалы, которые при смешивании с водой образуют пластично-вязкое тесто, способное со временем самопроизвольно затвердевать в результате физико-химических процессов. Переходя из тестообразного в камневидное состояние, вяжущее вещество скрепляет между собой камни либо зерна песка, гравия, щебня. Это свойство вяжущих веществ используют для изготовления бетонов, силикатного кирпича, асбестоцементных и других необожженных искусственных материалов, строительных растворов — кладочных, штукатурных и специальных.

Неорганические вяжущие вещества включают воздушные, гид-

равлические и автоклавного твердения.

*Воздушные вяжущие вещества* способны затвердевать и длительное время сохранять прочность только на воздухе. По химическому составу они делятся на четыре группы: 1) известковые вяжущие, состоящие главным образом из окиси кальция  $\text{CaO}$ ; 2) магнезиальные вяжущие, содержащие каустический магнезит  $\text{MgO}$ ; 3) гипсовые вяжущие, основой которых является сернокислый кальций; 4) жидкое стекло – силикат натрия или калия (в виде водного раствора).

Воздушная строительная известь получается путем обжига до удаления углекислоты кальциево-магниевого горного пород (известняков, доломитов), содержащих не более 6% глинистых примесей. Известь строительную воздушную подразделяют на следующие виды:

- известь негашеную комовую или молотую ( $\text{CaO}$ );
- известь гидратную или пушенку –  $\text{Ca(OH)}_2$  – продукт гидратации негашеной извести;
- известь молотую карбонатную – порошкообразную смесь негашеной извести и карбонатных пород, молотых совместно.

Воздушная известь обеспечивает отверждение строительных растворов, а также сохранение их прочности в воздушно-сухих условиях.

Воздушный вяжущий гипс получают путем термической обработки природного двухводного гипса  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  при температуре 150–180°C до превращения его в полуводный гипс  $\text{CaSO}_4 \cdot 0,5\text{H}_2\text{O}$  с предшествующим размолотом в тонкий порошок.

Качество гипса определяют по ГОСТ 125-70, согласно которому гипс разделяется на три сорта.

*Гидравлические вяжущие вещества* твердеют и длительное время сохраняют прочность (или даже повышают ее) не только на воздухе, но и в воде. По своему химическому составу гидравлические вяжущие вещества представляют собой сложную систему, состоящую в основном из соединений четырех окислов:  $\text{CaO—SiO}_2\text{—Al}_2\text{O}_3\text{—Fe}_2\text{O}_3$ . Эти соединения образуют три основные группы гидравлических вяжущих веществ: 1) силикатные цементы, состоящие преимущественно (на 75%) из силикатов кальция; к ним относится портландцемент и его разновидности — главные вяжущие вещества современного строительства; 2) алюминатные цементы, вяжущей основой которых являются алюминаты кальция; главным из них является глиноземистый цемент и его разновидности; 3) гидравлическая известь и роман-цемент.

*Вяжущие вещества автоклавного твердения* — это вещества, способные при автоклавном синтезе, происходящем в среде насыщенного водяного пара, затвердевать с образованием прочного цементного камня. В эту группу входят: известково-кремнеземистые, известково-золевые, известково-шлаковые вяжущие вещества, нефелиновый цемент и др.

### 1.3. Общие сведения о бункерах и бункерных устройствах

**Бункер** – это емкость для хранения и самотечной разгрузки сыпучих грузов, имеющая малую глубину по сравнению с размерами в плане (рис.1.10). Глубина  $H$  вертикальной части обычно меньше максимального размера бункера в плане  $D$  (в 1,5...2 раза). Выпускные отверстия бункеров часто перекрываются затворами для частичного или полного прекращения истечения материала при гравитационном опорожнении бункеров. Последние имеют несколько разновидностей, отличающихся, как правило, по размерам и назначению (приемные, отпускные и промежуточные бункера, силоса). Схема расположения таких емкостей на производстве представлена на рис.1.11.

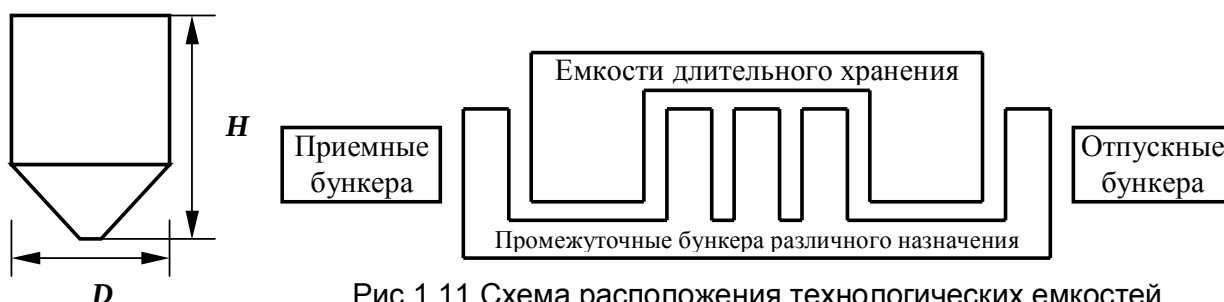


Рис. 1.10. Схема бункера

**Приемные бункера** предназначены для приема сыпучих грузов из транспортных средств, компенсируя неравномерность подачи в склад или в технологическую линию, поэтому размеры бункера должны обеспечивать достаточный фронт разгрузки.

**Промежуточные бункера** служат для операций, связанных с хранением и отпуском груза внутри производственно-технологических линий. К ним относятся емкости, обеспечивающие длительное хранение силоса, а также операции сушки, дозирования, смешивания и др.

**Силоса** имеют цилиндрическую или призматическую форму, отношение высоты стенки  $H$  к наименьшему размеру  $D$  поперечного сечения равно двум и более (см. рис.1.10). Однако высота их ограничивается несущей способностью грунта и не превышает 30 м. Зарубежные стандарты допускают возведение силосов высотой 40...60 м. В соответствии с этим, они компонуются в силосные корпуса по 20...30 силосов. Материалом для их изготовления служит железобетон и сталь, реже – кирпич, дерево и стекловолокно.

**Отпускные бункера** используются для накопления, кратковременного хранения и отгрузки сыпучего груза в тару и транспортные средства.

Все вышеперечисленные разновидности емкостей оснащаются приспособлениями и механизмами, обеспечивающими стабилизацию их функционирования. К последним относятся загрузочные приспособ-



собрания, затворы, питатели, активные и пассивные побудители истечения. Классификация емкостей для сыпучих грузов в стационарном исполнении с разновидностями бункерных приспособлений представлена на рис.1.12.

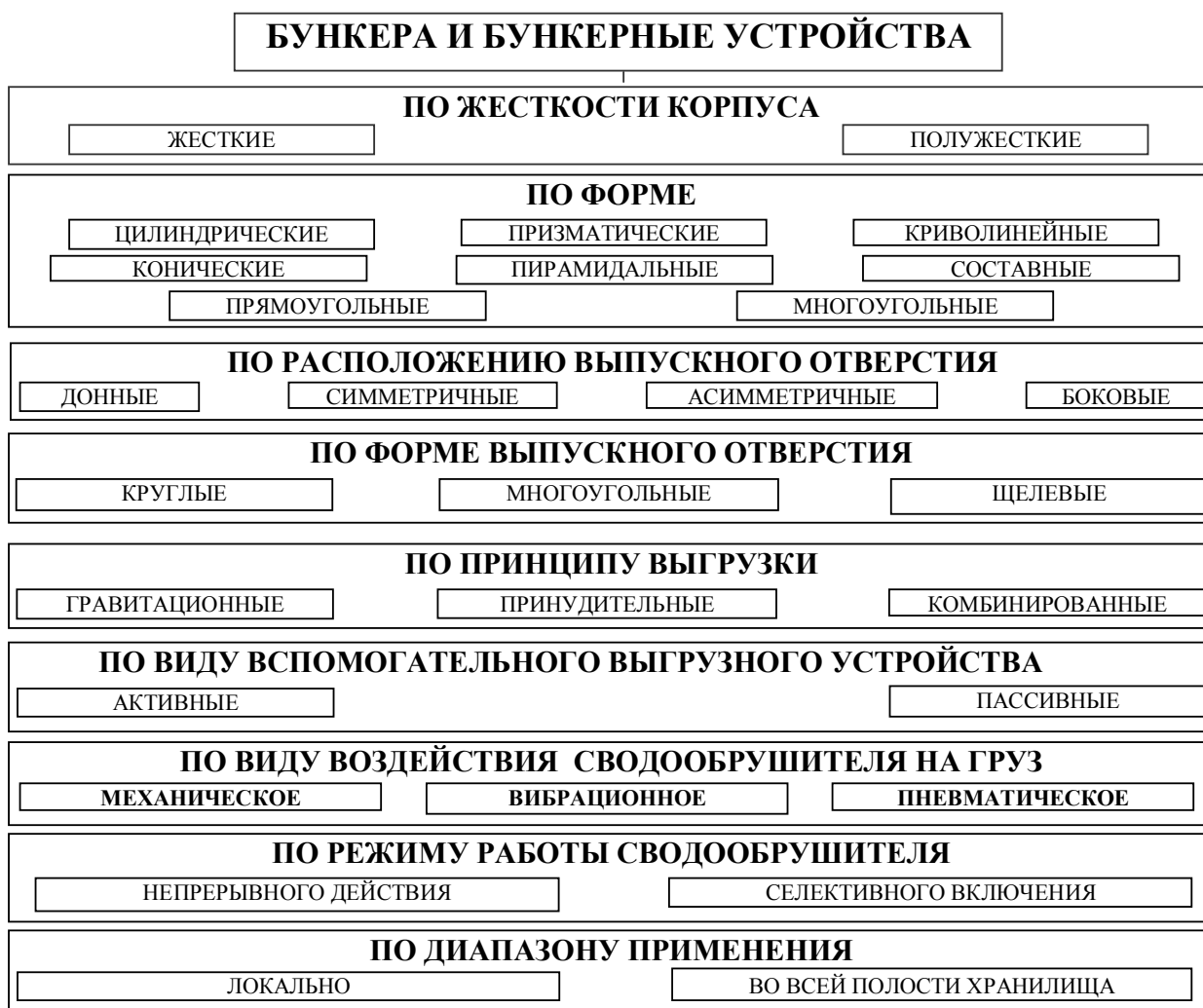


Рис. 1.12. Классификация бункеров и бункерных устройств для сыпучих грузов

**Бункерное устройство** – это саморазгружающаяся емкость для сыпучих грузов.

**Загрузочные приспособления** – это технические средства, предназначенные для оптимизации заполнения емкости сыпучими грузами.

**Затворы** - служат для регулирования и перекрытия потока груза из выпускных отверстий бункера.

**Питателями** называют механизмы, при помощи которых осуществляется равномерная регулируемая подача сыпучих грузов из емкостей в технологическую линию (непосредственно или через промежуточные емкости).

Непрерывное истечение плохосыпучих грузов из бункеров в некоторых случаях удается осуществить только с помощью специальных

побуждающих устройств – побудителей. По режиму функционирования побудители могут быть импульсные и постоянного действия. К побудителям истечения относятся механизмы, передающие энергию привода сыпучему грузу. При выборе типа побудителя необходимо учитывать физико-механические (гранулометрический состав, влажность, адгезию и др.) и химико-биологические свойства груза (жирность, клейковина и др.), а также геометрические параметры емкости.

**Стабилизаторами истечения** называются устройства, перераспределяющие давление груза в емкости. Пассивный стабилизатор истечения в некоторых случаях может быть неотъемлемой частью загрузочных устройств.

#### 1.4. Анализ классических форм истечения грузов из бункеров и силосов

Анализ схем технологических операций с сыпучими грузами в транспортно-складских комплексах показывает, что бункеры являются неотъемлемым элементом складской системы. Это справедливо для любых форм поставок, как в тарированном виде, так и в бестарном. Качественная и бесперебойная работа транспортно-складских комплексов на загрузке подвижного состава и внутрискладских транспортировках груза зависит от отлаженности технологического процесса производства и, в том числе, от стабильного истечения грузов из емкости хранения.

Процесс истечения сыпучих грузов из бункеров нарушается, в первую очередь, вследствие возникновения явлений сводообразования. Особенно сильно этому явлению подвержены связные грузы. Классическая наука о процессе истечения грузов из емкостей применима лишь для сыпучих грузов незначительной связности и не рассматривает явление сводообразования. Для подавления сводообразования используются различные технические устройства, которые воздействуют на сыпучий груз, стимулируя его истечение активным либо пассивным способом. Тем не менее, и в зоне питателя при диаметре потока  $d_n$ , меньшем диаметра наибольшего сводообразования  $d_{н.с.}$ , над выпускным отверстием создается подпор груза, стимулирующий образование сводов.

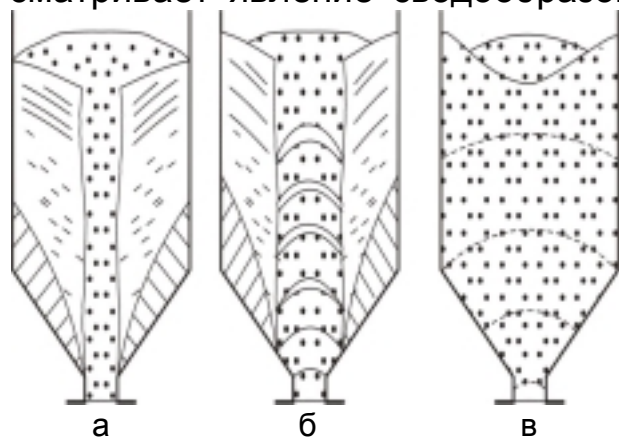


Рис.1.13. Изменение формы истечения из ёмкости с повышением связности грузов:

а- малой связности; б– повышенной связности; в– высокой связности

Для подавления сводообразования используются различные технические устройства, которые воздействуют на сыпучий груз, стимулируя его истечение активным либо пассивным способом. Тем не менее, и в зоне питателя при диаметре потока  $d_n$ , меньшем диаметра наибольшего сводообразования  $d_{н.с.}$ , над выпускным отверстием создается подпор груза, стимулирующий образование сводов.

На основании исследований А.Л. Степанова известно три типичных формы истечения грузов

различной степени связности из бункерно-силосных емкостей (рис.1.13):

I – свободное истечение сыпучего груза малой связности из выгрузного отверстия диаметром  $d$  с образованием потока диаметром  $d_n$  ( $d/d_n > 1$ ), обрушением откосов в образующуюся воронку и наличием незначительных остатков на днище емкости (рис.1.13а);

II – истечение сыпучего груза повышенной связности с пульсацией и образованием динамических сводов в зоне выгрузки (рис.1.13б). При  $d/d_n \approx 1$  истечение неустойчивое, с увеличением  $d_n$  требуется внешнее воздействие;

III – отсутствие гравитационного выпуска груза высокой связности из-за статических сводов при  $d < d_n$  (рис.1.13в). Разгрузка емкости производится с применением специальных выгрузных устройств. Для хранения таких грузов вместо бункеров целесообразно применение шатровых складов с крейцер-кранами.

Таким образом, для связных грузов применение бункерно-силосных емкостей возможно лишь в случаях, когда обеспечиваются формы истечения груза типа I и II. Выгрузка высокосвязных грузов из бункерно-силосных емкостей может быть осуществлена при рациональном сочетании гравитационного и принудительного выноса сыпучих грузов из полости емкости. Управление процессом извлечения должно осуществляться при помощи сводообрушителей, затворов и питателей. Кроме того, сводообрушители изменяют свойства груза в зоне выпуска, что способствует обеспечению заданной производительности выгрузки, подавлению процесса сегрегации груза, частичному восстановлению сыпучести слежавшегося материала и т.п.

Бесперебойное и равномерное истечение груза из емкостей в значительной степени зависит от следующих факторов: режима функционирования бункера, конфигурации и конструкции корпуса и выгрузной воронки, месторасположения и размера выпускного отверстия и физико-механических свойств груза.

Рогинским Г.А. высказано мнение, что сыпучий груз имеет способность сохранять равновесие в пределах, обусловленных силами внутреннего трения. При открытии затвора груз лишается части опоры столба насыпи, при этом нарушается равновесие частиц груза в емкости. Частицы груза, примыкающие к выгрузному отверстию, получают перемещение, что обуславливает истечение сыпучего груза. В свою очередь частицы вышележащих слоев, потеряв опору, движутся к месту выгрузки, что сопровождается колебанием давления в потоке груза. Нарушение равновесия слоев происходит последовательно от нижних к верхним, тем самым обеспечивая непрерывное движение потока к выпускному отверстию емкости. Далее происходит изменение давления по высоте емкости и физико-механических свойств груза (объемной плотности, начального сопротивления сдвигу, коэффициента уплотнения), что в итоге приводит к сводообразованию, а зачас-

тую и к сегрегации сыпучего материала. В массе груза происходят явления, вызванные пульсацией и прерывистым характером потока. Движение частиц сопровождается столкновением, трением и соударением их при непрерывном изменении структуры сыпучего груза.

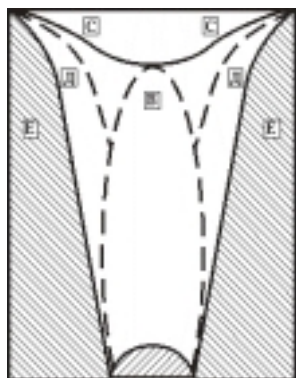


Рис.1.14. Зоны истечения сыпучего груза из емкости

Исследования выпуска сухого песка из емкости с отверстием в плоском дне позволили сделать следующие выводы (рис.1.14). Над выпускным отверстием емкости находится зона А, характеризующаяся свободным падением частиц груза. Зона В на высоте засыпки емкости ограничена размерами выпускного отверстия, в ней частицы движутся ускоренно (канал потока). Движение груза к выпускному отверстию происходит с перемещением зоны С по верхней границе с зонами Д, подвижность которых ограничена вследствие неподвижных зон Е. Объем неподвижных зон зависит от конфигурации элементов емкости и физико-механических свойств сыпучего груза. Характерной особенностью при этом явля-

ются неподвижные зоны, в которых высыпание придонных слоев груза осуществляется в последнюю очередь.

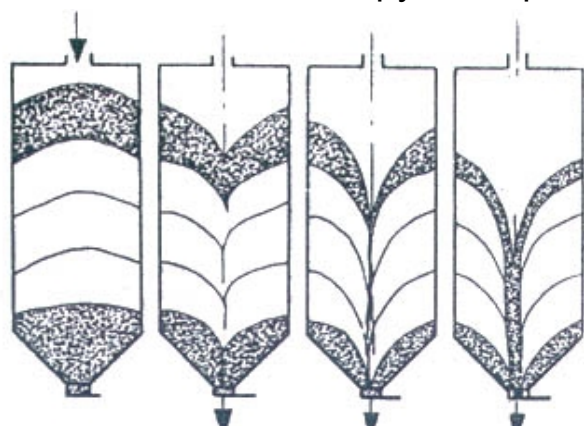


Рис.1.15. Нормальная форма истечения груза из силоса

На основании исследований процесса истечения сыпучих грузов из бункерно-силосных емкостей выделены основные формы движения потока: нормальная форма (центральный поток) и гидравлическая, сплошная форма (массовый поток)<sup>1</sup>. При нормаль-

ном истечении (рис.1.15) в начальный момент отсутствует движение частиц относительно стен емкости. После открытия выпускного отверстия происходит разуплотнение груза над отверстием и образование канала или воронки. В дальнейшем воронка наращивает диаметр до встречи с поверхностью насыпи, но уровень насыпи не снижается. По мере соприкосновения конусной воронки со стенками емкости сыпучий груз располагается на поверхности насыпи под углом естественного откоса. Крупные частицы скатываются по воронке к выгрузному отверстию, что стимулирует сегрегацию сыпучего груза.

Таким образом, в процессе функционирования емкости с нормальным истечением при выпуске выгружается сначала вновь загруженный материал, а затем оставшийся. Это приводит к образованию застойных зон, где содержимое емкости остается длительное время.

<sup>1</sup> Терминология американского и бельгийского ученых Э.Дженике и Г. Боуманса

Нормальная форма движения потока в емкости характерна для хорошо сыпучих грузов (стандартной влажности зерно, минеральные удобрения и т.п.).

Гидравлическая форма движения груза характеризуется перемещением в направлении выпускного отверстия всей массы сыпучего груза, а поверхность насыпи его сохраняет свой первоначальный профиль. При этом происходит движение частиц относительно стенок емкости, что исключает образование «мертвых» зон. Груз, поступивший в полость емкости первым, выгружается в первую очередь. Можно выделить следующие преимущества над формой нормального истечения груза:

- расслоение (сегрегация) груза проявляется в меньшей степени вследствие движения всей массы насыпи вниз, так как все частицы груза имеют одинаковую скорость;
- опасность обвала больших масс груза снижается за счет его перемещения в виде столба, обеспечивающего принцип «первый при загрузке - первый при выгрузке»;
- из-за незначительного действия сил внутреннего трения движение более крупных частиц груза замедлено.

Г. Боуманс считает, что гидравлическое истечение происходит в трех случаях: стенки выпускной воронки гладкие и имеют крутой наклон; нижние слои груза испытывают давление со стороны верхних; выпускное отверстие имеет большую площадь.

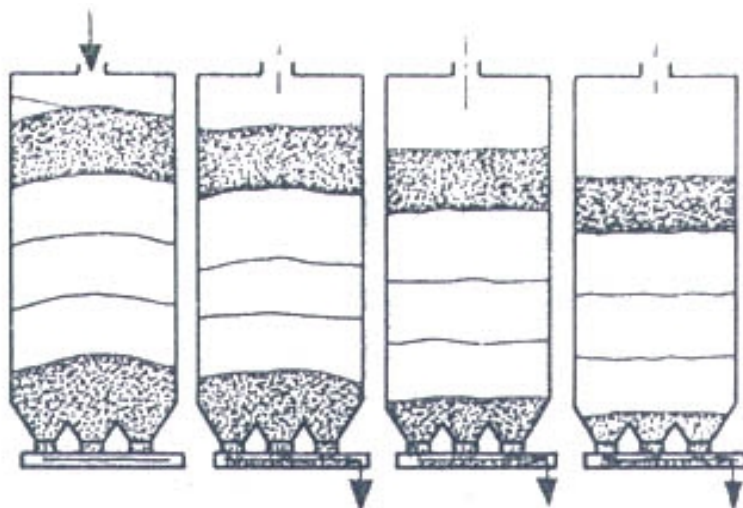


Рис.1.16. Движение груза в бункере с несколькими выгрузными отверстиями

нормальной. С ростом количества выпускных отверстий и, соответственно, соотношения площадей емкости и отверстия происходит сокращение зон сыпучего груза с задержкой времени выгрузки. Однако размер отдельного выпускного отверстия должен исключать сводообразование.

По мнению Рогинского Г.А., фактором, определяющим формы движения потока, являются физико-механические свойства груза. Анализ исследований процесса истечения сыпучих грузов с различной

При количестве выпускных отверстий емкости более одного (рис. 1.16) отнесение вида истечения к гидравлическому не может быть однозначным. При малом соотношении площади сечения емкости и выгрузного отверстия происходит выпуск сыпучего груза по смешанной форме движения со смещением к

степенью связности показал, что в реальных условиях происходит слияние названных видов истечения. При разгрузке емкостей нормальное истечение груза может принимать гидравлическую форму (массовый поток) и наоборот в зависимости от различных обстоятельств. Ими могут явиться паузы в технологическом процессе, сроки хранения сыпучих грузов, форма корпуса емкости, выпускной воронки и т.п.

Явление сводобразования обуславливается уплотнением сыпучих грузов при производстве транспортно-складских операций, происходящим вследствие изменения давления внутри столба груза, находящегося в бункере, в зависимости от высоты этого столба. Исходя из этого, понимание указанного явления вытекает из динамики распределения давлений в материале по высоте бункерно-силосных емкостей.

### 1.5. Зоны давления в бункерах

Максимальное превышение давления находится в районе краев воронки истечения, уровень этих давлений относительно днища можно оценить в случае центральной выгрузки по формуле

$$h = \frac{D-d}{2} \operatorname{ctg} \Theta \approx \frac{D}{2} \operatorname{ctg} \Theta = \frac{D_2}{2} \operatorname{ctg} 22^\circ = \frac{D}{2} \operatorname{tg} 68^\circ, \quad (1.8)$$

где  $D$  – диаметр силоса,  
 $d$  – диаметр выпускного отверстия.

Для сравнительного анализа уровня максимального превышения давлений рассмотрим таблицу 1.3, составленную для силосов с различным отношением  $H/D$ .

Таблица 1.3

|       |      |      |      |      |
|-------|------|------|------|------|
| $H/D$ | 1,5  | 2    | 3    | 5    |
| $h/H$ | 0,83 | 0,62 | 0,41 | 0,25 |

Как видно из таблицы, при  $H/D=5$  максимальное превышение динамических давлений над статическими следует ожидать на уровне, равном четверти высоты силоса, а при  $H/D=2$  этот уровень может достигнуть значения, равного  $2/3H$ .

Изучение наиболее общих закономерностей в расположении зон повышенных давлений при выгрузке сыпучего материала требует анализа следующих определяющих факторов:

1. физико-механических характеристик сыпучего материала;
2. шероховатости стен емкости;
3. отношения горизонтального давления к вертикальному;
4. скорости выгрузки;
5. эксцентриситеты расположения выпускных отверстий.



В существующих методиках определения давления учтены две физико-механические характеристики сыпучего материала: объемная плотность и коэффициент внутреннего трения, от которого зависит непосредственно входящий в формулу (1.9) коэффициент  $K$ .

Для эпюры горизонтального давления имеет важное значение угол трения по поверхности стен, т.к. от него зависит максимальное значение давления. Значения угла внешнего трения колеблются в широких пределах в зависимости от того, находится ли сыпучий материал в покое или движении. Если материал находится в движении, то угол трения будет значительно меньше. Этим можно объяснить явление возрастания давления при выгрузке в первой зоне истечения. В данном случае угол внешнего трения меньше зависит от чистоты поверхности стен силоса, чем от коэффициента внутреннего трения.

При выгрузке сыпучего материала угол внешнего трения составляет около 80% от его значения во время заполнения силоса.

Отношение горизонтального давления к вертикальному  $\sigma_r/\sigma_z=K$  – параметр, изменение которого при выгрузке влечет перераспределение напряжений внутри сыпучего материала таким образом, что давления на стены силоса возрастают. Отношение горизонтального напряжения к вертикальному выражается формулой

$$K = \frac{\sigma_r}{\sigma_z} = \frac{1 - \sin \varphi \cos 2\omega}{1 + \sin \varphi \cos 2\omega}. \quad (1.9)$$

Угол  $\omega=0$  на оси силоса, (у стенки)

$$\omega = \frac{1}{2} \left[ \arcsin \frac{\sin \varphi'}{\sin \varphi} - \varphi' \right].$$

Для наиболее вероятного интервала изменения угла  $\omega(0<\omega<17^\circ)$  и нормативного значения  $\varphi=25^\circ$  теоретическая величина  $K$  принимает значения, заключенные между 0,41 и 0,48.

Рассмотрим цилиндрический силос, у которого центр выпускного отверстия смещен на расстояние  $a$  от оси (рис.1.17). Границы между зонами активного и пассивного поля напряжений на диаметрально противоположных образующих будут находиться на уровнях:

$$\begin{aligned} h_1 &= (R - a - r) \operatorname{ctg} \Theta; \\ h_2 &= (R + a - r) \operatorname{ctg} \Theta; \\ \Delta h &= 2a \operatorname{ctg} \Theta. \end{aligned} \quad (1.10)$$

Эпюры давлений при выгрузке, приводимые на рис. 1.17 показывают, что максимальное давление приходится на стену, расположен-

ную ближе к выпускному отверстию. Противоположная стена испытывает нагрузки, мало отличающиеся от нагрузок на стены симметричных силосов. Следовательно, эксцентричность расположения выпускного отверстия приводит к неравномерному распределению горизонтальных давлений по периметру силоса.

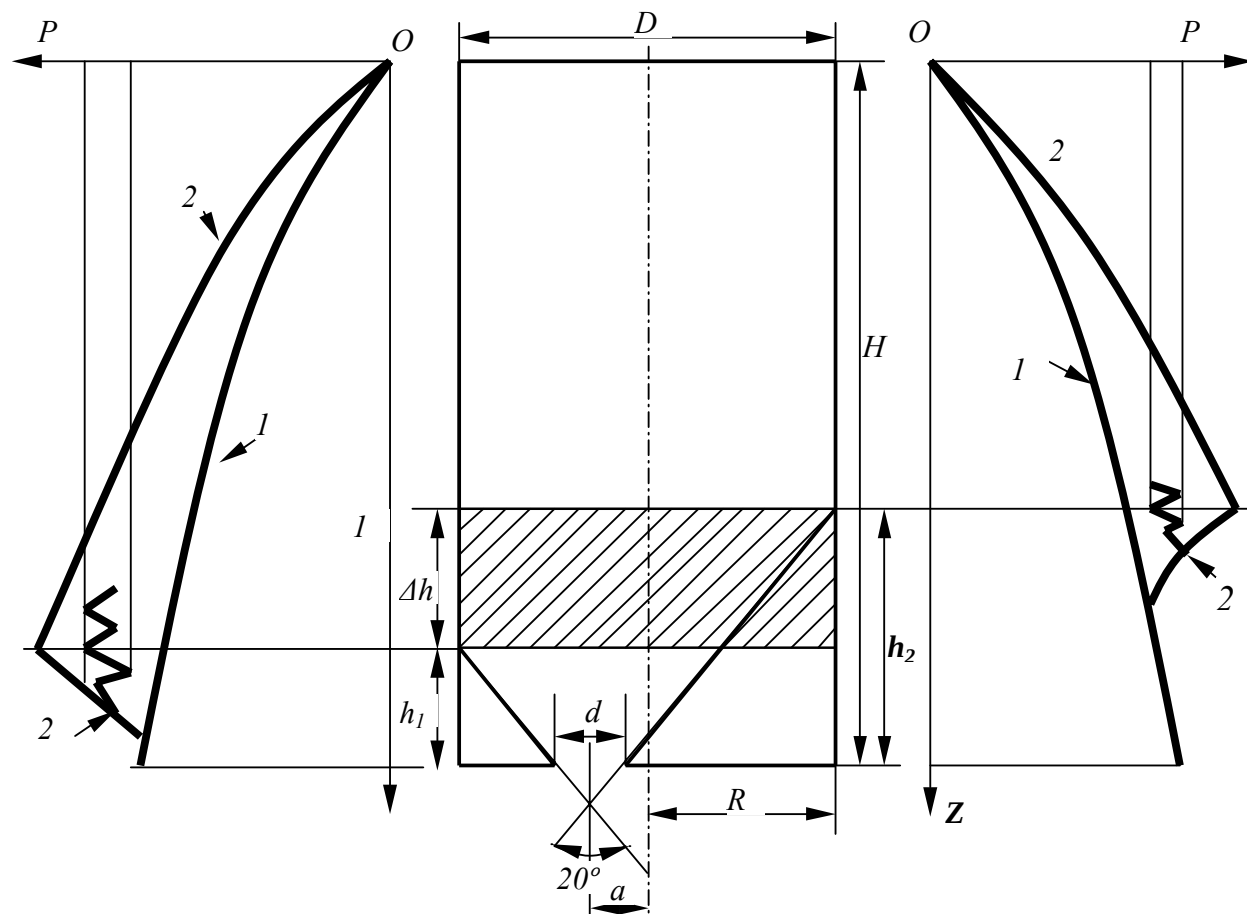


Рис.1.17. Эпюра распределения давления в полости бункера

Из формулы 1.10 следует, что ширина пояса  $\Delta h$  цилиндрической оболочки силоса (см. рис.1.17), в которой имеет место неравномерное распределение горизонтальных давлений по периметру, прямо пропорциональна отклонению  $d$  центра выпускного отверстия от оси силоса. Важно отметить, что значение  $\Delta h$  не зависит от диаметра силоса.

Таким образом, выделим следующие характеристики зависимости распределения горизонтальных давлений от величины диаметра силоса при выгрузке сыпучего материала:

1. В силосах большего диаметра зона повышения давлений расположена на меньшей глубине засыпки. Поэтому распределение давлений на стены при центральной выгрузке близко по характеру к распределению статических давлений.



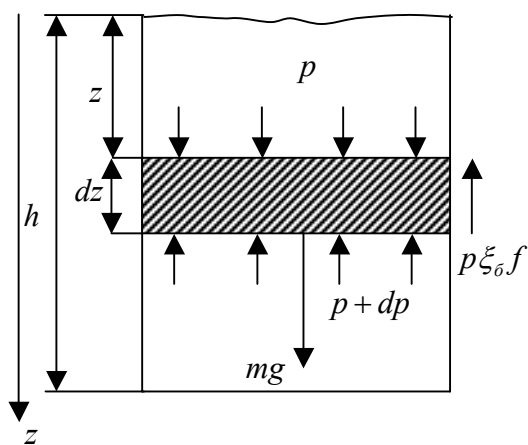


Рис.1.18. К расчёту статических давлений в цилиндрической части бункера

2. В случае эксцентричной выгрузки образуется поле неравномерного распределения по периметру давления, однако его ширина не зависит от диаметра силоса.

Для выявления динамики распределения напряжений в бункере рассмотрим условия равновесия элементарного объёма груза, например, в цилиндрической части бункера. Из рис.1.18 видно, что на него действуют: сила тяжести  $mg$ , давление вышележащих слоёв  $p$ , реакция нижележащих слоёв  $p+dp$  и реакция ограждающей поверхности  $p\xi_\delta f$ .

Выделенный объём находится в равновесии, следовательно, суммарная сила, приложенная к нему, равна 0:

$$pA + mg - (p + dp)A - P\xi_\delta fLdz = 0, \quad (1.11)$$

где  $A$  – площадь выделенного элемента;  $\xi_\delta$  – коэффициент бокового давления;  $f$  – коэффициент внешнего трения;  $L$  – длина окружности выделенного элемента;  $dz$  – высота выделенного элемента.

Представив массу выделенного элемента через плотность материала  $\rho$ , получим

$$\frac{dp}{g\rho} = \left(1 - \frac{p\xi_\delta f}{R_r g\rho}\right), \quad (1.12)$$

где  $R_r$  – гидравлический радиус выделенного сечения;

$$\frac{\xi_\delta f}{R_r g\rho} = a. \quad (1.13)$$

Запишем уравнение (1.12) с учетом (1.13) в новом виде:

$$\frac{dp}{1 - pa} = \rho g dz. \quad (1.14)$$

После интегрирования (1.14) получим:

$$pa = 1 - e^{-a\rho g z + c}. \quad (1.15)$$

Для нахождения  $c$  рассмотрим частный случай при  $z=0$  и  $p=p_0$ :

$$c = \ln(1 - p_0 a). \quad (1.16)$$

Тогда

$$\frac{1 - pa}{1 - p_0 a} = e^{-a\rho g z}. \quad (1.17)$$

Предположим отсутствие действия сил на поверхность груза. Тогда рабочее давление на выделенный слой груза составит

$$p = \frac{1}{a} (1 - e^{-a\rho g z}) \quad (1.18)$$

или с учетом (1.13)

$$p = \frac{\rho g R_{\Gamma}}{\xi_{\delta} f} \left(1 - e^{\frac{-\xi_{\delta} f z}{R_{\Gamma}}}\right). \quad (1.19)$$

Из полученного выражения закономерно вытекает вывод о том, что давление внутри столба насыпного груза меняется по высоте бункера по логарифмической кривой.

Рассмотрим выпускную воронку как систему малых по высоте колец. Причём с уменьшением сечения воронки радиус окружности колец будет также уменьшаться (рис.1.19).

Выделим в каждом кольце некоторый элементарный объём материала. На этот объём будут действовать те же силы, что и на объём, рассмотренный на рис.1.18. Поэтому для определения давления на этот участок груза воспользуемся ранее выведенным уравнением (1.17) и с учетом преобразования получим

$$P = \frac{1 - (1 - P_0 a) e^{-a\rho g y}}{a}, \quad (1.20)$$

где  $P$  – давление на выделенный объём материала, Па;

$P_0$  – давление на выделенный объём груза, расположенный у верхней

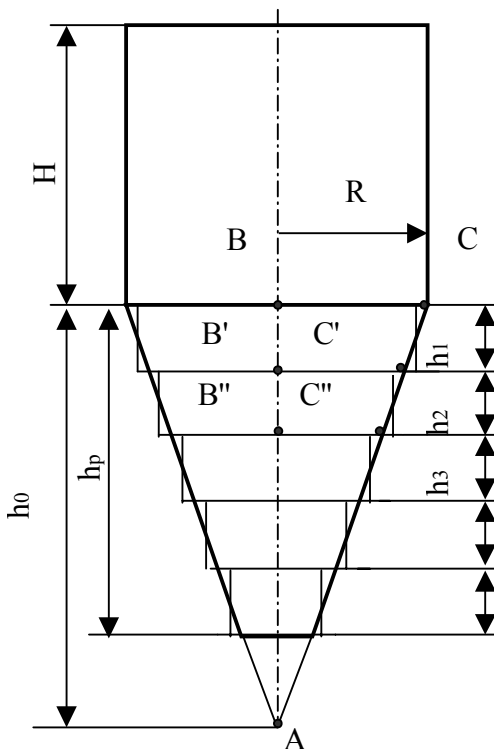


Рис.1.19. К расчёту статических давлений в выпускной воронке

границы кольца, Па;

$a$  – введенный коэффициент;

$g$  – ускорение свободного падения, м/с<sup>2</sup>;

$y$  – расстояние от верхней границы кольца до выделенного объема материала, м.

С учётом преобразований получим

$$P = \frac{\left[ 1 + \left( \frac{\xi f}{\rho g R_{\Gamma}} P_0 - 1 \right) e^{-z \frac{\xi f}{R_{\Gamma}}} \right] \rho g R_{\Gamma}}{\xi f}. \quad (1.21)$$

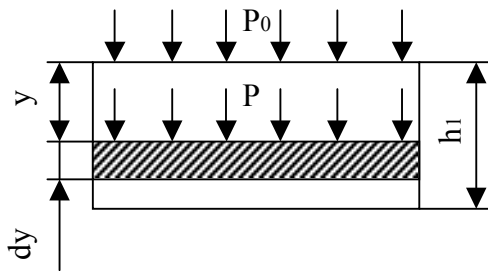


Рис.1.20. Элементарный объем материала в выпускной воронке

Проанализировав уравнение применительно к рис.1.20, можно сделать вывод о том, что давление на груз, ограниченный каждым кольцом, зависит от величины давления выше лежащего слоя и гидравлического радиуса выделенного объема.

Разложим по ряду Тейлора следующий член уравнения (1.21):

$$e^{-z \frac{\xi f}{R_{\Gamma}}} \approx 1 - z \frac{\xi f}{R_{\Gamma}}. \quad (1.22)$$

Тогда уравнение (1.21) для первого кольца примет вид

$$P_1 = P_0 \left( 1 - \frac{h_1 \xi f}{R_{\Gamma}} \right) + h_1 \rho g. \quad (1.23)$$

Гидравлический радиус для этого кольца будет равен

$$R_{\Gamma} = \frac{(h_0 - h_1 / 2)}{2h_0} R, \quad (1.24)$$

а для  $i$ -го кольца

$$R_{\Gamma} = \frac{(h_0 - h_1 (i - 1 / 2))}{2h_0} R. \quad (1.25)$$

С учётом (1.25) уравнение давления на первом участке примет вид:

$$P_1 = P_0 \left( 1 - \frac{h_1 \xi f h_0^2}{(h_0 - h_1/2)R} \right) + h_1 \rho g, \text{ а общий вид уравнения давления}$$

запишется как

$$P_i = P_{i-1} \left( 1 - \frac{h_{p1} \xi f h_0^2}{nR \left( h_0 - \frac{h_p}{n} \left( i - \frac{1}{2} \right) \right)} \right) + \frac{h_p \rho g}{n}, \quad (1.26)$$

где  $n$  – количество колец, составляющих выпускную воронку;

$i$  – порядковый номер кольца.

Математическое описание динамики изменения давлений в столбе груза, находящегося как в цилиндрической части бункера, так и в выгрузной воронке позволяет объяснить суть процесса формирования сводов (рис.1.21). при классических формах истечения сыпучего груза Расчеты по представленным формулам позволяют прогнозировать состояние насыпи содержимого бункера путем определения вертикального давления по его высоте и в выгрузной воронке.

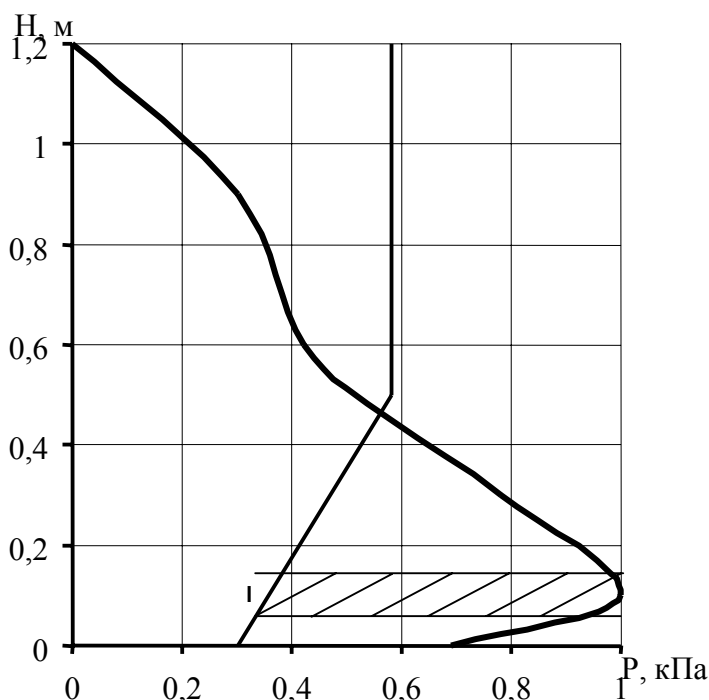


Рис.1.21. Зависимость теоретического горизонтального давления от высоты бункера:  
I – зона преимущественного сводообразования

## 1.6. Уплотнение насыпного груза в емкости

В процессе хранения насыпной груз меняет свою плотность. В зависимости от сыпучести у сыпучих грузов наблюдается разное время изменения плотности (рис.1.22). Так у ячменя плотность стабилизируется на 3...4 суток, а продукт перемола – отруби стабилизирует свою плотность на 2...4 суток.

Как отмечалось выше, влажность играет в процессе уплотнения немаловажную роль (рис.1.23). В зависимости от увеличения влажности плотность отрубей значительно возрастает и груз приобретает свойства монолита. Поэтому требуется соблюдать установленную для хранения норму влажности сыпучего груза.

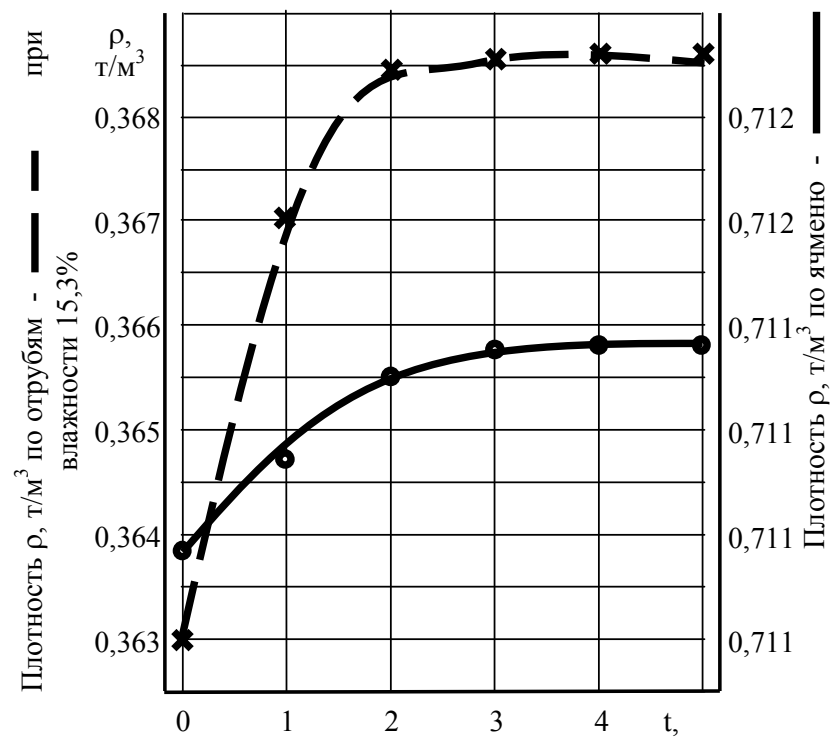


Рис.1.22 Зависимости возрастания плотности сыпучего груза от времени хранения

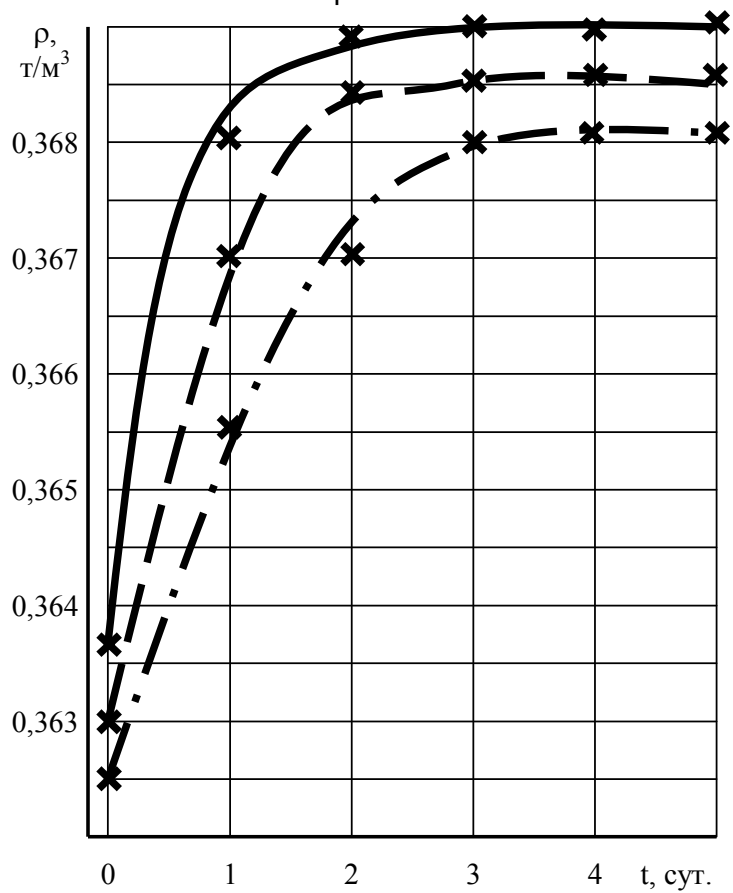


Рис.1.23. Зависимости возрастания плотности отрубей от времени хранения в стационарных условиях, при влажности 10,9% - — · — · —  
15,3% - — — — —  
19,8% - — — — —

## **Контрольные вопросы по 1 главе**

1. Какие факторы оказывают влияние на разгрузку емкостей?
2. Каковы основные физико-механические характеристики насыпных грузов?
3. Какие приборы используются при исследованиях физико-механических свойств?
4. К какой группе грузов относится соль, и какова ее реакция на процесс хранения?
5. Какие насыпные грузы входят в группу строительных?
6. Какие разновидности бункеров вы знаете?
7. При помощи чего побуждают груз к истечению из емкостей?
8. По каким признакам классифицируют емкости для сыпучих грузов?
9. Чем отличаются между собой формы истечения насыпных грузов из емкостей?
10. При каких условиях возникает гидравлическая форма истечения?
11. Какое влияние на процесс истечения оказывает давление сыпучего груза?
12. Каким образом распределяется горизонтальное давление в полости емкости?
13. Как изменяются физико-механические свойства груза в процессе хранения?

## 2. КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ СХЕМЫ БУНКЕРОВ И БУНКЕРНЫХ УСТРОЙСТВ

### 2.1. Бункера и их особенности

Наиболее широкое распространение в промышленности получили бункера прямоугольной (рис.2.1) и круглой формы (рис.2.2) в поперечном сечении. Прямоугольные бункера распространены значительно больше, чем круглые, что объясняется удобством их размещения в сетке колонн и возможностью монтажа из линейных и плоских элементов. К их недостаткам следует отнести неизбежность образования застойных зон груза в местах пересечения смежных стенок.

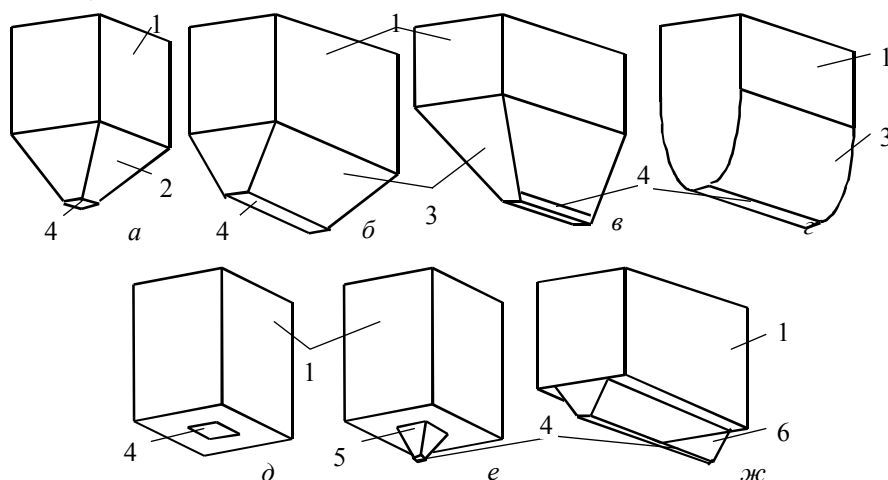


Рис.2.1. Схемы бункеров прямоугольной формы: а- пирамидальный; б- лотковый с трапецевидным лотком; в- то же, треугольным лотком; г- то же, с параболическим лотком; д- ящичный; е- ящичный с местной воронкой; ж- ящичный с местным лотком; 1- призматическая часть; 2- воронка; 3- лоток; выпускное отверстие; 4- выпускное отверстие; 5- местная воронка; 6- местный лоток

Однако при достаточно больших площадях выпускных отверстий и углах наклона стенок выгрузной воронки лучшие типы прямоугольных бункеров работают удовлетворительно. При этом углы пересечения смежных стенок должны быть закруглены по радиусу не менее 0,4 м или закрыты стальными листами. Сами стенки должны быть без существенных шероховатостей, уступов, выбоин, выступающих закладных частей и т.п., а внутренние железобетонные поверхности их – зажелезнены. Симметричные бункера работают заметно лучше, чем несимметричные.

#### 2.1.1. Прямоугольные бункера

*Пирамидально-призматические* (пирамидальные) бункера (см. рис.2.1, а), нижняя часть которых выполняется в виде усеченной пирамиды (воронка), а верхняя – в виде призмы. Они неплохо себя зарекомендовали для хорошосыпучих грузов.

Если размер отверстия в одном из направлений почему-либо ограничен, целесообразно (особенно на плохосыпучих грузах) применение удлиненного отверстия. Отношение сторон его желательно принимать  $B:A \geq 2 \dots 3$ .

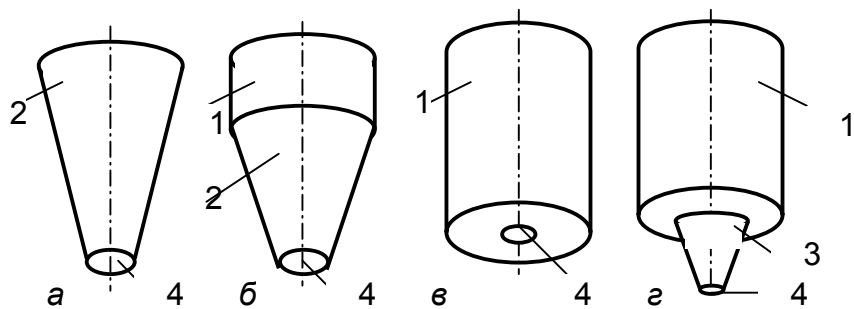


Рис.2.2. Схема бункеров круглой формы:  
а- конусный; б- конусно-цилиндрический;  
в- цилиндрический; г- цилиндрический с местной воронкой; 1- цилиндрическая часть; 2- воронка; 3- местная воронка; 4- выпускное отверстие

В настоящее время пирамидальные воронки с удлиненными выпускными отверстиями встречаются редко. Практика же эксплуатации подтверждает целесообразность применения бункеров с такими воронками для плохосыпучих материалов. В частности, на электростанциях ФРГ в котельных отделениях удовлетворительно работают угольные бункера с отверстиями длиной  $2 \dots 3$  м и шириной  $0,8 \dots 1,0$  м.

В лотково-призматических бункерах выгрузочная воронка выполняется в виде лотка. Обычно дно лотка расположено горизонтально, а торцовые стенки - вертикально или наклонно. В поперечном сечении лоток может иметь трапецевидное (рис. 2.1, б), треугольное (рис. 2.1, в) или параболическое (рис. 2.1, г) очертание.

В пирамидальных и лотковых бункерах призматическая часть может отсутствовать.

Для плохосыпучих грузов наиболее целесообразно использование лотковых бункеров с призматической частью или без нее, с симметричным трапецевидным лотком и щелевым выпускным отверстием. Менее целесообразны, но допустимы отдельные, часторасположенные отверстия и недопустимы редкорасположенные отверстия в виду возможности развития мощных зависаний связного груза на элементах днища между отверстиями.

Применение трапецевидных лотков со щелевыми отверстиями особенно целесообразно при большой емкости и протяженности бункеров. В зависимости от технологического решения в лотково-призматическом бункере может быть продольное (рис. 2.3, а) или поперечное (рис. 2.3, б) направление лотков.

Функционирование бункеров с удлиненными и, особенно, щелевыми выпускными отверстиями во многом зависит от конструкции разгрузочных устройств. При продольном отверстии и, так называемом, разгрузочном столе (рис. 2.4) стабильную разгрузку бункера обеспечивают современные типы выгрузателей, выносящих сыпучий груз, передвигаясь вдоль щелевого отверстия.

При щелях небольшой длины и поперечном расположении лот-



ков вместо таких выгрузателей устанавливаются ленточные, пластинчатые и шнековые питатели. Расчет и конструкция их должны обеспечить выпуск груза одновременно по всей длине щели.

Бункера *призматической* формы (см. рис. 2.1, д), представляют собой призму с горизонтальным дном. Такие бункера получили название ящичных. Иногда к ним подвешиваются воронки (см. рис. 2.1, е) или лотки (см. рис. 2.1, ж).

Бункера ящичной формы имеют горизонтальное днище с центральным выгрузным отверстием, вследствие чего могут возникнуть значительные застойные зоны. Поэтому их нельзя рекомендовать для плохосыпучих мелкофракционных грузов. При хорошосыпучих материалах нижняя часть ящичных бункеров вокруг выпускного отверстия часто заполняется бетоном или, что экономичнее, кладкой из самой крупной фракции складированного груза - забуткой (рис. 2.5, а). Более целесообразно решение с несколько поднятым днищем и подвеской местной воронки под увеличенным выгрузным отверстием (рис. 2.5, б).

Внутреннюю поверхность забутки необходимо выполнять в виде усеченного конуса, т.е. круглой в плане. При этом угол наклона набетонки  $\alpha_{наб}$  должен удовлетворять условию

$$\alpha \geq \alpha_{заб} = \varphi_1 + 7^\circ, \quad (2.1)$$

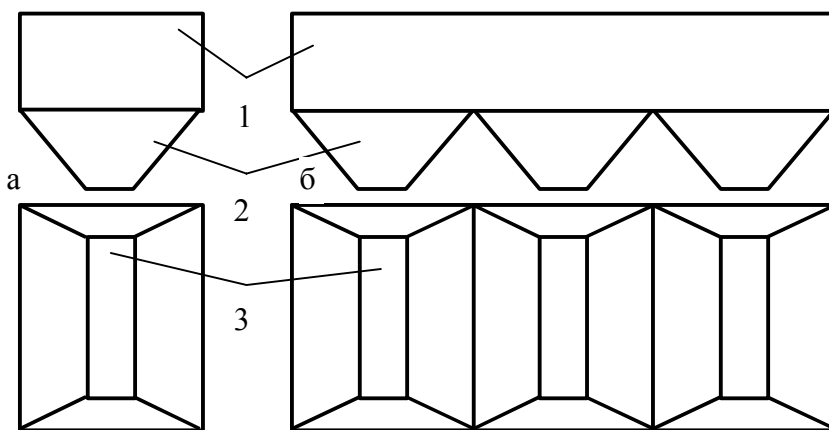


Рис.2.3. Схемы призматических бункеров с воронками лоткового типа: а - с продольным; б - с поперечными трапецевидным(и) симметричным(и) лоткам(и) и щелевым выпускным отверстием 1 – призматическая часть, 2- трапецевидный лоток, 3 -щелевое выпускное отверстие.

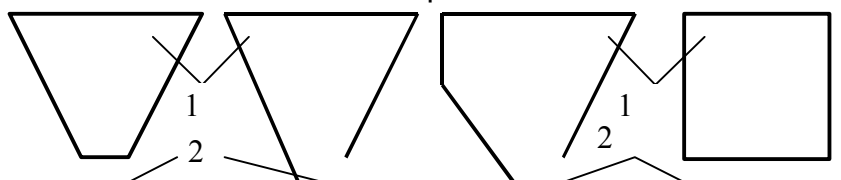


Рис.2.4. Схемы бункеров с воронками лоткового типа со щелевыми отверстиями и разгрузочными столами: 1- корпус бункера; 2- разгрузочный стол

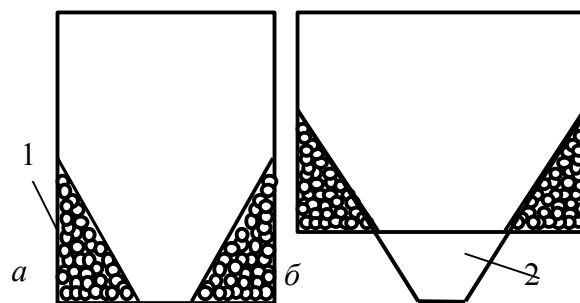


Рис.2.5. Схемы ящичных бункеров: а- без воронки; б- с местной воронкой; 1- набетонка или заполнитель из складированного груза; 2- местная стальная воронка

а угол наклона забутки  $\alpha_{заб}$  из складированного груза – условию

$$\alpha_{заб} \geq \varphi + 7^\circ, \quad (2.2)$$

где  $\varphi$  – угол внутреннего трения;

$\varphi_1$  – угол внешнего трения.

Если внутренняя поверхность забутки выполнена в виде усеченной пирамиды, т.е. прямоугольной в плане,  $\alpha_{наб}$  должен удовлетворять условию

$$\alpha \geq \alpha^P = \varphi_1 + 17^\circ, \quad (2.3)$$

а  $\alpha_{заб}$  – условию

$$\alpha_{заб} \geq \varphi + 17^\circ. \quad (2.4)$$

На рис.2.6 представлены различные варианты выпускных отверстий в ящичных бункерах. В случае применения щелевого отверстия (см. рис.2.6, *г*) забутка будет с двух, а не с четырех сторон, и при хорошо сыпучих материалах  $\alpha_{наб}$  должен удовлетворять условию (2.1), а  $\alpha_{заб}$  – (2.2). Подсчеты, выполненные в ЦНИИПромзданий, показали, что ящичные бункера с центрально расположенным выпускным отверстием (см. рис.2.6, *а*) менее экономичны, чем пирамидальные и лотковые, особенно при устройстве набетонки. Стоимость всех трех типов примерно одинакова лишь при грузах с объемной плотностью  $\gamma$  - 2,5 т/м<sup>3</sup> и высоте бункеров более 10 м.

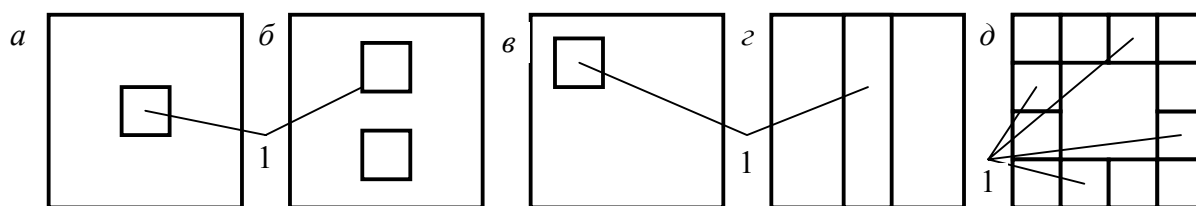


Рис.2.6. Варианты расположения выпускных отверстий в ящичных бункерах:  
1- выпускные отверстия

Масса ящичных бункеров по вариантам *а, б, в, г* рисунка 2.6 значительно больше, чем пирамидальных и лотковых с теми же габаритами, а рабочая емкость при устройстве забутки из складированного груза – меньше. Применение современных побудительных устройств при наличии забутки весьма затруднено.

К достоинствам ящичных бункеров указанных вариантов следует отнести сравнительную простоту монтажа сборных железобетонных элементов и способность забутки предохранять днище и нижние части стенок бункеров от повреждений кусками груза во время загрузки.

Сравнивая достоинства и недостатки ящичных бункеров с отдельными центрально расположенными и щелевыми отверстиями (см. рис. 2.6, *а, б, г*), можно сделать вывод, что применение их может быть оправдано только при очень тяжелых ( $\gamma > 2,5$  т/м<sup>3</sup>) крупнокусковых хорошо сыпучих невозгораемых грузах и одновременно при большой вы-

соте бункера. Во всех случаях крайне нецелесообразно применение варианта "в" (см. рис. 2.6) с эксцентричным расположением выпускного отверстия.

Лучшими следует считать варианты "г" (рис. 2.6.) - со щелевым отверстием и "б" - с двумя и более часто расположенными отверстиями. При вариантах "а" и "б" следует применять местные стальные воронки, при варианте "г" – местные стальные лотки.

Вариант с непрерывным расположением отверстий по контуру днища (рис.2.6, д) - лучший среди ящичных бункеров по условию истечения материала. Он не требует устройства забутки, если не считаться с возможностью образования отложений на середине днища. Поскольку при большом числе выпускных отверстий их размеры не могут быть большими, данную схему бункера можно рекомендовать только для мелкофракционных материалов (в том числе плохосыпучих). Обязательное условие применения этого решения - исключение длительных перерывов между выпусками из каждого отверстия.

*Многолотковые и многопирамидальные бункера.* Если по всей площади поперечного сечения ящичного бункера подвесить несколько пирамидальных воронок или трапециевидных лотков, исчезнет горизонтальное днище, а с ним и присущие ему недостатки.

Иногда многопирамидальное решение (рис.2.7) применяется с целью уменьшения высоты здания, а в последнее время и для улучшения истечения плохосыпучих грузов, например, в корпусах обогащения горнообогажительных предприятий. Действительно, при условии чередования выпуска плохосыпучего груза из отдельных воронок, зависание его на стенках многопирамидального бункера значительно меньше, чем однопирамидального. В случае выпуска груза только из части отверстий зависание, наоборот, получается значительно более мощным. Поэтому при плохосыпучих материалах многопирамидальное решение может предусматриваться в проекте лишь в том случае, если заранее гарантируется соответствующий порядок работы разгрузочных устройств.

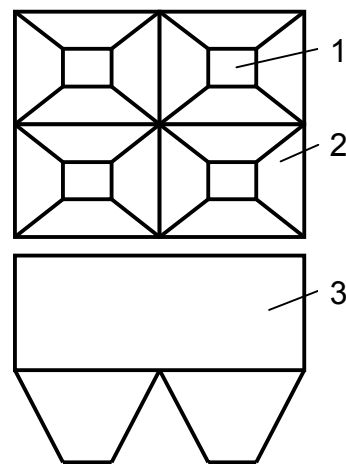


Рис.2.7. Схема многопирамидального бункера: 1- выгрузное отверстие; 2- выпускная воронка; 3- корпус бункера

### 2.1.2. Бункера цилиндрической формы

*Конусные* (см. рис.2.2, а) и *конусно-цилиндрические* (см. рис.2.2, б) бункера с центрально расположенным круглым выпускным отверстием хорошо удовлетворяют условию возможно меньшей толщины застойной зоны, так как их форма довольно близка к форме зоны по-

тока сыпучих грузов. Их большое преимущество – отсутствие вертикальных и наклонных ребер. При хорошосыпучих материалах минимально допустимый угол наклона образующейся конусной воронки получается значительно меньше, чем при пирамидальной.

Конусные и конусно-цилиндрические симметричные бункера можно рекомендовать для хорошо- и плохосыпучих материалов. Однако применение их в зданиях и многоячеековых бункерных сооружениях затруднено по конструктивным условиям, и целесообразную область их использования следует ограничить отдельно стоящими бункерами.

Цилиндрические бункера (см. рис.2.2, в) намного уступают бункерам с конусной нижней частью. Горизонтальное днище способствует созданию в нижней их части значительной застойной зоны. Во избежание этого нижняя часть бункера вокруг выпускного отверстия обычно заполняется бетоном или плотной кладкой из наиболее крупной фракции сыпучего груза. Угол наклона набетонки при хорошо сыпучем материале должен удовлетворять условию (2.1), а забутки – условию (2.2).

Обычно  $\varphi > \varphi_1$ , а потому условие (2.2) дает больший угол наклона, чем (2.1). Применение местной воронки (см. рис.2.2, г) улучшает эксплуатационные качества цилиндрического бункера, но не исключает полностью его недостатков. Такие бункера могут применяться для хорошосыпучих грузов (при этом желательно устройство местной воронки) и не рекомендуются для плохосыпучих.

Выпускное отверстие круглого в плане бункера должно располагаться в его центре. При несоблюдении этого условия появляются застойные зоны разного объема, а также обычно не учитываемые в расчете дополнительные усилия от возникающего при истечении изгиба корпуса. Кроме того, несимметричное динамическое воздействие сыпучего груза на стенки может вызвать колебания всей установки. Известен случай, когда амплитуды колебаний цилиндрического бункера (с горизонтальным днищем) были настолько велики, что вызвали образование трещин в колоннах, поддерживавших сооружение.

По той же причине в цилиндрическом бункере нежелательно устройство нескольких выпускных отверстий, поскольку они могут работать не одновременно. Теоретически одновременный или поочередный выпуск материала из нескольких отверстий уменьшает объем застойной зоны и тем самым улучшает работу бункера. Однако в практике встречались многочисленные случаи, когда при зависании материала над одним или несколькими выпускными отверстиями, расположенными рядом в одной и той же бункерной ячейке, технологический процесс выпуска грузов в течение длительного времени приостанавливался. При плохосыпучих материалах это значительно снижало коэффициент использования емкости.

### 2.1.3. Бункера усложненной формы

Среди лотковых бункеров наибольшую геометрическую емкость (при одних и тех же габаритах) имеют бункера с параболическими стенками (рис.2.8). Благодаря особенностям своей статической работы стенки параболической формы требуют минимального расхода материала. Во время выгрузки остатков груза из бункера, верхние слои, стекая к выгрузной воронке, ускоряются в движении. Таким образом осуществляется максимальное опорожнение емкости. Однако часть объема, где угол наклона стенок увеличивается к выпускному отверстию (см. рис.2.8, а), фактически не используется. Поэтому даже при хорошосыпучих грузах в бункере с параболическими стенками полезный объем меньше расчетного. Для трудносипучих грузов эти места стенок в бункере являются хорошим основанием для развивающегося сводообразования. Кроме того, в параболическом бункере не может быть устроено продольное щелевое отверстие, а при выпуске груза из отдельных отверстий между ними образуются залежи даже в центральной части бункера. Все эти причины определяют очень низкий коэффициент использования емкости параболических бункеров при плохосыпучих материалах. Например, на обогатительных фабриках черной и цветной металлургии для плохосыпучих руд коэффициент использования расчетной емкости принимается равным 0,13...0,35. По этим причинам параболическая форма стенок бункера часто применяется для бункеров большой глубины. Таким образом, применение параболических бункеров для плохосыпучих грузов нецелесообразно. Учитывая их экономические преимущества, такую форму (при наличии часто расположенных выпускных отверстий) можно рекомендовать для хорошосыпучих кусковых невозгораемых материалов. Размеры отверстий должны удовлетворять при этом формуле

$$A \geq A^p = K_n K_\phi K_r (\sin \beta + \varphi), \quad (2.5)$$

где  $A^p$  – расчетный размер меньшей стороны выпускного отверстия (или стороны квадратного отверстия, или диаметра круглого отверстия);

$K_n$  – коэффициент надежности,  $K_n=1,2$ ;

$K_\phi$  – коэффициент формы выпускного отверстия;

$K_\varepsilon$  – коэффициент гранулометрического состава сыпучего груза;

$\beta$  – угол между пересекающимися плоскостями противоположных стенок бункера,  $\beta=180^\circ$ ;

$\varphi$  – угол внутреннего трения сыпучего материала.

В отечественной и зарубежной литературе нередко можно встретить описание бункера с гиперболическим очертанием стенок (рис. 2.8, б). В этом случае угол наклона стенки по мере уменьшения высо-

ты над выпускным отверстием постепенно увеличивается, и по всей высоте сохраняются примерно одинаковые условия для зависания груза. Такая форма позволяет полностью исключить сводообразование и свести к минимуму отложения зависшего материала.

Несмотря на указанные достоинства, гиперболический бункер нельзя рекомендовать для широкого применения ввиду большого усложнения строительной конструкции и значительно меньшей емкости бункера.

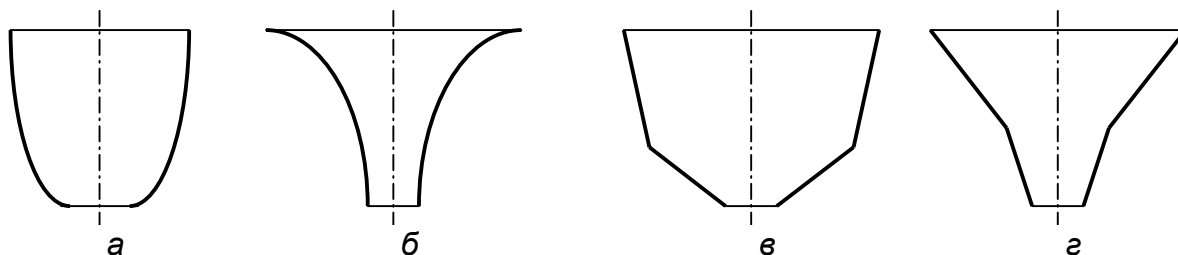


Рис.2.8. Схемы конструкций бункеров сложной формы

То же надо сказать и относительно предложения устраивать стенки по очертанию зоны потока, что позволило бы полностью исключить застойную зону. Такие узкие и конструктивно сложные бункера могут найти применение лишь как технологические аппараты небольшой емкости.

К бункерам сложной формы можно также отнести емкости с переломной поверхностью стенок, образующие как внутренний тупой угол (рис. 2.8, в), так и внешний (рис. 2.8, г). В первом случае дополнительные соединения поверхностей стенок отрицательно сказываются на процессе истечения и стимулируют сводообразование в этих местах. Отрицательным качеством второго варианта является существенное уменьшение объема.

Для предотвращения зависания сыпучих грузов в емкостях некоторые авторы предлагают придавать бункерам усложненную форму: с несколькими несимметрично расположенными переломами стенок, с

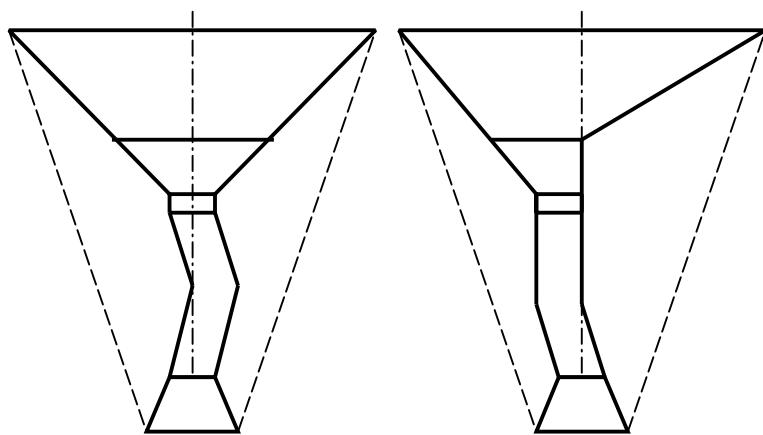


Рис.2.9. Схема конструкции бункера усложненной формы

обратным наклоном их в нижней части и т.п. Один из таких бункеров представлен на рис. 2.9. С точки зрения уменьшения зависаний трудносыпучих материалов на стенках эти предложения не имеют достаточных оснований. Наоборот, сложные конфигурации бункеров уступают простым, несимметричные -

симметричным. В частности, при одних и тех же габаритах в бункере, изображенном на рис. 2.9, условия для образования завесаний обоих видов значительно лучше, чем в простом пирамидальном (показан пунктиром), вследствие сложной траектории движения выгружаемого материала.

При крупнокузовых хорошосыпучих грузах в симметричном бункере по условию сводообразования может потребоваться выпускное отверстие очень больших размеров. Уменьшить их можно путем применения лоткового бункера с передней вертикальной стенкой и удлиненным выпускным отверстием. Возможности образования сводов в нем снижаются благодаря вдвое меньшей величине угла  $P$  и несимметричности нагрузки на свод. Недостаток бункеров этой формы – значительно меньшая емкость, чем у симметричных.

Существует много предложений по устройству внутри бункеров дополнительных конструктивных элементов (перекрытий, перегородок, конусных и других вставок) с целью организации потока сыпучего материала для уменьшения застойной зоны. По-видимому, некоторые из этих предложений окажутся удачными, однако, давать какие-либо рекомендации до проверки их в натурных условиях преждевременно.

#### 2.1.4. Материалы для изготовления бункеров

На практике бункера изготавливают из металла, железобетона, дерева, и комбинированных материалов.

*Металлические бункера* обладают сравнительно небольшой массой, их опоры занимают мало места. Изготавливают их из металлических листов свариваемых между собою на каркасе, с последующей обработкой швов и неровностей. Эти бункера достаточно долговечны при грузах стандартной влажности и не требуют больших капитальных затрат.

При хранении влажных грузов металлические бункера подвергаются коррозии. Коррозия не только ускоряет износ бункера, но и увеличивает коэффициент трения сыпучего груза о стенки, что может значительно затруднить разгрузку бункера, а иногда приводит к полному прекращению выгрузки.

*Железобетонные бункера* наиболее универсальны, но, как правило, дороже металлических. Железобетонные бункера малопригодны для хранения горячих грузов, так как бетон дает трещины вследствие термических деформаций.

По конструкции железобетонные бункера делятся на монолитные, сборные и смешанной конструкции. Монолитные бункера возводят в общей опалубке и применяют преимущественно на железобетонных эстакадах и в железобетонных зданиях.

Сборные железобетонные бункера состоят из отдельных желе-

зобетонных плит или колец, соединенных сваркой. Швы тщательно затираются раствором.

*Деревянные бункера* сравнительно недолговечны (например, срок службы их на погрузке угля составляет восемь-десять лет) и требуют частого ремонта. Однако при хранении муки являются наиболее оптимальными.

*Комбинированные бункера* представляют собой сочетание отдельных конструкций, изготовленных из различных материалов. Например, железобетонный корпус бункера соединяют с металлическим днищем, каменный или кирпичный корпус с металлической армировкой сочленяют со сборным железобетонным днищем. Деревянные бункера для уменьшения износа часто выстилают внутри стальными листами.

В последнее время бункера изготавливают из специальных материалов. Например, фирма «Вейт бразерс» (Англия) выпустила полиэтиленовый транспортный бункер модели «Балкбин» емкостью  $0,7 \text{ м}^3$ , который крепится к стальной раме. Заполняют бункер через люк диаметром 457 мм, а разгружают через выпускное отверстие диаметром 203 мм и самосворачивающийся рукав. Гладкая внутренняя поверхность бункера и коническое днище способствуют хорошему истечению материала. Конструкция рамы бункера позволяет транспортировать его вилочным погрузчиком на поддоне или с захватом сверху; допускается штабелирование бункера в три яруса.

Для устранения сводообразования стенки бункеров футеруют плитами из высокомолекулярного полиэтилена. Исследования показали, что с увеличением относительной молекулярной массы значительно улучшаются износостойкость полиэтилена, жаропрочность и стойкость к коррозии. Высокая износостойкость, низкий коэффициент трения, хорошая ударная и изгибная прочность, а также водоотталкивающие свойства позволяют использовать этот материал для футеровки бункеров и желобов.

Для футеровки стандартные листы размерами  $2000 \times 1000 \text{ мм}$  и толщиной 6...10 мм сваривают в полосы длиной до 20 м. Эта операция позволяет сократить число стыковых швов, выполняемых в бункере. При монтаже полиэтиленовые полосы должны перекрывать одна другую в направлении движения материала на 40...50 мм. Для бункеров сложных форм полиэтилен подвергают холодной гибке, чтобы придать ему желаемую форму. Свойства его при этом не изменяются. Небольшие бункера футеруют целиком, в больших же достаточно футеровать наклонные поверхности.



Бункера из воздухопроницаемой высокопрочной ткани нашли широкое применение для хранения пищевых сыпучих грузов (мука, комбикорм, зерно) в Германии. На поверхности бункера не образуется конденсат, а через прозрачные стенки можно проследить уровень заполнения емкости. Простота ухода обеспечивается возможностью легкой очистки гибкой ткани. Благодаря гибкости стенок можно также добиться устранения залеганий груза в полости бункера. Гибкие бункера, как и металлические, могут оснащаться устройствами контроля наполнения и предотвращения переполнения емкости, устройствами опорожнения и другими техническими принадлежностями. Опорожнение силоса происходит через выпускное устройство, установленное в нижней части, посредством гравитационного истечения груза. Значительная экономия средств достигается за счет отсутствия необходимости в стационарных фильтрах и дополнительных трубопроводах, которые монтируются на металлических бункерах с целью очистки воздуха от пыли при пневматическом заполнении емкостей. В бункерах с гибкой оболочкой все обычные технические элементы (клапаны, заслонки, шлюзовые устройства, шнеки и т.п.) могут использоваться без ограничения.

Германская фирма "АВИЛА" предлагает к использованию бункерно-силосные емкости, изготавливаемые из полиэфира и пластмассы (стеклопластик) (рис.2.10). Преимуществами данных материалов является: отсутствие швов; гладкая внутренняя стенка; прозрачность емкости.

Технические характеристики емкостей из синтетических материалов приведены в табл. 2.1-2.2.

Таблица 2.1

Технические характеристики емкостей из полиэфира

| Тип   | Вместимость (м <sup>3</sup> ) | Вместимость (т) | Диаметр (м) | Высота (м) |
|-------|-------------------------------|-----------------|-------------|------------|
| 19/6  | 6                             | 3,6             | 1,90        | 4,69       |
| 19/8  | 8                             | 4,8             | 1,90        | 5,40       |
| 19/10 | 10                            | 6,0             | 1,90        | 6,11       |
| 19/12 | 12                            | 7,2             | 1,90        | 6,80       |



Рис.2.10. Емкости бункерно-силосного типа из синтетических материалов: а- полиэфира; б- стеклопластика

|       |    |      |      |       |
|-------|----|------|------|-------|
| 19/14 | 14 | 8,4  | 1,90 | 7,52  |
| 24/16 | 16 | 9,6  | 2,40 | 6,35  |
| 24/18 | 18 | 10,8 | 2,40 | 6,79  |
| 24/20 | 20 | 12,0 | 2,40 | 7,23  |
| 24/22 | 22 | 13,2 | 2,40 | 7,67  |
| 24/24 | 24 | 14,4 | 2,40 | 8,12  |
| 24/26 | 26 | 15,6 | 2,40 | 8,57  |
| 24/28 | 28 | 16,8 | 2,40 | 9,00  |
| 28/30 | 30 | 18,0 | 2,80 | 7,71  |
| 28/32 | 32 | 19,2 | 2,80 | 8,04  |
| 28/34 | 34 | 20,4 | 2,80 | 8,37  |
| 28/35 | 35 | 21,0 | 2,80 | 8,53  |
| 28/40 | 40 | 24,0 | 2,80 | 9,34  |
| 28/45 | 45 | 27,0 | 2,80 | 10,15 |
| 28/50 | 50 | 30,0 | 2,80 | 10,98 |
| 28/55 | 55 | 33,0 | 2,80 | 11,81 |
| 28/60 | 60 | 36,0 | 2,80 | 12,63 |

*Таблица 2.2*

Технические характеристики емкостей из стеклопластика

| Тип    | Вместимость (м <sup>3</sup> ) | Вместимость (т) | Диаметр (м) | Высота (м) |
|--------|-------------------------------|-----------------|-------------|------------|
| SIV.06 | 6,0                           | 3,60            | 2,03        | 4,05       |
| SIV.08 | 8,0                           | 4,80            | 2,03        | 4,68       |
| SIV.10 | 10,0                          | 6,0             | 2,22        | 5,00       |
| SIV.12 | 12,5                          | 7,50            | 2,22        | 5,62       |
| SIV.15 | 15,0                          | 9,00            | 2,35        | 5,99       |
| SIV.18 | 18,0                          | 10,8            | 2,35        | 6,68       |
| SIV.20 | 20,0                          | 12,0            | 2,48        | 6,75       |
| SIV.25 | 25,0                          | 15,0            | 2,61        | 7,54       |
| SIV.31 | 31,0                          | 18,6            | 2,61        | 8,66       |

## 2.2. Приемные устройства

Приемные бункерные устройства для сыпучих грузов на промышленных предприятиях, как правило, изготавливаются в виде усеченной пирамиды с направленным вверх основанием. Приемные бункера бывают как для автотранспорта, так и для железнодорожного подвижного состава. Часто они совмещаются из-за малых производственных или складских площадей.

### 2.2.1. Приемные устройства для автомобильного транспорта

Приемные бункера рассчитываются с учетом объемов одновременно выгружаемых кузовов подвижного состава. При разработке приемных устройств учитывается в первую очередь то, что разгрузка является периодической операцией, производительность которой очень высока. Например, зерно из кузова сходит менее, чем за минуту, т.е. мгновенная производительность более 500 т/ч. Производительность последующего звена транспортирующего оборудования гораздо меньше, оно работает непрерывно, и потому после приемного устройства устанавливают «буферную» емкость - приемный бункер.

Автомобилеразгрузчики с приемными устройствами в основном используют для приема минеральных удобрений, зерновых грузов с полей сельских и фермерских хозяйств. Интенсивность работы приемных устройств зависит от типов автомобилей, темпов поступающего сыпучего груза, его типа и количества.

Внедрение различных высокопроизводительных автомобилеразгрузчиков способствует повышению пропускной способности элеваторов, выгрузке сыпучего груза из автомобилей и автопоездов всех видов.

На рис. 2.11 представлена классификация автомобилеразгрузчиков.

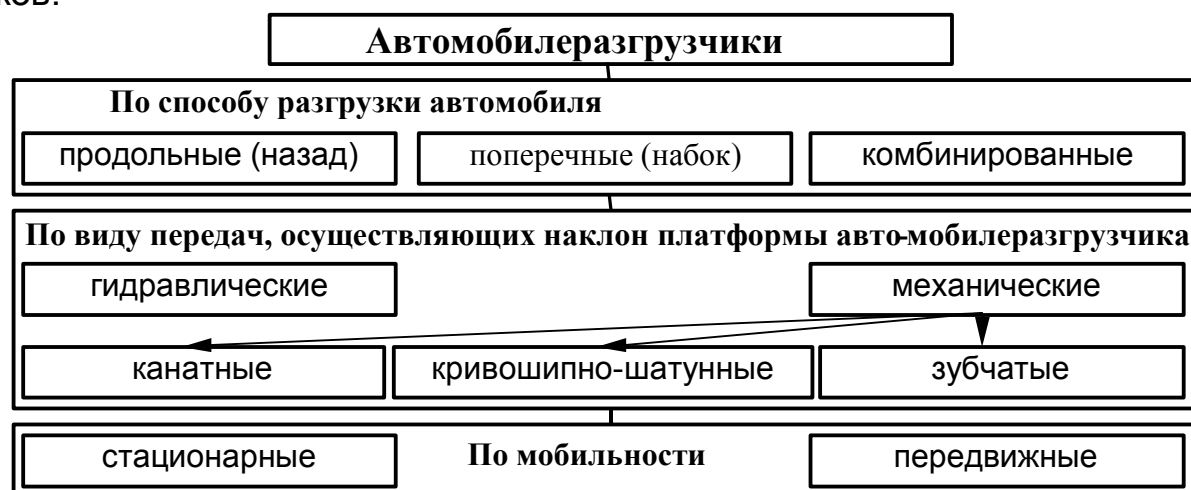


Рис. 2.11. Классификация автомобилеразгрузчиков

Передвижные разгрузчики используют в основном для опорожнения автомобилей небольшой грузоподъемности при приеме малых партий сыпучего груза.

У автомобилеразгрузчиков при полном подъеме платформа наклоняется к горизонту на 38...40 град (рис. 2.12). Время разгрузки составляет 3...5 мин (с двумя прицепами - до 10 мин). Собственно поворот платформы автомобилеразгрузчика при его грузоподъемности 10, 15, 30 т осуществляется соответственно в течение 30, 40, 60 с, а опускание - примерно одинаково у всех: около 25 с.

У автомобилеразгрузчиков с разгрузкой через боковой борт (рис. 2.13) поворот платформы производится быстрее - за 8...10 с, но этому предшествует подвод упоров (3...5 с), удерживающих автомобиль от опрокидывания.

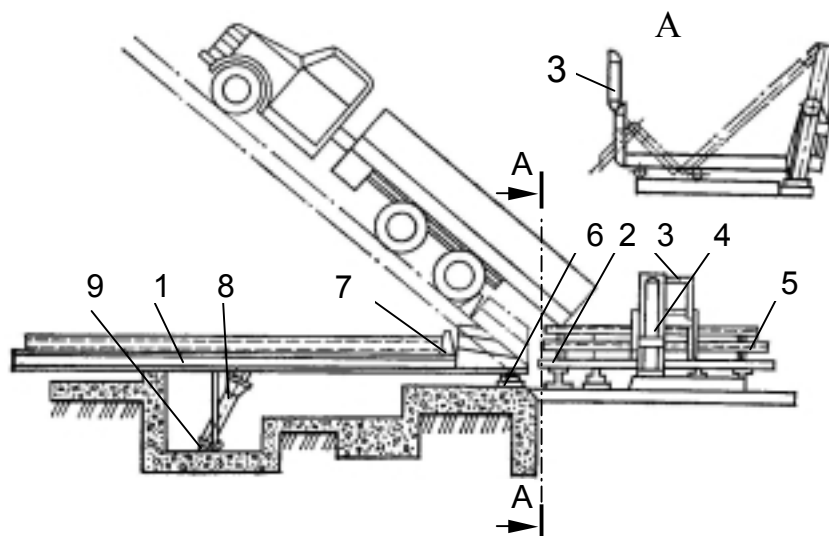


Рис. 2.12. Автомобилеразгрузчик ГУАР-30: 1- большая платформа; 2- малая платформа; 3- механизм, удерживающий борт автомобиля; 4, 8- домкраты; 5, 7- упоры; 6, 9- опоры

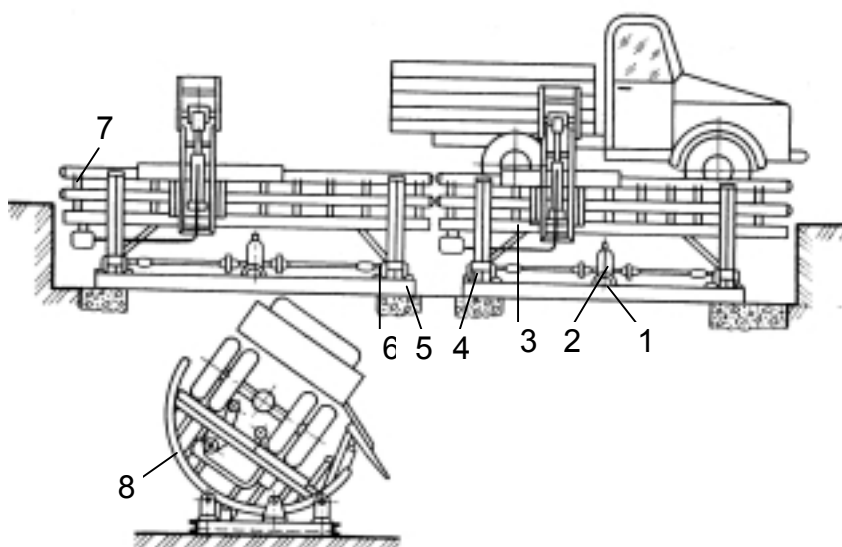


Рис. 2.13. Стационарный автомобилеразгрузчик БПШ-2: 1- электродвигатель; 2- редуктор; 3 – рама; 4 – ролики; 5 – основание; 6- вал; 7- зажим; 8- сектор

В конструкциях автомобилеразгрузчиков с гидроприводом на каждые 2 т грузоподъемности расходуется около 1 кВт мощности электродвигателя.

На современных складах для хранения сыпучих грузов возможна одновременная выгрузка из нескольких (до восьми) автомобилей. В этом случае сыпучий груз из бункеров подается не одним, а двумя транспортерами.

Необходимую эксплуатационную производительность приемных устройств определяют из следующего выражения:

$$\Pi = \frac{MK_c K_q}{T t} \quad (2.6)$$

где  $M$  - масса заготавливаемого зерна;  
 $K_c$  - коэффициент суточной неравномерности,  $K_c=1,3... 1,6$ ;  
 $K_q$  - коэффициент часовой неравномерности,  $K_q=1,5... 1,7$ ;  
 $T$  - плановый период заготовки зерна,  $T= 15...30$  сут;  
 $t$  - продолжительность работы элеватора за сутки (в первую сме-

ну поступает 60 % зерна, во вторую - 30...35, в третью - 10...20).

Коэффициенты  $K_c$ ,  $K_q$  определяются как отношение максимального поступления сыпучего груза за наиболее напряженный период к среднему значению поступления его за этот период.

Величина эксплуатационной производительности разгрузчиков приведена в табл.2.3.

Таблица 2.3

| Тип разгрузчика | Производительность, т/ч |     |     |             |     |             |     |
|-----------------|-------------------------|-----|-----|-------------|-----|-------------|-----|
|                 | Одиночные автомобили    |     |     | Автопоезда  |     |             |     |
|                 |                         |     |     | Один прицеп |     | Два прицепа |     |
|                 | 5                       | 8   | 13  | 13          | 15  | 25          | 30  |
| ГУАР-15         | 80                      | 130 | --- | ---         | --- | ---         | --- |
| ПГА-25М         | 95                      | 115 | 150 | ---         | --- | ---         | --- |
| БПШФ-2          | 110                     | 120 | 160 | ---         | --- | ---         | --- |
| ГУАР-30         | 94                      | 115 | 152 | ---         | --- | ---         | --- |
| ПГА-25+АРУ-1    | 95                      | 115 | 152 | 95          | 115 | 90          | 110 |
| У-15-УРВС       | 95                      | 110 | 140 | 120         | 130 | 140         | 155 |
| У15 -УГАР       | 95                      | 110 | 140 | 120         | 130 | 140         | 155 |
| АВС-50          | 110                     | 120 | 160 | 160         | 120 | 120         | 145 |
| АБП 2СМ1        | 110                     | 120 | 150 | 160         | 120 | 120         | 145 |
| УГАР+АВС-50     | 55                      | 90  | 145 | 145         | 165 | 210         | 220 |

## 2.2.2. Приемные устройства для железнодорожных вагонов

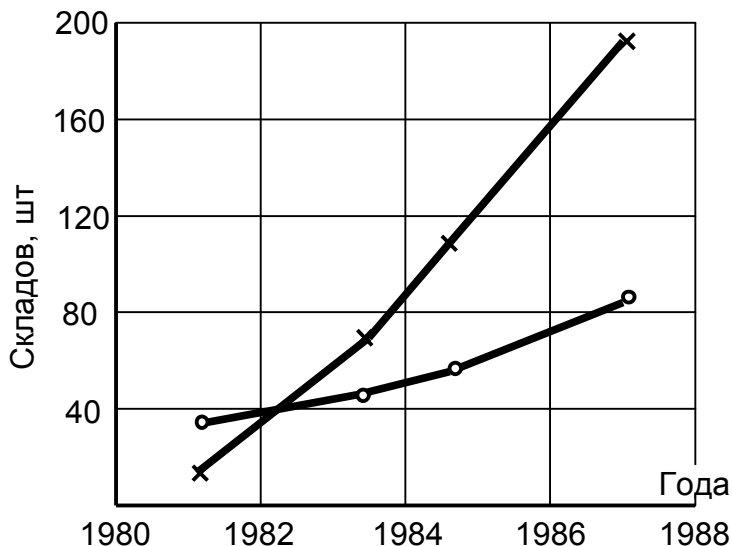


Рис.2.14. Диаграмма строительства складов для хранения сыпучих грузов с приемными устройствами: **О**- на повышенном железнодорожном пути; **х**- бункерного типа

Увеличение поставок сыпучих грузов в незатаренном виде и использование для этой цели специализированных вагонов потребовало разработки типовых проектов приемных устройств, соответствующих параметрам подвижного состава и требованиям к процессу их разгрузки.

На первом этапе приемные устройства прирельсовых складов для хранения сыпучих грузов проектировались применительно к условиям разгрузки крытых универсальных вагонов и хопперов-цементовозов модели 11-715. В последующем для обеспечения разгрузки вагонов-минераловозов модели 11-740 были разработаны и реализованы подрельсовые приемные устройства бункерного типа и приемные устройства на повышенном подъездном железнодорожном пути (рис. 2.14).

## Подрельсовые приемные устройства

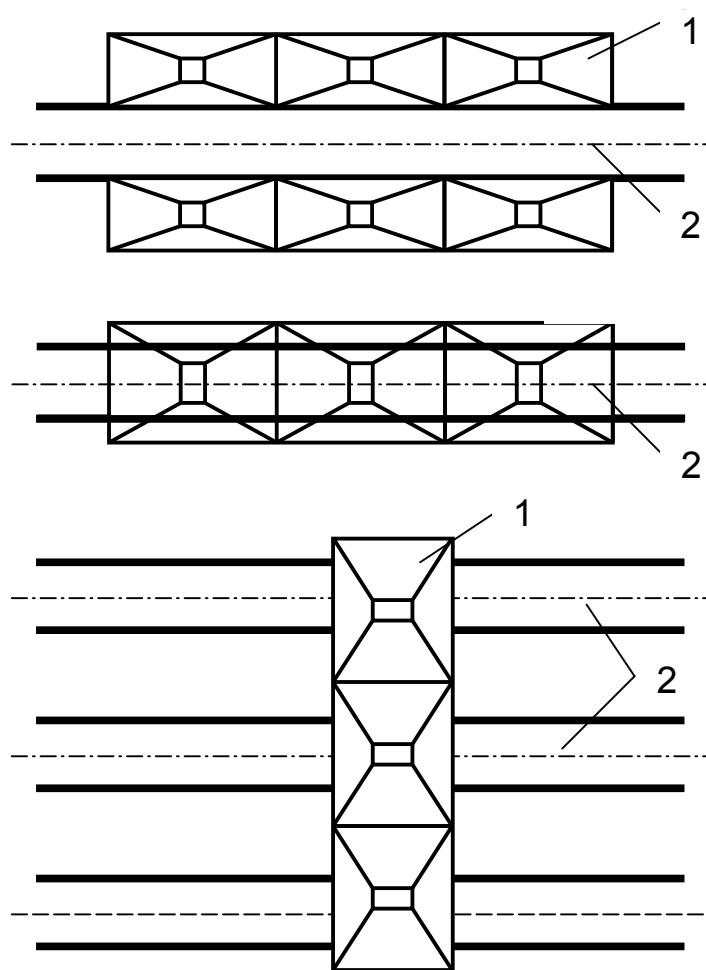


Рис.2.15. Схемы расположения приемных бункеров относительно железнодорожного полотна: а- параллельно; б- во внутрирельсовом пространстве; в- перпендикулярно; 1- приемный бункер; 2- ось железнодорожного полотна

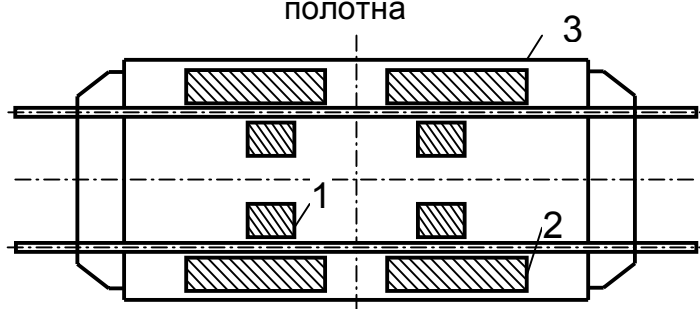


Рис.2.16. Схема расположения разгрузочных люков вагонов-хопперов: 1- для цемента, модель 11-715; 2- для минеральных удобрений, модель 11-740; 3- внешний контур вагона

Приемные бункера располагаются параллельно и перпендикулярно относительно пути (рис. 2.15). Такие приемные устройства называются бункерными фронтами. Разгрузка осуществляется во внутрирельсовое пространство и вдоль полотна в зависимости от типа вагона (рис. 2.16).

Параллельно расположенное подрельсовое приемное устройство для разгрузки вагонов-цементовозов, разработанное институтом ПромтрансНИИпроект, размещалось внутри склада и представляло собой приемный лоток с отгружающим ленточным конвейером (рис. 2.17). Позднее, по аналогичной схеме, институтами Гипрохим и Гипропромсельстрой были разработаны типовые проекты 705-1-49 и 705-1-75 отдельно стоящих приемных устройств, обеспечивающие возможность их привязки к различным типам зданий прирельсовых складов (рис. 2.18, 2.19). В Т.П.<sup>2</sup> 705-1-75 для одновременной отгрузки удобрений из обоих разгрузочных люков вагона-цементовоза были установлены два подрельсовых бункера общей вместимостью 15 м<sup>3</sup> и два отгружающих ленточных конвейера.

<sup>2</sup> Т.П. — типовый проект

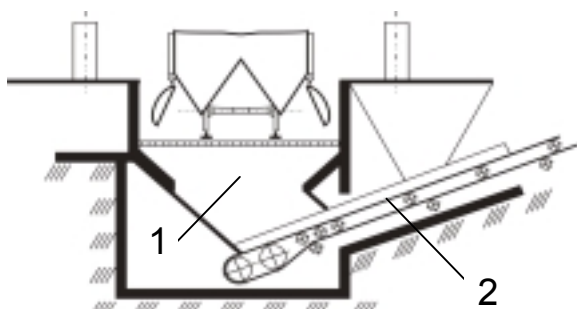


Рис.2.17. Схема приемного устройства: по Т.П.705-1-23; 705-1-24: 1- приемный лоток; 2- отгружающий конвейер

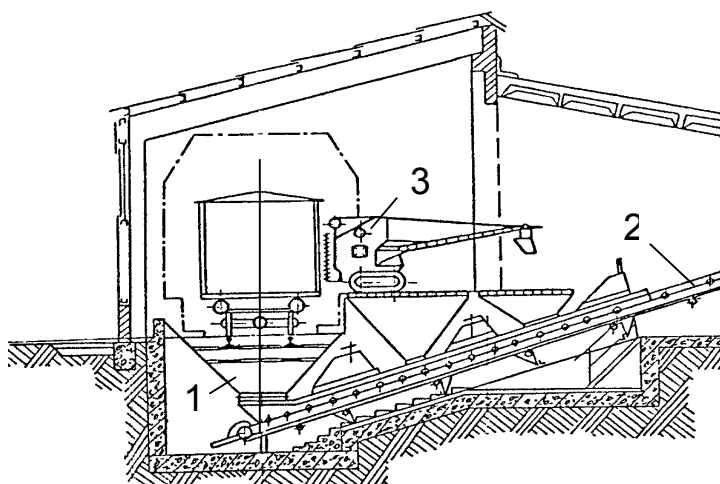


Рис.2.19. Схема приемного устройства по Т.П.705-1-75: 1- приемные бункеры; 2- отгружающие конвейеры; 3- машина для выгрузки удобрений из крытых вагонов

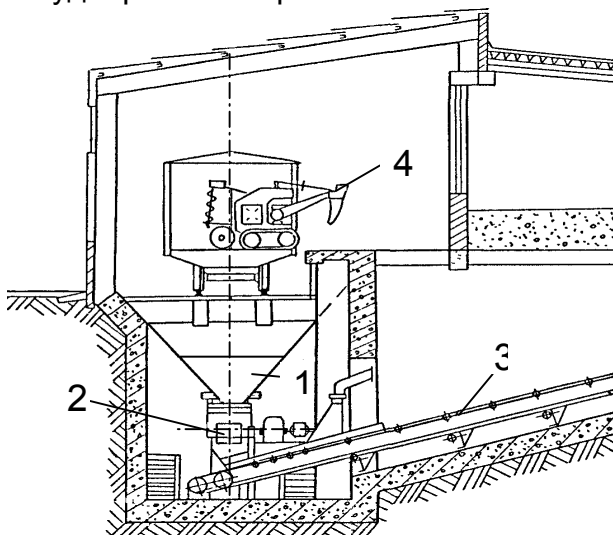


Рис.2.21. Схема приемного устройства по Т.П.705-1-55-57: 1- приемный бункер; 2- ленточный питатель; 3- отгружающий конвейер; 4 – разгрузчик МВС-4

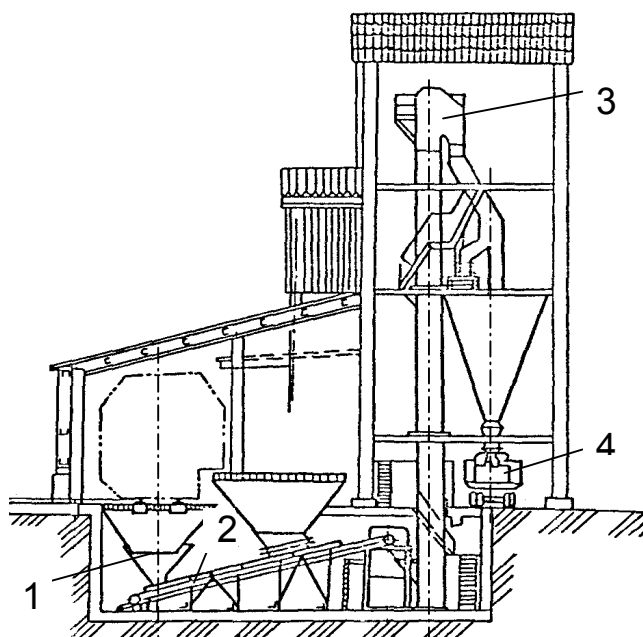


Рис.2.18. Схема приемного пункта для разгрузки вагонов по Т.П.705-1-49: 1- приемный бункер; 2- отгружающий конвейер; 3- ковшовый элеватор; 4- автомобиль

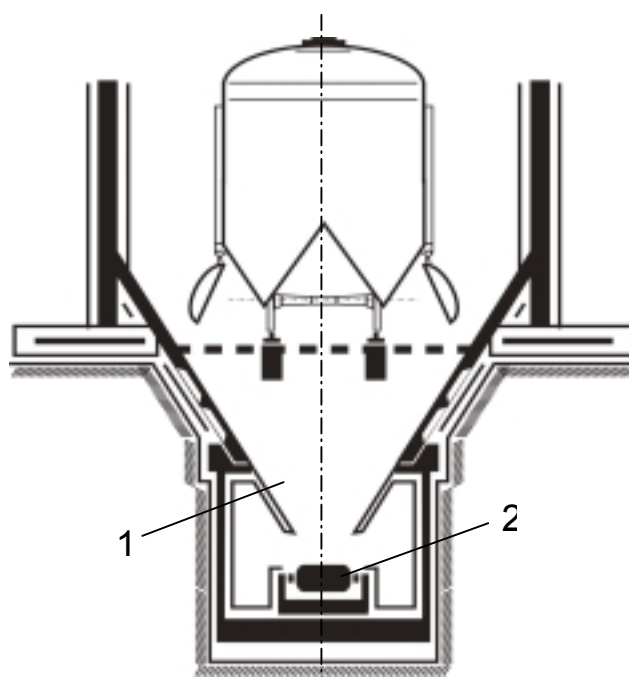


Рис.2.20. Схема приемного устройства по Т.П.705-139/40: 1- приемные бункеры; 2- ленточный питатель

В этом проекте с целью приближения приемного устройства к зданию склада угол наклона отгружающих ленточных конвейеров превышал допустимую величину ( $15-18^\circ$ ), в результате чего при транспортировке удобрений с малым углом трения имела место потеря груза в виде просыпи по всей длине трассы конвейеров. Для выгрузки удобрений из крытых универсальных вагонов выгрузочной машиной типа МВС-4М в проектах были предусмотрены бункеры с решеткой, через которую удобрения поступают на отгружающие конвейеры. Время простоя данного типа вагонов под разгрузкой определяется производительностью вагоноразгрузочной машины, которая не превышает 25-30 т/ч. В связи с тем, что в данных проектах вместимость подрельсовых бункеров меньше объема удобрений в вагонах-цементовозах, время разгрузки последних зависит только от производительности и надежности технологической линии отгрузки и подачи удобрений в склад. С целью снижения влияния производительности линии отгрузки удобрений на простой вагонов-хопперов под разгрузкой институтом ПромтрансНИИпроект было разработано приемное устройство бункерного типа согласованное с типовым проектам прирельсовых складов 705-1-39/40 и 705-1-55... 58.

Для разгрузки специализированных вагонов

(рис. 2.20) в приемном устройстве установлены с разрывом друг от друга два бункера вместимостью по  $40 \text{ м}^3$ , под которыми симметрично оси подъездного пути смонтирован промежуточный сборный ленточный транспортер. В типовых проектах 705-1-55... 58 приемные устройства предусматривают одновременную постановку под разгрузку 2...4 вагонов. С этой целью (рис. 2.21) вместимость каждого подрельсового бункера увеличивается до  $60 \text{ м}^3$ , что приводит к заглублению подрельсового приямка до отметки - 5,76 м. Увеличение парка вагонов-минераловозов и решение об их использовании для доставки минеральных удобрений потребовало дальнейшего совершенствования приемных устройств. С этой целью институтом ПромтрансНИИпроект были разработаны типовые проекты 705-1-93 и 705-1-94 отдельно стоящих приемных устройств бункерного типа с фронтом од-

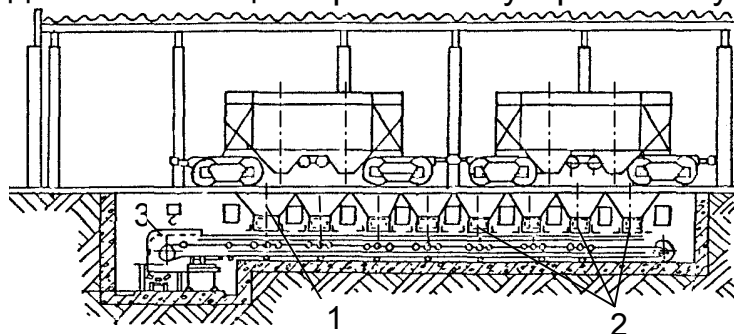


Рис.2.22. Схема приемного устройства по Т.П.705-1-94: 1- приемные бункера; 2- ленточные питатели; 3- сборный ленточный питатель

новременной разгрузки нескольких вагонов (рис. 1.22). В данных приемных устройствах с целью снижения заглубления их подземной части под каждым разгружаемым вагоном-хоппером предусмотрено по 4 бункера, снабженных ленточными питателями, подающими удобрения на



сборный ленточный конвейер, размещенный вдоль подъездного пути. При очевидной громоздкости технологического оборудования в этих проектах не удалось существенно уменьшить заглубление подрельсового приямка. В приемном устройстве по Т.П. 705-1-94 одновременная разгрузка двух вагонов с одним видом удобрения ограничена производительностью отгружающего конвейера, а с разными видами удобрений - не допустима (см. табл. 1.2).

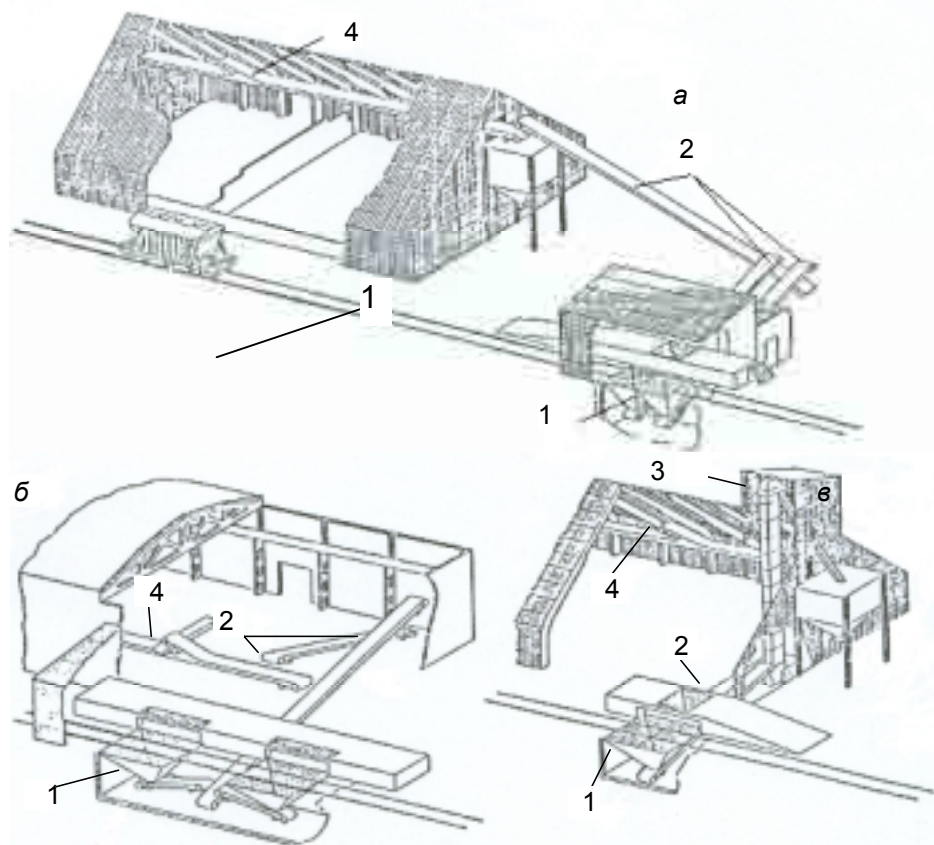


Рис.2.23. Транспортно-технологические схемы подачи сыпучих грузов в склад: а- двумя перпендикулярно расположенными наклонными транспортерами; б- двумя параллельно расположенными наклонными транспортерами; в- наклонным и вертикальным транспортерами; 1- приемное устройство бункерного типа; 2- наклонный ленточный конвейер; 3- ковшовый элеватор; 4- распределительный ленточный конвейер со сбрасывающей тележкой

Анализ технологических решений рассматриваемых подрельсовых приемных устройств показывает, что с увеличением вместимости приемных бункеров и, соответственно, заглубления подрельсового приямка существенно усложняется система подачи сыпучих грузов в склад. Этот общий недостаток данного типа приемных устройств подтверждают приведенные на рис. 2.23 варианты типовых схем загрузки прирельсовых складов. В первом варианте (рис. 2.23,а) отдельно стоящее приемное устройство размещается на значительном удалении от здания склада, что связано с увеличением затрат на строительство транспортных галерей и ростом площади застройки складского комплекса. Во втором варианте (рис. 2.23,б) часть склада, заня-

тая наклонными конвейерами, транспортирующими сыпучий груз в противоположных направлениях, не используется по назначению. В третьем (рис. 2.23,в) - для перегрузки сыпучих грузов в ковшовый элеватор его нижняя загрузочная часть размещена в приямке, что усложняет обслуживание элеватора и сокращает срок его службы. Во всех трех вариантах увеличение вместимости подрельсовых бункеров приводит к росту капитальных вложений и энергозатрат на транспортировку сыпучего груза от приемного устройства до соответствующего отсека склада, предназначенного для хранения сыпучих грузов.

Одним из существенных недостатков приемных устройств бункерного типа является несоответствие формы подрельсовых бункеров конструкции боковых разгрузочных люков вагонов-минераловозов, в результате чего средняя часть бункера после разгрузки вагона остается незаполненной сыпучими грузами. Некоторое снижение заглубления строительной части приемного устройства может быть достигнуто за счет оптимизации параметров боковых стенок бункера с продольным щелевидным отверстием, снабженного винтовым питателем (рис. 2.24).

Расчеты на ПЭВМ показывают, что за счет оптимизации профиля боковых стенок бункера со щелевидным отверстием при равной высоте можно добиться увеличения вместимости бункера на 15-20%.

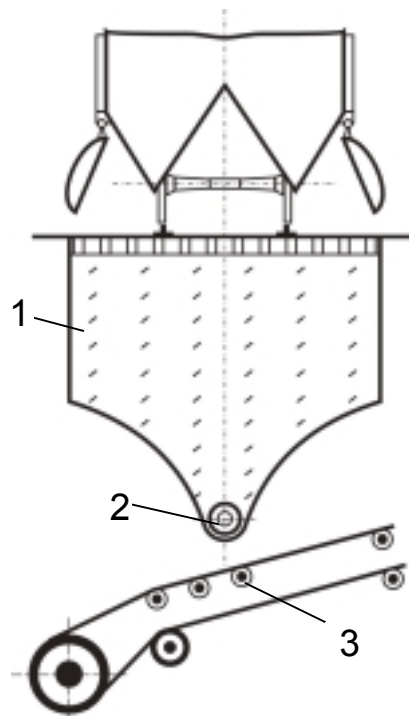


Рис.2.24. Схема приемного устройства с подрельсовым бункером и винтовым питателем: 1- бункер с криволинейными боковыми стенками; 2- винтовой питатель; 3- отгружающий конвейер

### *Приемные устройства на повышенном подъездном железнодорожном пути*

Приемное устройство на повышенном подъездном железнодорожном пути (рис. 2.25) впервые было использовано в типовом проекте 705-1-124 прирельсового склада для известковых материалов. В дальнейшем это решение было реализовано в ряде типовых проектов прирельсовых складов для минеральных удобрений как с мостовым грейферным краном и напольными средствами механизации, так и со стационарным конвейерным транспортом.

Технико-экономический анализ и опыт эксплуатации приемных устройств данного типа показывают, что они эффективны при концентрированных грузопотоках сыпучих грузов в вагонах-хопперах и поставках укрупненными партиями. Основное их пре-

имущество заключается в обеспечении оперативной разгрузки вагонов-хопперов.

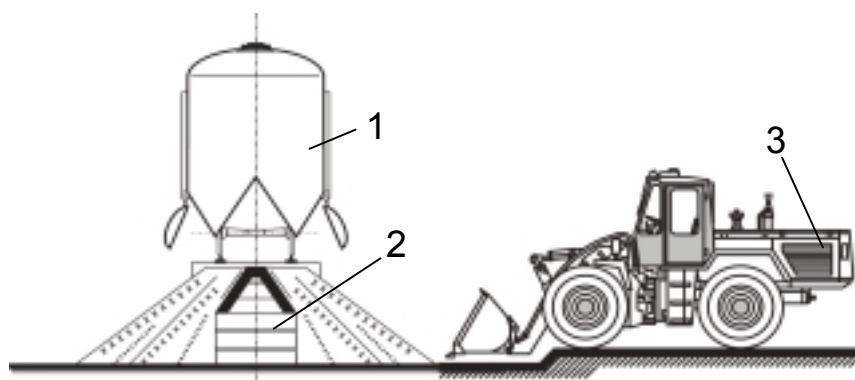


Рис.2.25. Схема разгрузки подвижного состава на повышенном пути: 1- вагон-хоппер под разгрузочными операциями; 2 - эстакада повышенного пути; 3- машина циклического действия

Однако, это преимущество может быть успешно реализовано только при условии соответствия фронта разгрузки числу одновременно поставленных вагонов и быстрой отгрузки сыпучих грузов от повышенного пути, что практически невозможно из-за ма-

лой производительности используемых для этой цели средств механизации циклического действия (мостовых грейферных кранов и ковшовых фронтальных погрузчиков).

Производительность основной операции разгрузки вагонов-хопперов на повышенном подъездном железнодорожном пути по времени истечения сыпучего груза определяется по следующей формуле

$$Q = 3600 Z \rho F_{\Pi} \lambda \sqrt{3,2 g R_r - \frac{2 \tau_o}{\rho f}} K_D, \text{ (т/ч)} \quad (2.7)$$

где  $Z$  - число одновременно открываемых разгрузочных люков вагонов;

$\rho$  - плотность сыпучего груза, т/м<sup>3</sup>;

$F_{\Pi}$  - площадь поперечного сечения потока груза, м<sup>2</sup>;

$\lambda$  - коэффициент истечения сыпучего груза;

$R_r$  - гидравлический радиус поперечного сечения потока груза, м;

$\tau_o$  - начальное сопротивление сдвигу частиц груза, Па;

$f$  - коэффициент внутреннего трения сыпучего груза;

$K_D$  - коэффициент деформации потока истекающего из вагона сыпучего груза (для внешней разгрузки  $K_D = 1,0$ ; для выгрузки во внутрирельсовое пространство  $K_D = 0,7 \dots 0,8$ ).

Расчеты по этой формуле показывают, что истечение несслежавшегося удобрения из вагона-минераловоза составит от 0,1 до 0,2 мин, в то время как продолжительность подготовки (очистки) фронта для приема следующего вагона с использованием указанных средств механизации составляет от 1 до 2 часов.

По данным исследований НИИЖТа расчетное время простоя вагона-минераловоза при разгрузке на повышенном подъездном железнодорожном пути с учетом продолжительности подготовительно-

заключительных операций будет составлять: при выгрузке азотных удобрений - 8,0-10,0 мин; калийных - 11,0-14,0 мин; фосфорных - 7,5 мин и сложных - 9,0-9,5 мин. Аналогичным будет расчетное время простоя вагона при разгрузке на приемном устройстве бункерного типа при вместимости подрельсового бункера, обеспечивающей полное опорожнение вагона. Однако, как показывает опыт и хронометражные данные, простой вагонов под разгрузкой на этих типах приемных устройств значительно выше. Причинами являются низкое техническое оснащение и слабый уровень организации труда в пунктах разгрузки вагонов, а также неисправности вагонов и слежалость поступающих под разгрузку сыпучих грузов.

Минимально необходимая высота повышенного подъездного железнодорожного пути для выгрузки удобрений из вагонов-хопперов определяется объёмом кузова вагона, конструкцией его разгрузочных люков и свойствами сыпучести самого груза. Для выгрузки хорошосыпучих грузов из вагонов-минераловозов минимально необходимая высота повышенного пути должна составлять 1,8 м, а для выгрузки плохосыпучих грузов из вагонов-цементовозов - 2,0-2,5 м. При данной высоте пути необходимые для обслуживания вагонов стационарные площадки не позволяют производить зачистку пола склада, примыкающего к вертикальным стенкам пути, с помощью напольных средств механизации. С другой стороны, отсутствие площадок не позволяет обеспечить безопасное обслуживание вагонов при их разгрузке.

Ввод повышенного пути в здание склада, как указывалось выше, значительно снижает эффективность использования склада в качестве хранилища удобрений. Экономическая целесообразность этого решения зависит от ширины здания склада, при этом минимальная её величина для этой цели должна быть 30 и более метров.

### **2.3. Конструктивные особенности силосов**

Как указывалось в подразделе 1.3, силоса отличаются от бункеров большими размерами по высоте. Конструктивно силоса выполняются так же, как и бункера. На ряде предприятий находятся в эксплуатации металлические силоса - как цилиндрические, так и прямоугольные. Чаще всего металлические емкости являются отпусковыми. Силоса также могут служить в качестве хранилищ готовой продукции либо использоваться как промежуточные емкости для хранения сырья или полуфабрикатов (рис.2.26). Возводятся как отдельные силоса, так и группы силосов, объединенные в один общий склад.

Размеры силосов, их форма, количество, способы опоры на фундамент, а также расположение в плане назначаются в соответствии с требованиями технологического процесса, условиями загрузки и разгрузки, а также исходя из технико-экономических предпосылок.

Силоса бывают круглыми, квадратными, прямоугольными, шес-

тигранными и многогранными. Предпочтение из-за простоты изготовления отдают круглым силосам. При такой форме стенки работают в основном на растягивающие усилия. Поэтому толщина их может быть небольшой. Эти силоса целесообразно выполнять с предварительным напряжением по внешнему периметру стенок. Благодаря этому бетон стенок получит напряжение сжатия, и в процессе работы при надлежащей величине усилия сжатия никогда не будет растянут.

При проектировании корпусов силосов круглой формы рекомендуется предусматривать их расположение рядами (рис. 2.27,а). Шахматное расположение (рис. 2.27,б) допускается в отдельных случаях, например при расширении существующих силосных корпусов.

Если цилиндрические силоса располагаются вплотную в два или несколько рядов, то между цилиндрами (рис. 2.27,а,б) образуются полости «звездочки», которые могут быть использованы как добавочные ячейки для хранения груза или для установки в них лестниц, фильтров и другого оборудования.

При прямоугольном, квадратном или шестигранном сечениях ячейки каждого силоса располагаются вплотную. При квадратном или прямоугольном сечении ячеек внешнее очертание всего силосного склада будет прямоугольным (рис. 2.28, а). Квадратное или прямоугольное сечение принимается в тех случаях, когда силоса должны иметь большое

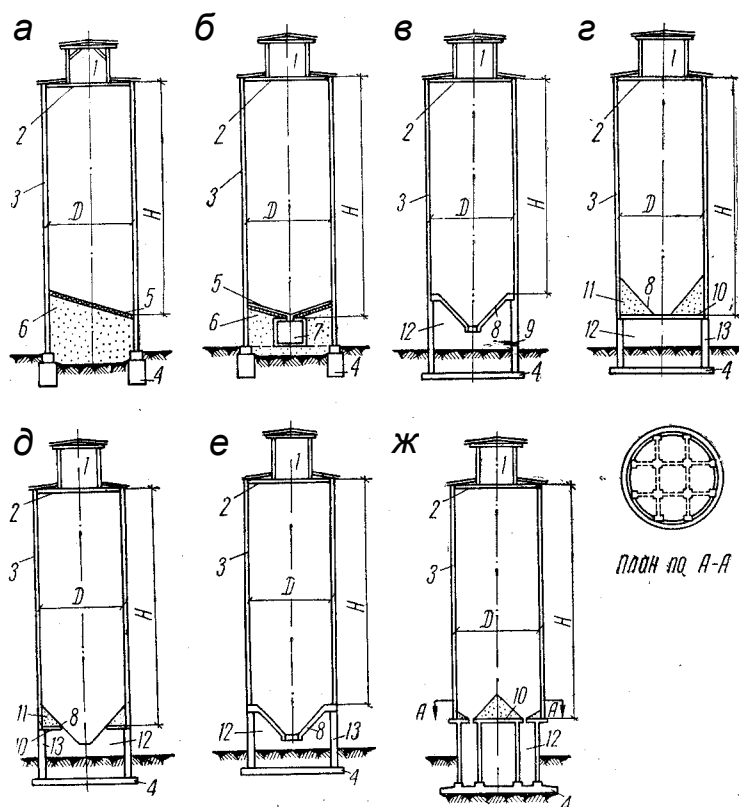


Рис.2.26. Различные схемы устройства силосов: а- без подсилосного этажа с разгрузкой через отверстие в стенке; б- то же. но с разгрузкой через специальные галереи под днищем; в- с конической воронкой, опирающейся на уступы утолщения стенок; г- с плоским железобетонным днищем и забутками; д- то же, но со стальной конической воронкой до половины диаметра силоса; е- с конической воронкой, опирающейся на отдельные колонны; ж- с плоским днищем, поддерживаемым колоннами по контуру стенок силоса и непосредственно под днищем; 1- верхняя галерея; 2- перекрытия; 3- стенки силоса; 4- фундамент; 5- бетонный пол; 6- песчаная подсыпка; 7- нижняя галерея; 8- железобетонная или стальная воронка; 9-утолщение стенки; 10- днище силоса; 11- забутка; 12- подсилосный этаж; 13-колонны

количество мелких ячеек для хранения разных грузов или одного и того же груза, но различных сортов.

Квадратное сечение рационально при размерах сторон не более 3...4 м. При больших размерах сторон квадратных или прямоугольных силосов в стенках возникают значительные изгибающие моменты, что требует увеличения их сечения. Используя предварительное напряжение стенок, можно получить рациональную конструкцию с ячейками 4...5 м при хорошем использовании силосного хранилища в плане.

За рубежом широкое распространение получили силосные склады шестиугольных и восьмиугольных силосов (рис. 2.28,б,в). Такие силоса сочетают в себе преимущества круглых и квадратных:

- отпадает необходимость в устройстве криволинейной опалубки;
- при наличии коротких пролетов в стенках возникают небольшие изгибающие моменты;
- полностью используется пространство склада;
- загрузка отдельных силосов не сказывается на работе остальных.

Силосные хранилища при незначительных площадях застройки могут иметь большую емкость. Обычно только несущая способность грунтов ограничивает высоту силосных складов, которые используются для хранения зерна, цемента, угля, соды, сахара, руды и других насыпных грузов.

При выборе типа силосного склада необходимо иметь в виду его непригодность для хранения сыпучих грузов, способных слеживаться или возгораться, или имеющих структуру, разрушающуюся под значительным давлением.

Типы силосных днищ обычно определяются условиями разгрузки материалов из силосов.

**Тип I.** Подсилосный этаж отсутствует, стенки заканчиваются на уровне верха фундамента. Днищем служит бетонный пол, устраиваемый на песчаной подсыпке. Разгрузка материала осуществляется через выпускные отверстия в стенках (см.рис. 2.26,а).

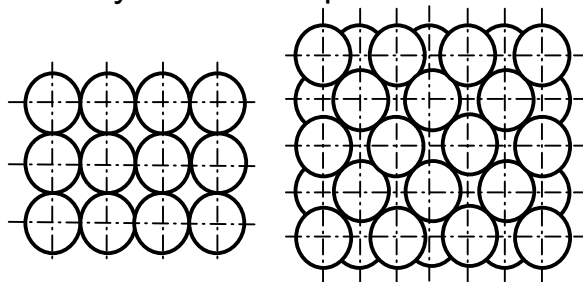


Рис.2.27. Корпуса из круглых силосов с различными схемами расположения силосов: а- с рядовым расположением цилиндрических силосов; б- с шахматным расположением

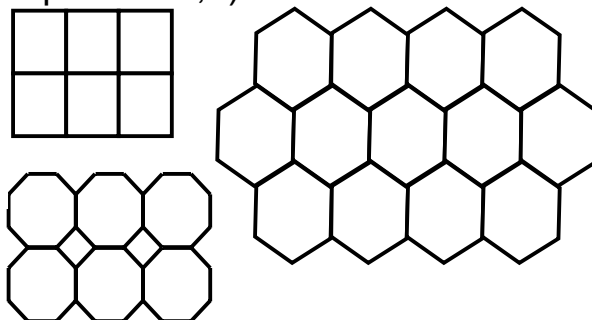


Рис.2.28. Корпуса из многоугольных силосов: а- с квадратными силосами; б- с силосами шестиугольной формы; в- с силосами восьмиугольной формы

**Тип II.** Также не имеет подсилосного этажа, разгружается через специальные галереи, проходящие под днищем. Груз самотеком поступает на транспортеры или шнеки, расположенные в галереях, через отверстие в перекрытии. Этот тип применяется для инвентарных складов цемента на базах строительной индустрии (см.рис. 2.26,б).

**Тип III.** Стенки непосредственно опираются на фундамент. Днище устраивается в виде конической воронки, стальной или железобетонной, которая опирается на уступы в утолщении стенки. В пределах подсилосного этажа толщина стенок делается большей, чем толщина силоса над воронками. Разгрузка силосов осуществляется самотеком (см.рис. 2.26,в).

**Тип IV.** Стенки начинаются на уровне железобетонного днища, являющегося перекрытием подсилосного этажа. Днище выполняется в виде плоской железобетонной плиты с забутками без устройства специальных воронок (см.рис. 2.26,г,ж), либо со стальными или железобетонными воронками (см.рис. 2.26,в,д,е). Колонны в этом случае устанавливаются по контурам силосов.

**Тип V.** Стенки начинаются от отметки днища. Колонны устанавливают по периметру силоса под его стенкой и непосредственно под днищем. Устройство дополнительных колонн позволяет уменьшить толщину плиты днища силоса и фундамента. Силоса такого типа получили широкое распространение для складов готовой продукции на цементных заводах (см.рис. 2.26,ж).

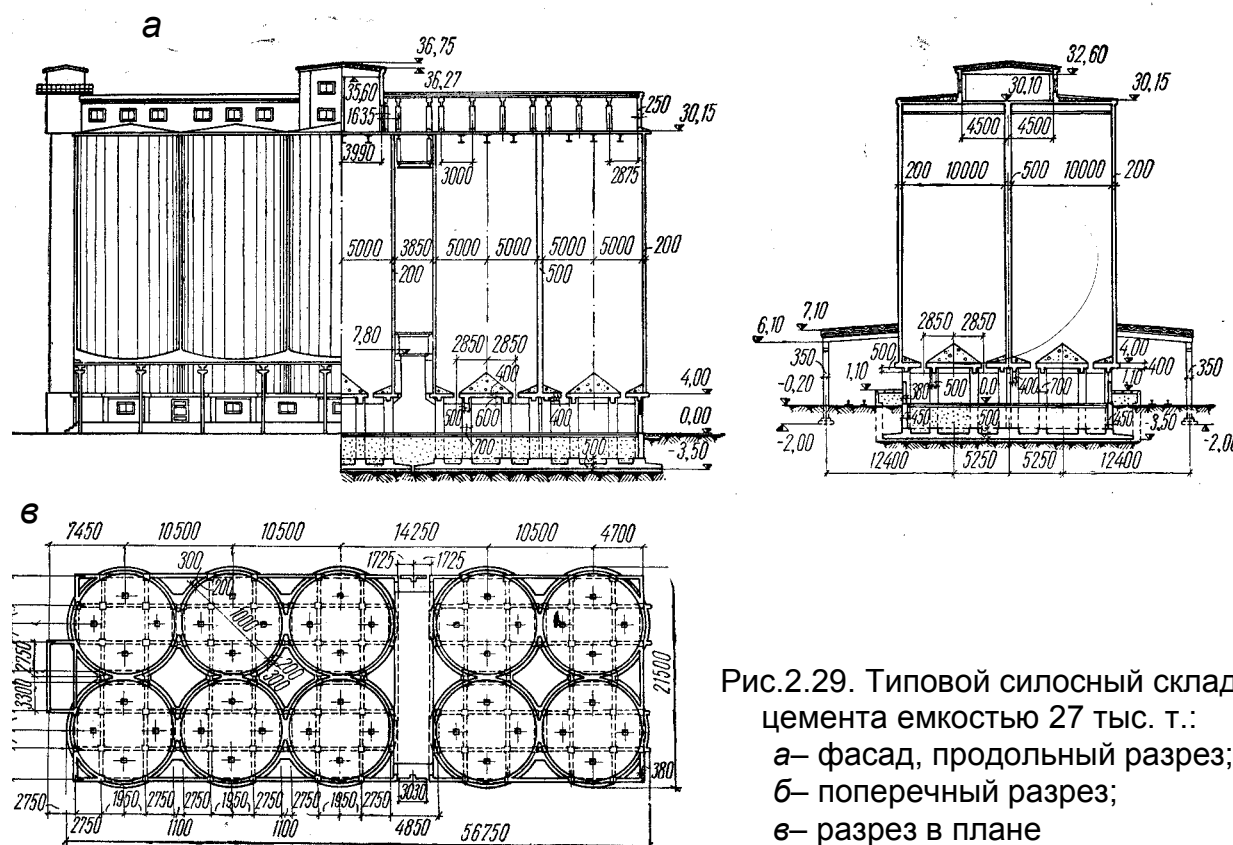


Рис.2.29. Типовой силосный склад цемента емкостью 27 тыс. т.:  
а– фасад, продольный разрез;  
б– поперечный разрез;  
в– разрез в плане



Типовой силосный корпус для хранения цемента, запроектированный институтом Гипроцемент (рис. 2.29), состоит из двух отдельных блоков из шести и четырех силосов с подсилосным этажом. Диаметр каждой банки 10 м, высота 26 м. Силосные банки возводятся в передвижной (скользящей) опалубке. Для уменьшения толщины плиты днища силосов и фундамента под каждым силосом установлены двенадцать колонн (восемь по контуру и четыре внутри контура силоса). Фундаменты под корпус и днище запроектированы в виде сплошных железобетонных ребристых плит. Перекрытие над силосами осуществлено в виде железобетонной плиты, бетонируемой по стальным балкам, которые в процессе возведения силосов являлись несущими конструкциями рабочего пола скользящей опалубки.

Склад товарного глинозема (рис.2.30) состоит из трех цилиндрических силосов диаметром 8 м с днищем в виде железобетонной воронки. Высота силоса (от низа воронки) 23 м. Каждый силос расположен на четырех колоннах, размещенных по контуру. Фундамент выполнен в виде отдельной круглой плиты, усиленной ребром, расположенным по оси стенок. Толщина стенок силоса 150 мм. Толщина стенок воронки, армированных двойной арматурой, 250 мм.

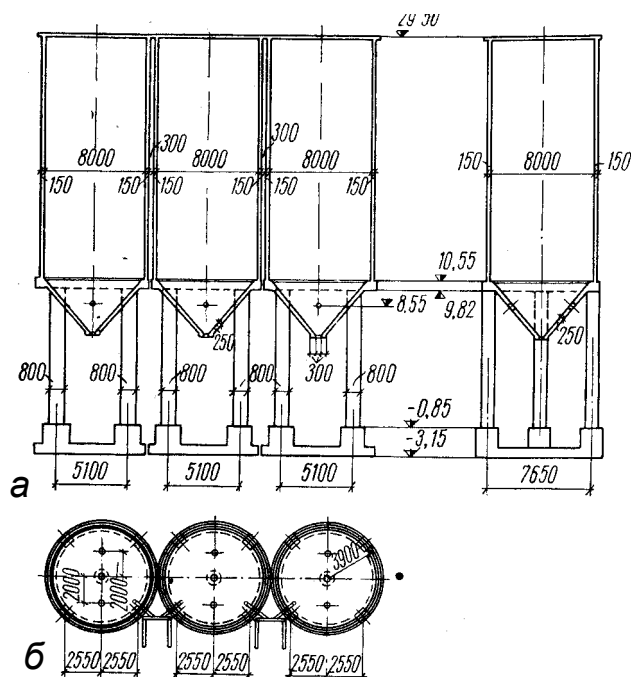


Рис.2.30. Силосный склад товарного глинозема: а– продольный разрез; б– поперечный разрез

Типовой прирельсовый склад цемента емкостью 3000 т (рис.2.31), запроектированный институтом Гипростроймаш, распространен на заводах строительной индустрии. Склад состоит из шести силосов диаметром 6 м и высотой от уровня земли 17,2 м без подсилосного этажа. Загрузка материала производится транспортером, располагаемым в верхней галерее, а разгрузка - через галерею, проходящую под силосами, опирающимися непосредственно на грунт. Фундаменты под силоса кольцевые, буюбетонные. Силоса возводятся в передвижной опалубке монолитными железобетонными конструкциями.



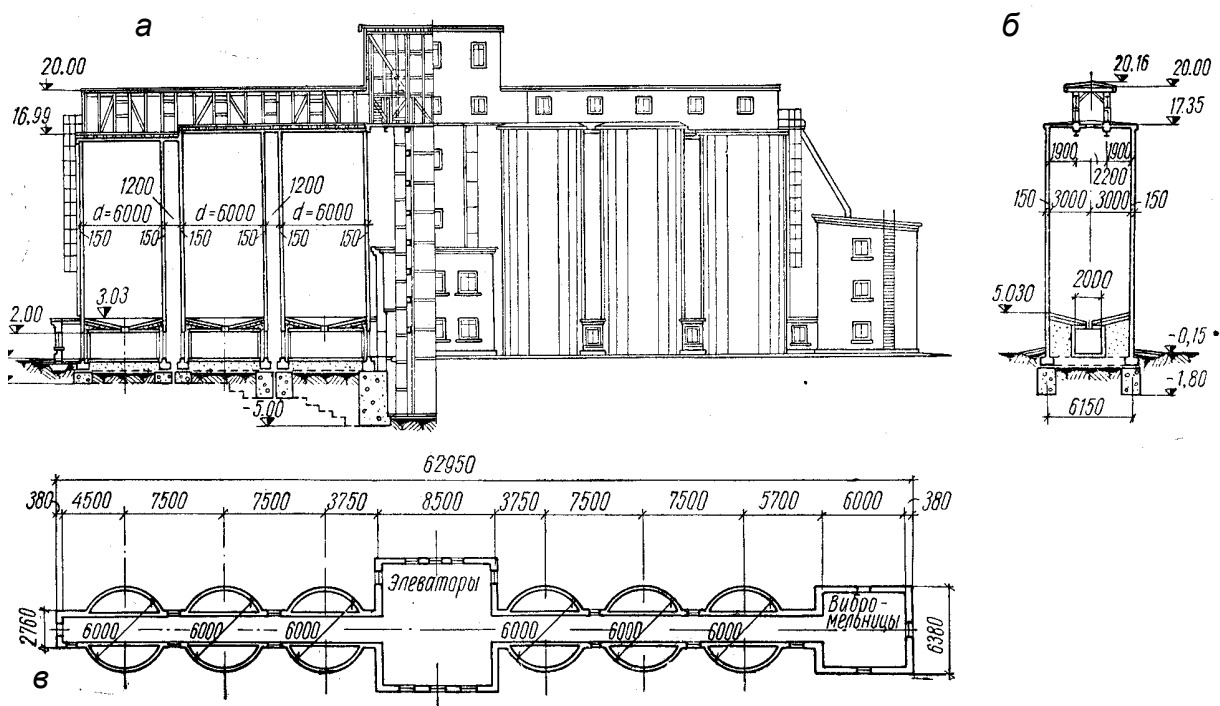


Рис.2.31. Силосный склад цемента емкостью 3 тыс. т.:  
а– фасад продольный разрез; б– поперечный разрез; в- план

### 2.3.1. Сборные силосы

При возведении силосов в сборных железобетонных конструкциях разделение их на отдельные элементы возможно как по вертикали, так и по горизонтали. Значительная высота усложняет разделение конструкции только по вертикали, так как в этом случае длина каждого элемента будет равна полной высоте силоса.

При вертикальном разделении силоса, решенного без предварительного напряжения, потребуется стыкование всей рабочей кольцевой арматуры, что ведет к непроизводительному расходу стали на стыки. Поэтому от такого способа обычно отказываются.

В тех случаях, когда все же устраивается вертикальное разделение стенок силоса, необходимо обеспечить в вертикальных стыках передачу полного усилия стыкуемой горизонтальной арматуры. Стыки должны воспринимать изгибающий момент не меньшей величины, чем смежное сечение элемента, во всех силосах, включая круглые. В последних при неравномерном загрузке могут возникнуть изгибающие моменты.

При устройстве сварных стыков со стальными закладными частями стыки следует забетонировать, чтобы предохранить их от коррозии. При проектировании сборных силосов нужно по возможности сокращать количество вертикальных стыков элементов стенки. Наиболее целесообразным является возведение сборных силосов из

замкнутых кольцевых элементов.

Ниже приводятся несколько примеров решения силосных корпусов в сборном железобетоне.

Силосный корпус для хранения зерна емкостью 32 тыс. т с учетом заполнения межсилосных «звездочек» разработан ГПИ-6 Министерства строительства РСФСР (рис. 2.32, 2.33).

Корпус состоит из двух блоков по двадцать четыре круглых силоса в каждом. Диаметр силосов 6 м, высота около 30 м. Они установлены в четыре ряда по шесть силосов в каждом. Под силосами на колоннах размещается подсилосный этаж высотой около 5 м, а над силосами устроена галерея. Все конструкции силосного корпуса, за исключением монолитной фундаментной плиты, решены в сборном железобетоне.

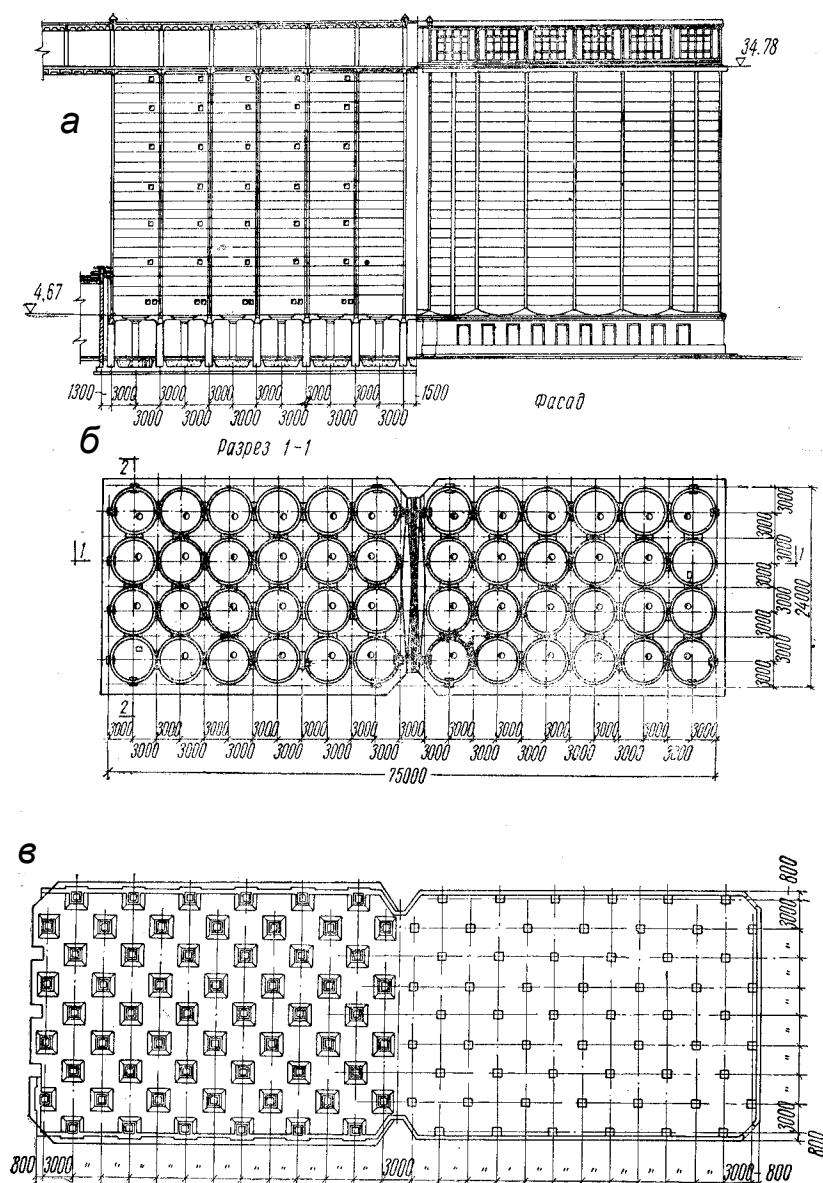


Рис.2.32. Силосный корпус, собираемый из железобетонных колец: а- фасад и продольный разрез; б- план; в- план подсилосного этажа (справа) и фундаментной плиты (слева)

Колонны подсилосного этажа расположены в шахматном порядке с шагом 3 м (рис. 2.32,в). Такая расстановка позволяет получить экономичные сечения подсилосных и фундаментных плит. Сборные железобетонные колонны заделываются в опорные башмаки стаканного типа, предусмотренные в фундаментной плите (рис. 2.33,а).

Плиты подсилосного этажа устанавливаются по диагональной раскладке на колонны и привариваются к ним с помощью специально предусмотренных закладных деталей в плитах и колоннах (рис.2.33,а,д,е). Размер основных средних плит в плане 4,2×4,2 м. Силосные

банки выполняются из сборных железобетонных колец с наружным диаметром 5,94 м, высотой 1,48 м и толщиной 12 см (рис.2.33,е). Кольца армируются сварными сетками трех типов в зависимости от расположения колец по высоте и банок в плане. Для нижних колец крайних банок принята двойная сетка арматуры. В местах сопряжения смежных силосных банок предусмотрены монолитные «шпонки», армируемые вертикальными пространственными сварными каркасами и сетками (рис.2.33,ж). Это увеличивает общую жесткость силосного корпуса и создает замкнутые участки между силосами «звездочки».

Надсилосное перекрытие запроектировано из сборных железобетонных ребристых панелей размерами 4,48×4,48 м и 3,97×3,97 м. Надсилосная галерея монтируется из сборных железобетонных рам и двух типов панелей: кровельной и стеновой.

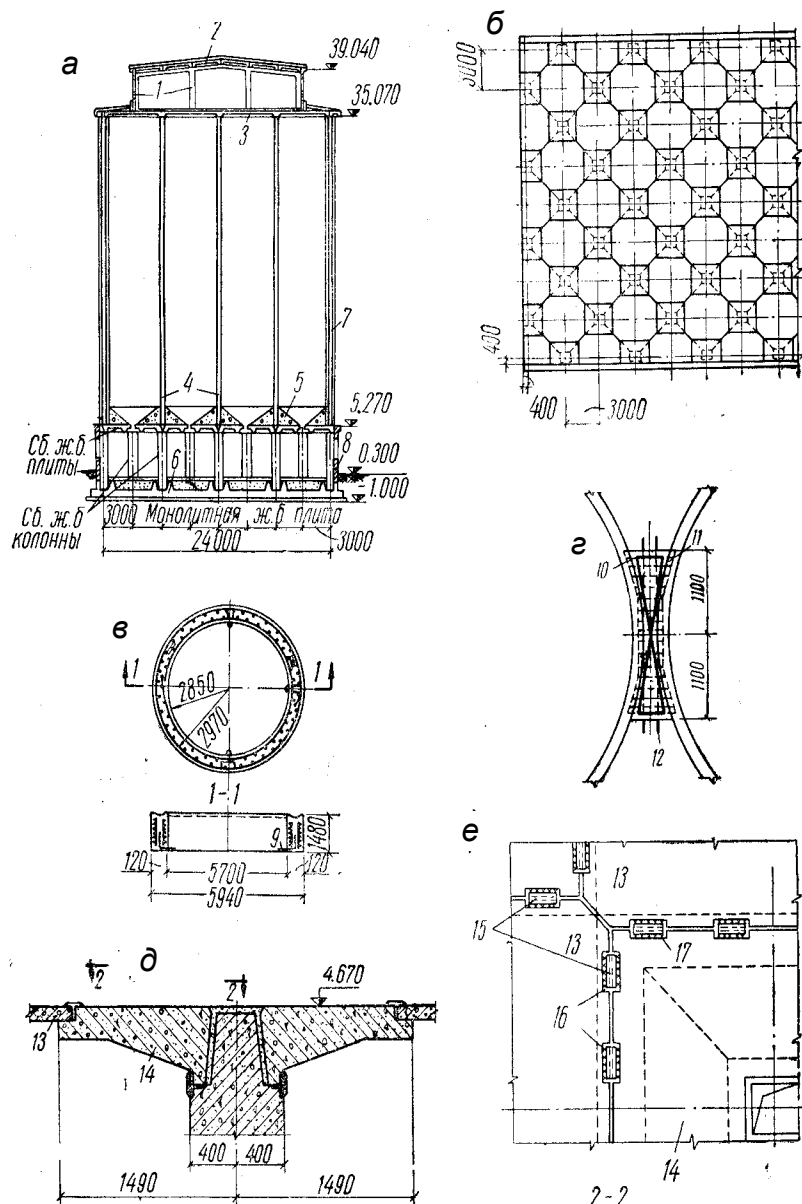


Рис.2.33. Силосный корпус, собираемый из железобетонных колец: а- поперечный разрез; б- монтажный план подсилосного перекрытия; в- сборное кольцо силосной банки; г- колонна; д,е- детали крепления элементов железобетонного перекрытия к колоннам; 1- сборная железобетонная рама; 2- крупнопанельные плиты; 3- сборная железобетонная плита; 4- сборные железобетонные кольца; 5- шлакобетон; 6- монолитная железобетонная плита; 7- пилястры в крайних банках; 8- бетонные блоки; 9- петли для монтажных подмостей; 10- арматурный каркас; 11- арматурная сетка; 12- выступ для крепления опалубки; 13- подсилосная плита; 14- капитель; 15-металлическая накладка; 16- закладные детали плиты; 17- закладные детали капители

Силос восьмиугольной формы, сконструированный французским инженером Жаном Клэ (рис.2.34), монтируется из сборных железобетонных плит толщиной 5 см, усиленных ребрами размером 5×25 см. Каждая плита имеет размеры 2,75×0,39 м.

Плиты изготавливаются в жесткой опалубке и в дальнейшем не требуют штукатурки. В каждом углу восьмигранника возводится железобетонная колонна. Плиты устанавливаются на растворе одна на другую в соответствии с восьмиугольным планом силоса. Толщина шва 1 см. Силос по высоте усиливается монолитными железобетонными горизонтальными кольцами размером 25×27 см, устанавливаемыми на расстоянии 3 м. Кольца монолитно связываются с вертикальными стойками, возводимыми в каждом углу восьмиугольника. Таким образом, стойки и горизонтальные кольца создают жесткий неизменяемый каркас, который заполняется сборными железобетонными плитами. Силоса имеют гладкий пол с устройством выходного отверстия на нулевой отметке.

Силосный склад для хранения зерна емкостью 26 тыс. т (рис.2.35) состоит из шести двенадцатиугольных силосов диаметром 17,7 м и распределительной башни высотой 40 м. Силосные банки и воронки собираются из заранее заготовленных плит. Воронки опираются на прямоугольные железобетонные колонны и монтируются из

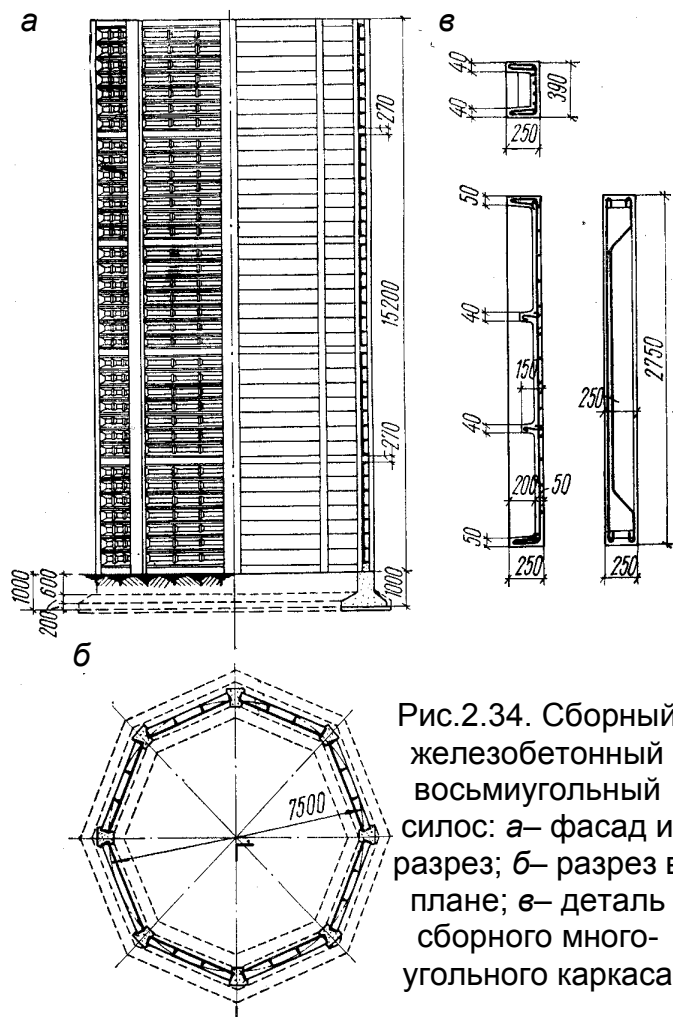


Рис.2.34. Сборный железобетонный восьмиугольный силос: а– фасад и разрез; б– разрез в плане; в– деталь сборного многоугольного каркаса

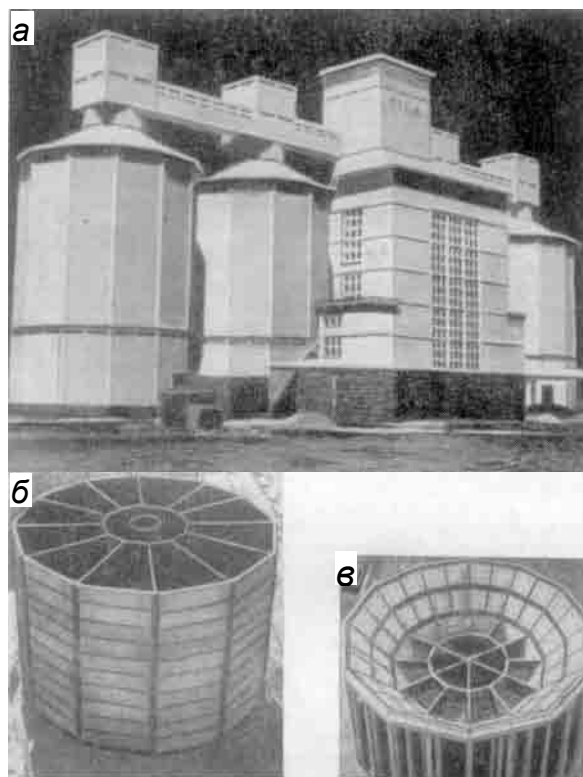


Рис.2.35. Многоугольные силосы для хранения зерна: а– общий вид; б– силос в процессе сборки; в– выгрузная воронка в процессе : борки

сборных плит с заливкой швов на месте (рис.2.35,в). Силосные банки состоят из двенадцати трапециевидальных секций (рис.2.35,б). В центре силосной банки устроено многоугольное отделение диаметром 5,7 м, в котором располагается подъемник, заключенный в специальный сборный цилиндр, высота цилиндра равна высоте силоса. Стенки силоса собраны из плит высотой 97,5 см и толщиной 8,75 и 15 см. Вертикальные швы между плитами с арматурой, выступающей из концов плит, заливаются бетоном на месте. Стыки усиливаются вертикальной арматурой. Покрытие изготавливается из сборных железобетонных элементов.

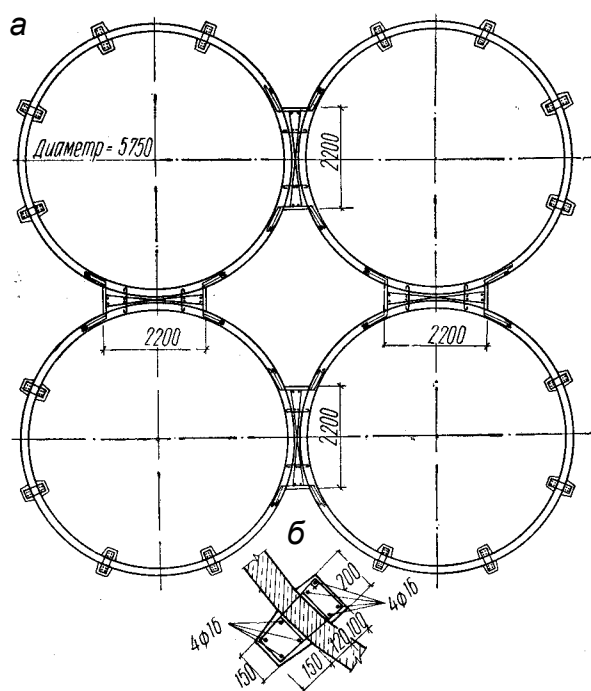


Рис.2.36. Сборные железобетонные силосы: а- план; б- деталь

Представляет интерес конструкция силосного склада со стенками из сборных элементов для хранения семян масличных культур, построенного в Польше (рис.2.36). Склад состоит из 24 круглых силосов с внутренним диаметром 5,75 м, высотой 25 м. В двухэтажной надстройке размещаются транспортные устройства. Стенки выполнены из сборных кольцевых звеньев. Диаметр звена по оси стенки 5,87 м, высота 0,66 м, толщина стенки 0,12 м. Звенья соединены по вертикали монолитными железобетонными колоннами, хомуты которых укладываются в швы между звеньями. Кроме того, звенья смежных силосов замоноличиваются на длине 2200 мм с укладкой специальных стержней и хомутов в стыках между звеньями.

### 2.3.2. Разновидности типовых силосных емкостей

Хранение сыпучих грузов чаще всего осуществляется в силосах сечением 3,0×3,0 м; 3,0×1,5 м; 4,2×4,2 м; 4,2×2,1м, высотой до 24 м. Такие силосы выполнены из монолитного железобетона для типовых установок общей емкостью 1200...2500 т и из сборных железобетонных конструкций для типовых установок емкостью 300, 500, 750 и 1500 т.

За рубежом также применяются разнообразные силосы, отличающиеся между собой геометрическими формами и размерами, материалом и конструкцией стен, обработкой их внутренней поверхности, применением различных покрытий.

На рис.2.37 показаны силосы различных конфигураций. Силос,

изображенный на рис. 2.37,а, представляет собой обычную конструкцию прямоугольной формы с выпускной воронкой в центре днища. Угол наклона стенок воронки  $60^\circ$ . В таких силосах отмечается значительное уплотнение материала и образование сводов.

В силосе (рис. 2.37,б) три стенки воронки расположены вертикально. Наклон четвертой стенки воронки составляет  $70^\circ$ . Следует отметить, что увеличение угла наклона в некоторых случаях уменьшает возможность сводообразования.

Предложенная фирмой «Миаг» (ФРГ) форма силоса (рис. 2.37,в) способствует резкому изменению направления движения сыпучего груза при выпуске, что также снижает опасность сводообразования.

В силосе, изображенном на рис.2.37,г, расширение стенок по направлению к днищу выполнено в виде обратного конуса при квадратной или круглой форме поперечного сечения.

В силосе (рис. 2.37, д) выпускные отверстия расположены в углах квадратного основания круглого силоса, то есть за пределами зоны давления.

Фирма «Маннхейм» (ФРГ) предлагает к использованию силосы сечением  $2,5 \times 3,15$  м различной высоты. Он имеет две вертикальные боковые стенки и две, имеющие наклон в нижней части  $60^\circ$ . Выпускная воронка состоит из двух частей, противолежащие стенки которых также располагаются под углом  $60^\circ$  (рис. 2.37, е). Такое усложнение конструкции оправдывается ликвидацией сводов в полости силоса.

Использование указанных конструкций приводит к потере вместимости силоса и нерациональному использованию производственного помещения.

Фирмами «Миаг» и «Бюлер» (Швейцария) разработано несколько типов силосов для хранения муки емкостью  $50 \dots 750 \text{ м}^3$ . Эти силоса сооружаются высотой 20 и 30 м. На рис. 2.37,ж показана схема си-

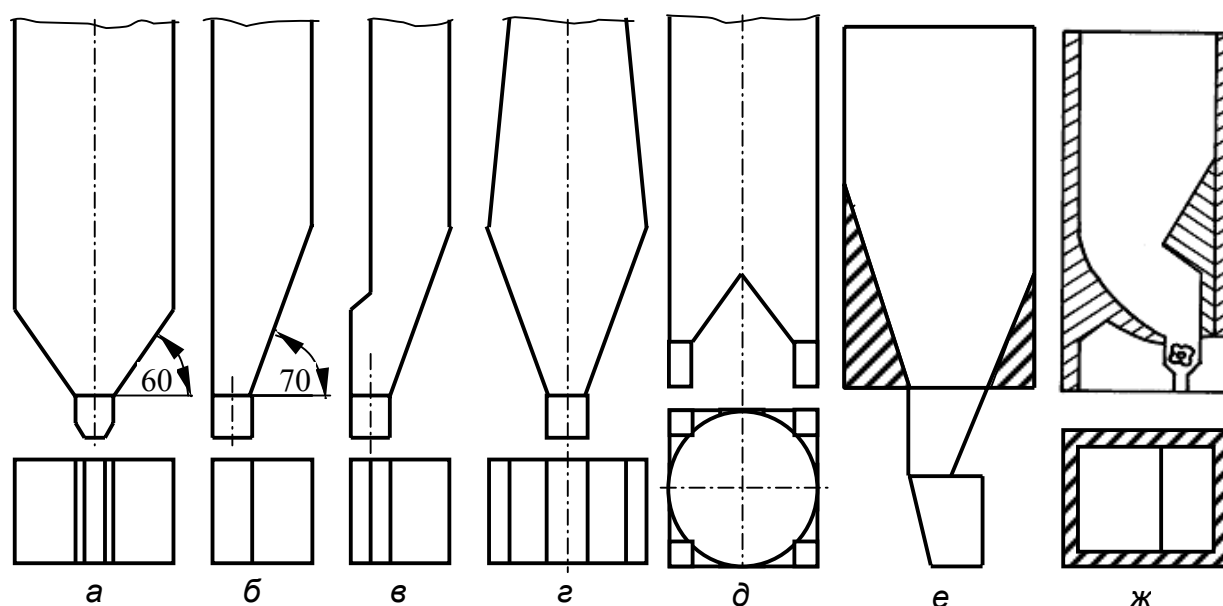


Рис. 2.37. Конструктивные схемы силосов

лоса, который широко эксплуатируется в настоящее время в ФРГ, Швейцарии, Италии и некоторых других странах. Силос прямоугольной формы оборудован специальным разгрузочным выступом. Одна из стенок силоса подходит к выпускному отверстию под углом  $40^\circ$  и облицована гладкими пластинами. Переход стенки из вертикального положения в наклонное осуществлен плавно радиусом, равным примерно  $2/3$  ширины силоса. Закруглённая поверхность снижает вертикальное давление муки на выпускное отверстие.

В ФРГ функционируют также отдельно стоящие хранилища емкостью 250 тонн. Каждое хранилище состоит из пяти силосов с размерами в плане  $6 \times 9$  м, высотой 11 м. Внутренняя поверхность стен отделана гладкой цементной штукатуркой.

На рис. 2.38 показан силос конструкции Хартмана, представляющий собой в плане восьмиугольник с диаметром вписанной окружности, равным 7,5 м. Продукт удаляется из силоса через 4 отдельные выпускные отверстия размером  $0,4 \times 0,4$  м. Стенки выпускных воронок расположены под углом  $65 \dots 75^\circ$ . Такая конструкция силоса способствует выпуску труднотыпучих грузов.

Современная тенденция предполагает использование листовой или профильной стали для строительства небольших силосов и железобетона - для строительства силосов большой емкости.

Использование профильной стали позволяет увеличить проч-

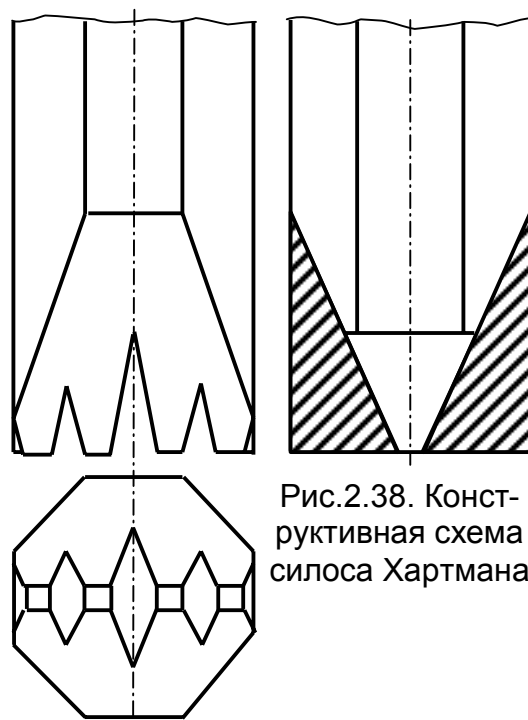


Рис.2.38. Конструктивная схема силоса Хартмана

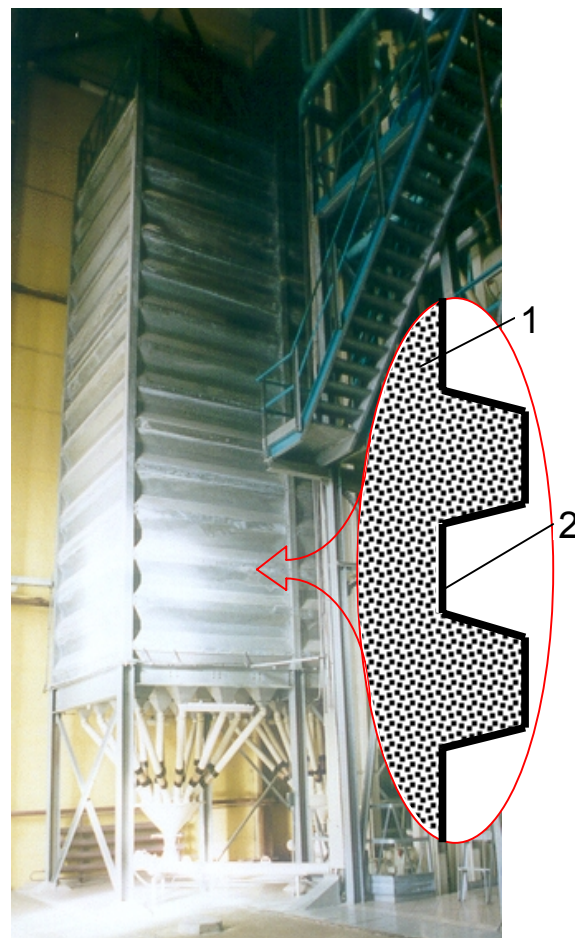


Рис.2.39. Конструкция силоса из профильной стали для хранения хорошо- и среднетыпучих грузов: 1- хранимый груз; 2- стенка емкости



ностные характеристики конструкции, а также чередовать коэффициент трения груза о внутренние стенки конструкции и самого груза. Такое конструктивное исполнение емкостей нашло применение для хранения хорошо- и среднесыпучих грузов (рис.2.39).

Одним из направлений, улучшающих условия истечения трудносыпучих грузов и предупреждения сводообразования, является специальная обработка внутренней поверхности выпускной воронки силоса, обуславливающая уменьшение коэффициента внешнего трения, сил сцепления и увеличение скорости выгрузки. С этой же целью применяется также покрытие стен силоса и выпускной воронки специальными покрытиями - фосфатными красками, полимерными материалами и ряд других мер, предотвращающих появление коррозии металлической поверхности, прилипание хранящихся в силосе материалов. Эти покрытия одновременно должны еще обладать достаточной механической прочностью, необходимой адгезией при нанесении на железобетонные и металлические поверхности, отсутствием выраженной электризации, безвредностью.

Внутренняя поверхность стен силосов не должна иметь пазов, щелей и отверстий. Рекомендуется уделять особое внимание качеству выполнения закругления углов, так как трудносыпучие грузы в углах легко залегают.

Улучшению процесса бесперебойного истечения способствует применение специальных дополнительных устройств: питателей, побудителей, стабилизаторов истечения и давления сыпучего груза.

### 2.3.3. Типы конструкций металлических силосов из оцинкованной или эмалированной стали



Рис.2.40. Силосные корпуса из оцинкованной стали

В последние десятилетия наблюдается тенденция возведения силосных корпусов из гофрированной оцинкованной и эмалированной стали (для хранения зерновых грузов) (рис.2.40).

В силосах подобных конструкций обеспечивается:

- равномерная загрузка по плотности насыпи зерновых грузов;
- механизированная перегрузка из любого силоса в любой другой силос блока, рециркуляция в одном силосе, в том числе при одновременном вентилировании;
- исключение конденсации влаги на внутренней полости;
- режим аэрации зерна в любой комбинации силосов;
- энергосбережение при выгрузке зерновых грузов;



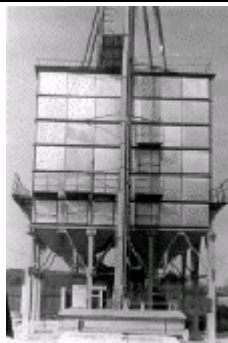
- механизированная довыгрузка зерновых грузов (при наземном исполнении);
- автоматизация, контроль предельной загрузки со звуковой сигнализацией и дублированием автоматическими устройствами;
- электронный контроль температуры насыпи в силосах с центрального пульта в диспетчерской со световой индикацией предельных режимов и цифровым архивом;
- исключение попадания в полость бункеров силосов атмосферных осадков, птиц и грызунов;
- возможность технического обслуживания аэрационных и выгрузных систем при порожнем силосе и ручной доочистки дна.

Основные виды металлических силосов вместимостью от 5 до 6000 т представлены в табл. 2.4.

*Таблица 2.4*

Основные типы конструкций металлических силосов  
вместимостью от 5 до 6000 т

| Тип конструкции | Краткая характеристика                                                                               | Общий вид                                                                             |
|-----------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
| Тип «Д»         | Сборка на болтах с герметиком.<br>Цилиндрические, панельные, сборные на болтах, из профильной стали. |  |
| Тип «П»         | Сборка на болтах без герметика.<br>Полигональные, сборные из плоских универсальных панелей.          |  |
| Тип «С»         | Сборка сваркой одного шва.<br>Цилиндрические, цельнометаллические.                                   |  |

| Тип конструкции   | Краткая характеристика                                                                                                                                               | Общий вид                                                                           |
|-------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
| Тип «К»<br>(«СН») | Сборка фальцевым стыком.<br>Цилиндрические, спирально-навивные.                                                                                                      |  |
| -                 | Сборка с помощью болтовых соединений.<br>Прямоугольные, из плоских панелей, сблокированные с общей двухскатной кровлей или отдельно стоящие с пирамидальной кровлей. |  |

Универсальные комплексные зернохранилища вместимостью от 500 до 30000 т и более предназначены для хранения зерновых грузов влажностью от 16 до 20%.

Силоса размещаются непосредственно на легких незаглубленных фундаментах или на опорах с конусным дном.

Комплексные хранилища, представленные в табл. 2.5, могут комплектоваться сушильным оборудованием на газе, жидком и твердом топливе, очистительными цехами, мини-заводами по переработке зерна, производству муки, масла, спирта и т.п. любой вместимости и структуры от 500 до 30000 т и более.

Таблица 2.5

Основные типы зернохранилищ вместимостью от 500 до 30000 т и более

| Тип конструкции | Вместимость силоса, т | Количество комплектов силосов, шт. | Общий вид                                                                             |
|-----------------|-----------------------|------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
| К-750           | 40                    | 10                                 |  |
|                 | 125                   | 3                                  |                                                                                       |
| К-1700          | 40                    | 10                                 |  |
|                 | 125                   | 6                                  |                                                                                       |
|                 | 300                   | 2                                  |                                                                                       |

|         |      |    |                                                                                     |
|---------|------|----|-------------------------------------------------------------------------------------|
| К-4000  | 125  | 6  |  |
|         | 300  | 4  |                                                                                     |
|         | 500  | 4  |                                                                                     |
| К-9000  | 300  | 8  |  |
|         | 500  | 6  |                                                                                     |
|         | 1000 | 4  |                                                                                     |
| К-15000 | 300  | 10 |  |
|         | 500  | 4  |                                                                                     |
|         | 1000 | 10 |                                                                                     |

## 2.4. Отгрузка сыпучих грузов в подвижной состав

Загрузка транспортных средств сыпучими грузами, как правило, сопряжена с применением отпускных бункеров. Последние в нижней части имеют разнообразные устройства для свободного, дозированного или весового отпуска груза. В первом случае осуществляется неконтролируемая или визуально контролируемая операция, которая впоследствии может подтверждать правильность загрузки с помощью вагонных или автомобильных весов. Это связано с увеличением количества операций, которые проводятся с подвижным составом. В последние годы уделяется особое внимание полному автоматизированию процессов загрузки, однако для этого должно быть согласовано большое число факторов. Так, при погрузке необходимо взаимное соответствие типа и конструкции вагона; его грузоподъемности и вместимости с интенсивностью поступления потока насыпного груза различной насыпной плотности и способности к уплотнению и т. п. Необходимо обеспечить возможность регулирования этого потока и его стабильность при непрерывном или периодическом передвижении вагонов. Учитывая эти факторы, можно составить наиболее оптимальную схему для погрузочного комплекса с минимальными затратами на время загрузочного и маневрового процессов.

### 2.4.1. Отпускные трубы

Отгрузка сыпучих грузов из стационарных емкостей сопоставима с загрузкой кузовов подвижного состава и транспортных средств (вагонов и автомобилей). Для выполнения названных операций используются отпускные самотечные трубы в сочетании с отпускными бунке-

рами и конвейеры с загрузочными лотками. В качестве конвейеров эксплуатируются ленточные, скребковые, винтовые и другие транспортеры.

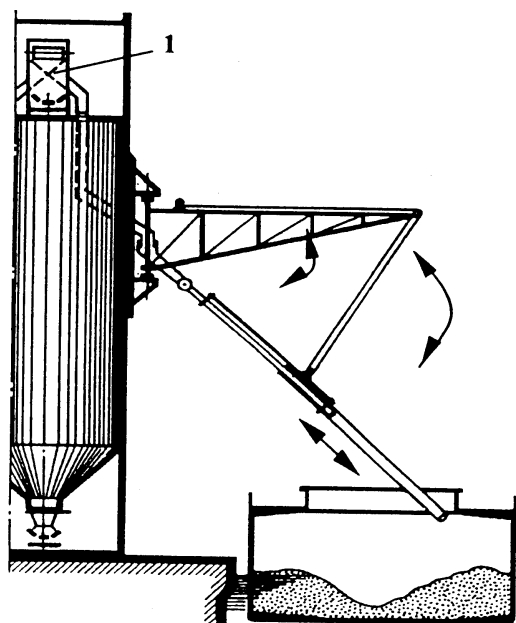


Рис.2.41. Отпускная самотечная труба, подвешенная на стене силоса:  
1 – разгрузочная тележка

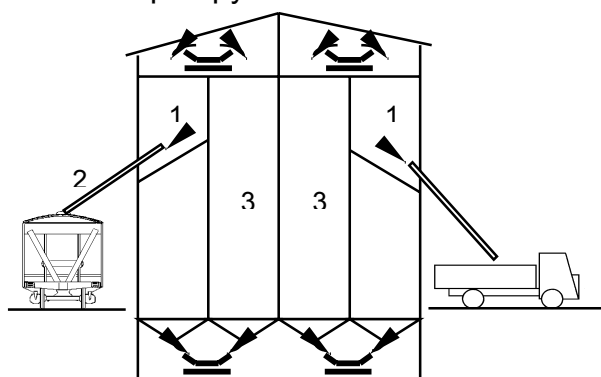


Рис.2.42. Устройства для отпуска зерна:

1 – отпускные бункера; 2 – отпускные трубы; 3 – основные бункера

Наиболее распространенная схема загрузочного самотека представлена на рис.2.41. Однако имеют место упрощенные схемы загрузочного самотека в виде гибкой трубы с задвижкой (рис.2.42).

Самотечная загрузка обеспечивает высокую производительность, однако при падении хрупкий материал дробится и рассыпается. Это увеличивает содержание пылевидных частиц в грузе. Пыль, вытесняемая воздухом, поднимается из полости емкости, что способствует значительной потере груза и усугубляет экологическую обстановку в зоне загрузки емкостей.

При ударе потока о ранее загруженный в транспортное средство слой груза вытесняется эквивалентный объему потока объем запыленного воздуха, выбрасываемого в окружающую среду. Падение скорости потока в контейнере до нуля приводит к выделению кинетической энергии, которая сопровождается дроблением частиц загружаемого материала.

Энергия удара суммируется из двух составляющих: начальной энергии груза на выходе из самотека и прироста энергии свободного падения при выходе материала из самотека до точки удара. Первую составляющую можно уменьшить практически до нуля за счет установки на выходе самотека устройства регулирующего скорость потока. Вторая составляющая может быть контролируема путем размещения выходного отверстия самотека по возможности ближе к точке удара. В практике имеют место несколько схем контролируемых и дозирующих выпускных устройств, обеспечивающих достаточно эффективную беспыльную загрузку.

Аспирационный отпускной самотек оснащен вращающимся секторным клапаном, перекрывающим сечение самотечной трубы

(рис.2.43). Клапан регулирует скорость потока и предотвращает также возникновение застойных зон. Вытесняемый запыленный воздух аспирируется через направляющую трубу телескопического самотека. Более сложным устройством, обеспечивающим беспыльную загрузку, является система с секторной заслонкой (рис.2.44). Выход самотека оснащается двухстворчатым клапаном. Управление его работой осуществляется за счет электрического или пневматического привода, а контроль наличия груза в трубе фиксируется двумя уровнемерами. Выходу запыленного воздуха клапан не препятствует. Однако запирает его в самотечной трубе, когда уровень груза близок к выпускному отверстию.

Недостатком этого устройства является прерывистый поток продукта и большая собственная масса.

Фирма «Buhler-Miag» предложила устройство для устранения пылеобразования, в котором используется принцип «пробки», которая

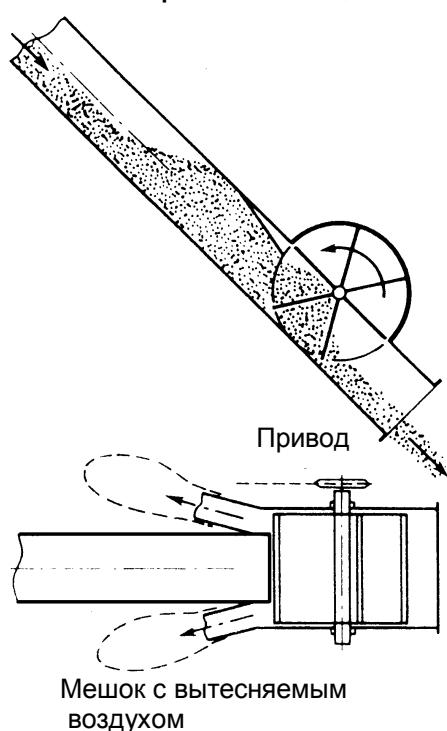


Рис. 2.43. Отпускной самотек с вращающимся выпускным клапаном



Рис.2.46. Винтовой отпускной самотек

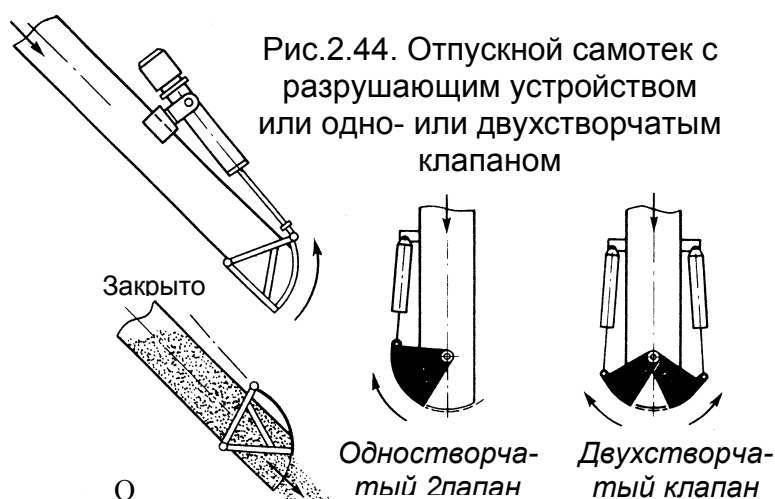


Рис.2.44. Отпускной самотек с разрушающим устройством или одно- или двухстворчатым клапаном

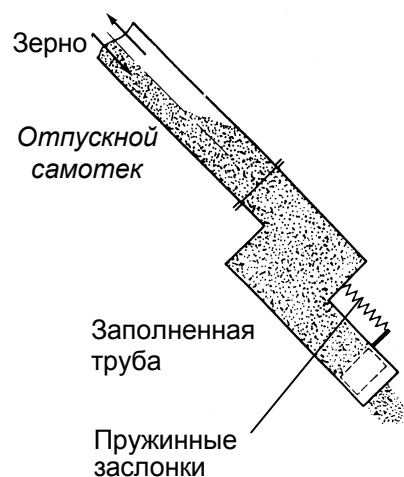


Рис.2.45. Устройство для устранения пылеобразования

автоматически регулирует размер отверстия самотека в зависимости от подачи продукта (рис.2.45). Специальная головка крепится к нижнему концу наклонного самотека. Эксплуатационный диапазон наклона угла головки изменяется от 16 до 60° по отношению к вертикали. Разрыв направленного вниз потока осуществляется в головке отпускного самотека. Пружинные заслонки открываются автоматически, контролируя количество выгружаемого продукта по отношению к его количеству в самотеке. Регулирующая заслонка позволяет обеспечить истечение транспортируемого груза плотным потоком, что предотвращает выбросы воздуха, загрязненного пылью.

Решение такой задачи преследует и конструкция винтового отпускного самотека (рис.2.46).

#### 2.4.2. Установки для отпуска пылевидных грузов из стационарных емкостей

Отпуск пылевидных грузов, таких как цемент, гипс, известь и т.д., производится специальными пневматическими установками, способными перемещать груз из стационарной емкости в мобильные с минимальными потерями пылевидной фракции.

*Установки для погрузки пылевидных материалов в автоцементовозы.* Установки для полуавтоматической погрузки цемента и других пылевидных материалов в автоцементовозы состоят из комплекса отдельных узлов и механизмов, управляемых автоматически с помощью датчиков контроля.

Компоновка узлов и механизмов зависит от местных условий, она, как правило, принципиально одинакова и включает: выгрузатель, установленный на отпускной емкости; пневмотранспортный трубопровод; гибкий шланг или аэрожелоб; затвор с дистанционным управлением; загрузочное устройство; узел для автоматической подачи сжатого воздуха; грузоподъемное устройство для соединения загрузочного устройства с люком цементовоза; сигнализатор предельного уровня; приборы и узлы автоматики.

На рис. 2.47 представлена схема наиболее распространенной отпускной пневмоустановки. Ее основным узлом, обеспечившим возможность автоматизации процесса погрузки, является затвор цементопровода клапанного типа с приводом от мембранных камер. Этот привод позволяет создать надежный в эксплуатации затвор очень простой конструкции, который имеет дистанционное управление и может работать в системах с автоматическим управлением при любых погодных условиях. Отпускная емкость 1 снабжена аэрационными устройствами, выполненными из сварных металлических кассет, покрытых слоями полотна-бельтинга с металлической сеткой для прочности. Кассеты объединены в группы, и к ним воздухопроводами подведен сжатый воздух. Груз в емкости аэрируется периодически, по

мере необходимости. На выходном отверстии емкости смонтирован пневматический донный выгрузатель 2. Шарнирное соединение с гибким трубопроводом 3 позволило соединить загрузочное устройство 4 при помощи тельфера 5 с люком автоцементовоза 6. Затвор 7 клапанного типа с мембранным приводом служит для перекрытия потока отпускаемого груза.

Узел автоматической подачи сжатого воздуха 8 подает воздух в донный разгрузатель, привод затвора и цементопровод для транспортирования цемента.

Электронный сигнализатор уровня груза в емкости ЭСУ-1 установлен в загрузочном устройстве 4 на крышке, прикрывающей люк автоцементовоза. Он подает сигнал в цепь управления для прекращения погрузки цемента. Запыленный цементом воздух очищается в фильтре, который входит в конструкцию загрузочного устройства 4. Основным недостатком такого фильтра является его низкий эффект аспирации. Поэтому приходится применять принудительный отсос запыленного воздуха с последующей очисткой его в фильтре, установленном на отпускных емкостях.

Для погрузки автоцементовоз подъезжает таким образом, чтобы люк его оказался под загрузочным устройством. При помощи тельфера цементопровод с загрузочным устройством опускается на люк цистерны автоцементовоза, при этом крышка загрузочного устройства плотно закрывает люк. Процесс погрузки происходит автоматически. Нажатием кнопки включается передача сжатого воздуха для аэрации,

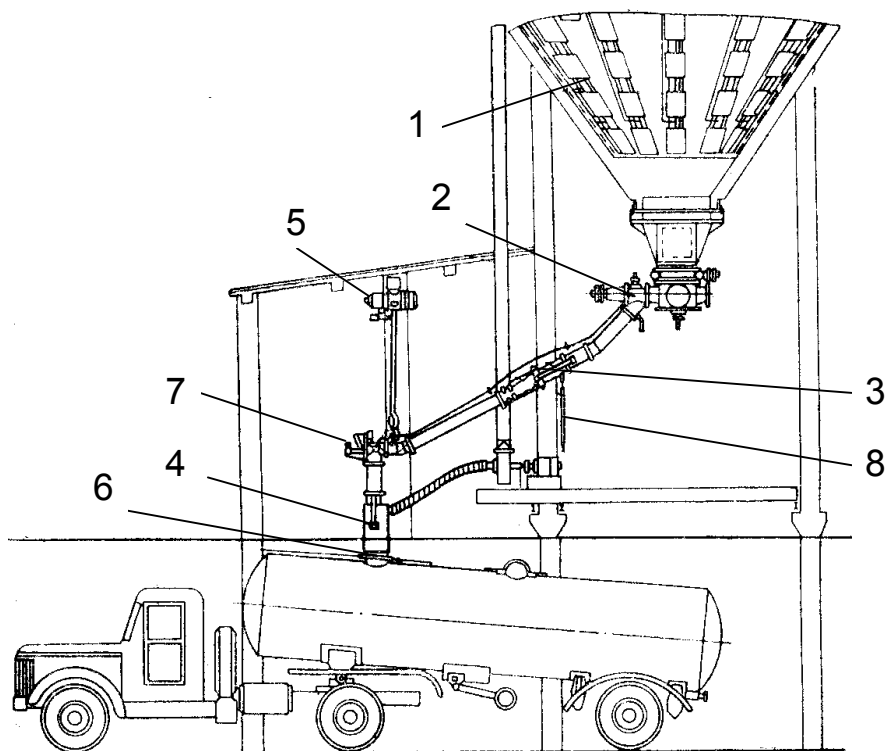


Рис.2.47. Установка для полуавтоматической погрузки в автоцементовозы

на поддув в цементопровод и одновременно в пневматическую камеру для открывания затвора. Эти операции производит узел автоматического управления сжатым воздухом при помощи вентиля с электромагнитным приводом. При этом аэрированный цемент поступает из силоса по цементопроводу в цистерну автоцементовоза.

После наполнения цистерны автоцементовоза датчик уровня ЭСУ-1, установленный на загрузочном устройстве, дает сигнал в систему управления, вследствие чего прекращается подача воздуха на аэрацию и транспортирование цемента, а также закрывается затвор цементопровода, и поступление цемента в цистерну прекращается. Затем загрузочное устройство тельфером поднимается в исходное положение.

Производительность установки составляет 150...200 т/ч.

*Установки для погрузки в специализированные вагоны.* В состав таких установок входят выгрузатели (донные или боковые), пылепроводы, затворы, узлы подачи сжатого воздуха, загрузочные устройства. Компоновка этих узлов и механизмов, а в отдельных случаях и их конструкция зависят от местных условий.

Наиболее распространенной является установка, представленная на рис. 2.48, снабженная устройством для загрузки крытых вагонов и устройством для загрузки через люк вагонов-цементовозов.

Устройство 1 для загрузки крытых вагонов оборудовано специальным узлом отбора запыленного воздуха, фартуком для сброса транспортируемого материала внутрь вагона и уплотнения дверного проема снизу. К трубопроводам устройства подсоединены гибкие напорные рукава 2 длиной 2,5...3 м. Для отсоса запыленного воздуха подключен гибкий рукав с металлической спиралью. За счет изгиба рукава осуществляется перемещение подвижных трубопроводов погрузочного устройства.

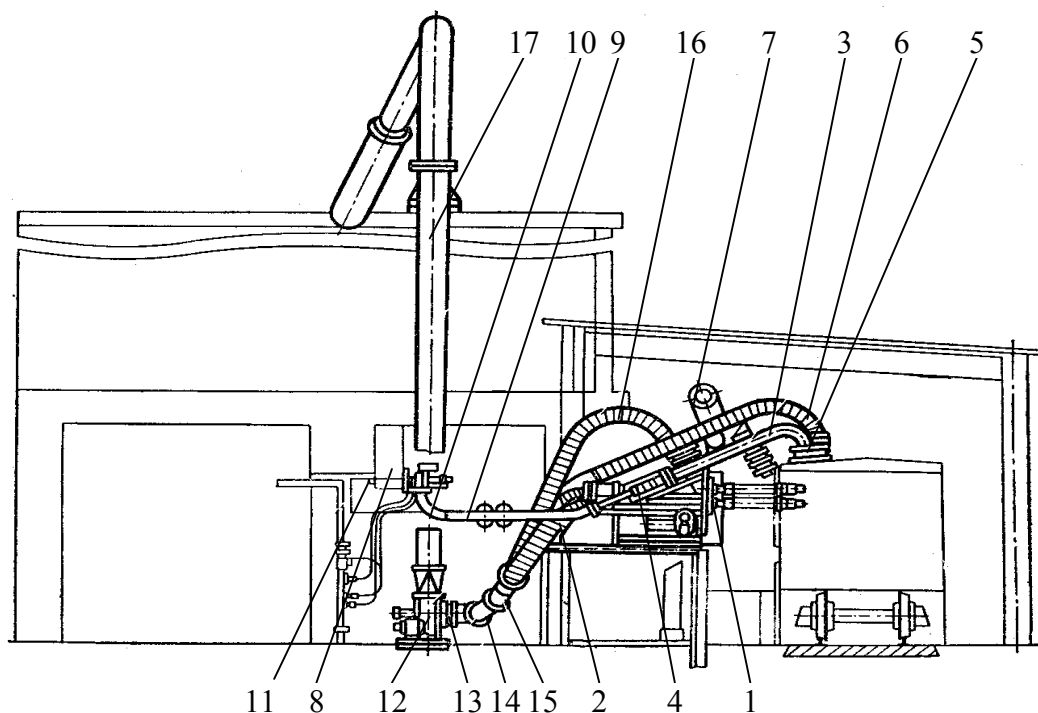


Рис.2.48. Установка для затаривания пылевидных грузов в железнодорожный подвижной состав



Устройство для загрузки вагонов-цементовозов через люк состоит из двух цементопроедов 3, шарнира 4 типа Гука с гибкими трубами и загрузочной крышки 5. К последней крепятся цементопроеды и гибкий рукав 6 для отсоса запыленного воздуха. Загрузочная крышка, поднимаемая и опускаемая электротельфером 7, снабжена датчиком предельного уровня мембранного типа. К каждой точке погрузки подходят две пневмотранспортные линии, состоящие из донных выгрузателей 8, трубопровода 9, к которому подключены отводы 10 от каждого донного выгрузателя, и двухходового переключателя. К переключателю подключены трубопровод для загрузки крытых вагонов и трубопровод для загрузки вагонов-цементовозов. Каждый донный выгрузатель с дистанционным управлением снабжен ручной задвижкой и затвором клапанного типа с пневматическим приводом.

В местах ввода сжатого воздуха в донные выгрузатели и трубопровод установлены сопла 11 с фильтрующим элементом, предотвращающим попадание транспортируемого материала в воздушную магистраль. Дистанционное управление подачей сжатого воздуха к донному выгрузателю и трубопроводу осуществляется вентилями с электромагнитным приводом; во время их ремонта пользуются обводным трубопроводом с краном ручного управления.

Для отсоса из вагона запыленного воздуха служит пылевой вентилятор 12 типа ЦП-7-40 № 6. Вентиляционная установка размещается между силосами. К тройнику 13 крепятся два колена 14, снабженные дросселями 15 с электромагнитным приводом. К каждому колену подведены резинотканевые рукава 16 и 6 для отсоса запыленного воздуха при загрузке крытых вагонов и вагонов-цементовозов. Один из дросселей в зависимости от типа загружаемого вагона (крытый или цементовоз) в начале погрузки открывается автоматически.

Труба 17 служит для отвода запыленного воздуха, который через соединительные трубопроводы равномерно распределяется по всем силосам. Значительная часть цемента при этом осаждается в свободном от материала пространстве силосов. Окончательная очистка воздуха производится рукавными фильтрами, установленными на силосах.

Пульт управления установкой размещен в весовой будке. Управлять установкой можно и с загрузочной площадки с помощью дублирующих кнопок. Установка снабжена светофором, на котором загорается красный свет во время погрузки и зеленый свет после ее окончания, когда загрузочное устройство находится в нерабочем положении и вагоны можно передвигать.

Порядок загрузки крытых вагонов следующий. Вагон подается на весы и устанавливается так, чтобы распределительные насадки подвижного устройства могли пройти в дверной проем. Весы показывают вес загружаемого материала с тарой. На пульте управления нажимается кнопка, и устройство для загрузки подается в рабочее поло-

жение. Уплотняющий щит закрывает дверной проем и на светофоре загорается красный свет. Далее все операции происходят автоматически. Нажатием кнопки включается пуск сжатого воздуха в цемен-топровод и в пневмозагрузатель. Одновременно открывается затвор выгрузателя и включается вентилятор отсоса запыленного воздуха. Аэрированный цемент поступает из силоса по трубопроводу в вагон. Распределительные насадки равномерно распределяют груз по вагону. Выделяющийся запыленный воздух отсасывается вентилятором и направляется в силосы.

После загрузки вагона по электросигналу от датчика, установленного на весах, закрывается затвор пневмовыгрузателя, прекращается подача сжатого воздуха в него и через некоторое время, необходимое для очистки трубопровода от материала, прекращается подача сжатого воздуха в трубопровод, затем загрузочное устройство отводится в нерабочее положение и выключается отсос запыленного воздуха. На светофоре загорается зеленый свет, на весы устанавливается следующий вагон и цикл повторяется.

Производительность установки при погрузке одновременно двумя трубами с помощью выпускаемых промышленностью выгрузателей достигает до 500 т/ч.

**Выгрузатели.** Для выгрузки цемента и других пылевидных материалов из отпускных бункеров применяют, как правило, донные и боковые выгрузатели.

Емкости с такими выгрузателями оборудуют пористыми плитками или кассетами с полотном-бельтинг для подачи сжатого воздуха. Аэрирование материала в силосе обеспечивает повышенную текучесть нижних слоев, что способствует равномерному бесперебойному поступлению груза в выгрузатели и предотвращает сводообразование. Обычно кассетами для аэрации покрывается  $\frac{1}{4}$  часть поперечного сечения силоса, и воздух подается поочередно в группы кассет, объединенных воздухопроводом. Это дает возможность с относительно небольшим расходом воздуха — в среднем  $0,3 \text{ м}^3/\text{мин}$  на  $1 \text{ м}^2$  площади плиток — добиться удовлетворительного эффекта аэрирования груза.

Выгрузатели принимают из силосов предварительно аэрированный материал и обеспечивают дальнейшее транспортирование аэро-смеси по пылепроводу в мобильную емкость. С помощью выгрузателей регулируют производительность установки и прекращают подачу материала.

Применение системы аэрирования материала в силосе и пневматических выгрузателей с дистанционным управлением является необходимым условием при автоматизации процесса загрузки транспортных средств из отпускных емкостей.

Выгрузатель для боковой пневматической разгрузки с дистанционным управлением устанавливается на боковой стенке силоса или

бункера и служит для равномерной и непрерывной подачи аэрированного материала в транспортирующие устройства или мобильные емкости (рис. 2.49, а).

Выгрузатель имеет чугунную коробку 1 и запорную задвижку 2. К коробке 1 через переходник 3 крепится коробка клапана 4 с механизмом управления, который состоит из цилиндра, поршня, штока поршня, винта клапана и воздухораспределителя. Запорная задвижка 2, управляемая рычагом, служит для ручного быстрого включения и выключения выгрузателя.

Аэрированный материал из силоса при открытой задвижке поступает в переходник и далее транспортируется по трубопроводу. В ряде случаев, например при погрузке в вагоны, необходимо увеличивать длину трубопровода, вследствие чего сопротивление его возрастает и приходится уменьшать концентрацию транспортируемой смеси, что достигается введением дополнительного воздуха через сопло в начальный участок трубопровода.

Пневмовыгрузатель донной выгрузки (рис.2.49,б) устанавливается под дном силоса. Он состоит из чугунной коробки шиберов 1, прикрепленной к выпускному отверстию силоса болтами, корпуса 2 для разрыхления материала с помощью пористой плиты 3, через которую подается сжатый воздух, и коробки клапана с механизмом управления 4, аналогичным боковому выгрузателю. Плоский шибер, установленный между выходной воронкой силоса и корпусом выгрузателя, открывается и закрывается с помощью специального привода, состоящего из конических шестерен 5 и цепного приводного блока 6.

Под пористую плиту в нижней части корпуса разрыхлителя подается сжатый воздух, благодаря чему материал, находящийся в корпусе, постоянно поддерживается в текучем состоянии; через две трубы диаметром  $\frac{3}{4}$ " подводится дополнительный воздух для транспортирования материала. Поток материала регулируется клапаном, который приводится в действие пневматическим

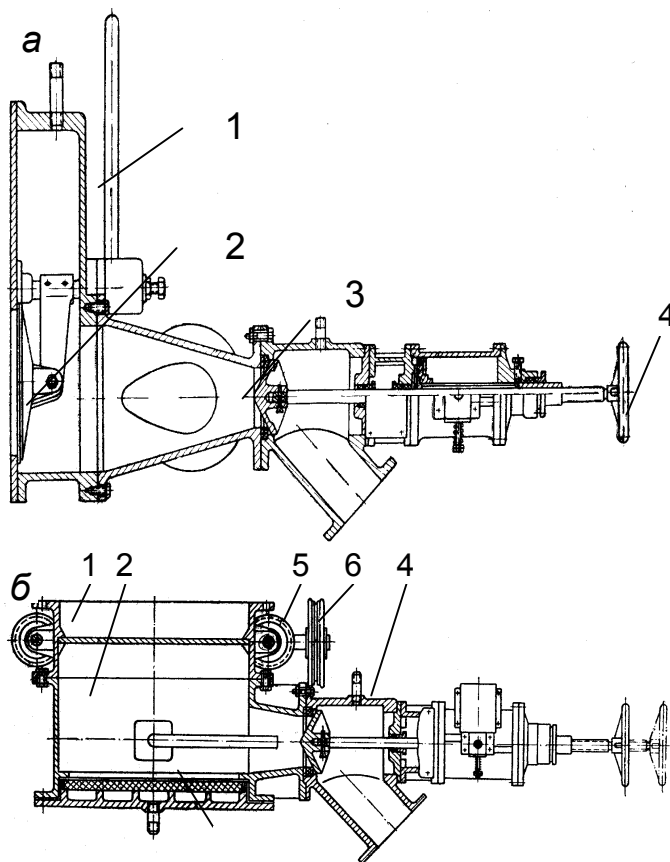


Рис.2.49. Пневматические выгрузатели из емкостей для пылевидных грузов:  
а- боковой; б- донный

механизмом управления.

К недостаткам работы выгрузателей следует отнести:

- нарушается плотность затвора при попадании в него комков слежавшегося груза;
- плоский шибер донного выгрузателя часто заклинивает и пользование им затруднительно;
- пневматический цилиндр привода клапана при отрицательной температуре и при наличии в сжатом воздухе влаги замерзает.

Краткие технические характеристики пневмовыгрузателей даны в табл. 2.6.

Таблица 2.6

Основные параметры пневмовыгрузателей

| Наименование показателей    | РАЗМЕРНОСТЬ | ТИП ВЫГРУЖАТЕЛЯ |          |
|-----------------------------|-------------|-----------------|----------|
|                             |             | боковой         | донный   |
| Производительность          | т/ч         | 60...250        | 60...250 |
| Диаметр выходного отверстия | мм          | 150             | 150      |
| Вес                         | кг          | 506,5           | 573,1    |

Следует отметить, что при гравитационной выгрузке пылевидных материалов вместо выгрузателей также можно пользоваться шлюзовыми затворами.

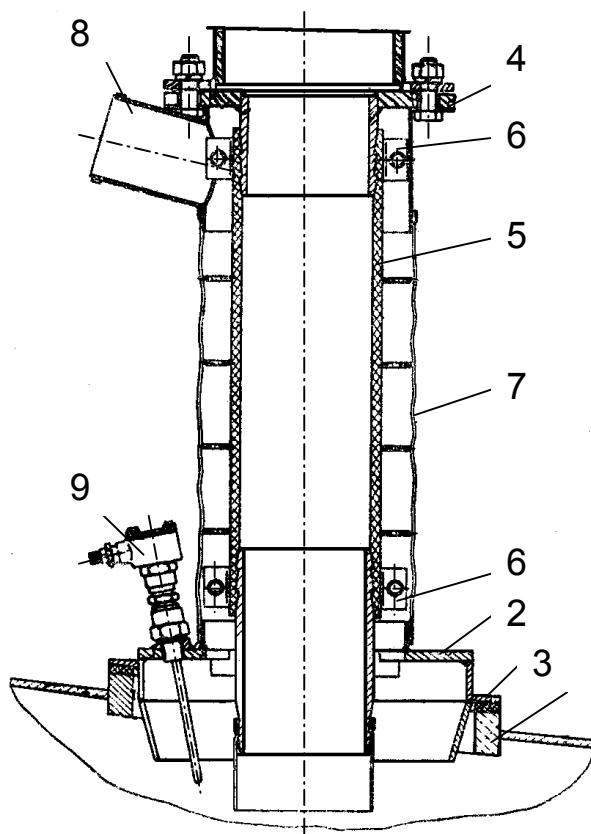


Рис.2.50. Загрузочное устройство для автоцементовозов

*Загрузочные устройства* служат для погрузки аэросмеси в емкость, отбора запыленного воздуха, сигнализации о наполнении емкости, уплотнения загрузочного проема емкости. Они осуществляют последнюю технологическую стадию погрузки, состоящую из следующих основных операций:

- ориентации устройства относительно загрузочного проема транспортной емкости с помощью различных приводов и механизмов, входящих в само устройство, а также специальных механизмов;
- уплотнения загрузочного проема;
- сигнализации о наполнении емкости;
- отбора запыленного воздуха.

При погрузке под избыточным давлением запыленный воздух может очищаться в напорном рукавном фильтре, который конструктивно обычно входит в загрузочное устройство.

*Загрузочное устройство для автоцементовозов* (рис. 2.50). На люк автоцементовоза при погрузке опускается загрузочное устройство 1. При этом крышка 2 полностью перекрывает люк, а резиновое кольцо 3 создает герметичность соединения. Крышка 2 подвешена к патрубку 4 с помощью резино-тканевого рукава 5 и крепится хомутами 6. В результате такой гибкой подвески крышка имеет необходимые степени свободы для точной фиксации на люке, т. е. может поворачиваться вокруг горизонтальной оси. По рукаву 5 во время загрузки подается пылевидный материал. Снаружи к крышке 2 и патрубку 4 крепится тканевый рукав 7, образуя кольцевую полость для отсоса запыленного воздуха во время загрузки. Воздух отсасывается через трубу 8, которая соединяется гибким шлангом с очистной установкой, например рукавным фильтром и др. Для предохранения рукава 7 от сплющивания в него вшиты металлические кольца. В крышку вмонтирован датчик электронного сигнализатора предельного уровня 9.

Такое загрузочное устройство можно использовать также при погрузке пылевидных материалов в транспортные емкости без принудительной аспирации, например, при ремонте аспирационной установки и т. п. При этом необходимо заглушить отверстие в трубе 8, а рукав 7 изготовить из фильтровальной ткани. Однако при этом пыление ликвидируется не полностью.

*Загрузочное устройство для вагонов-цементовозов* (рис. 2.51) решает те же общие задачи, что и загрузочное устройство для автоцементовозов.

Оно состоит из крышки 1, которая крепится на пылепроводе 2, и служит для уменьшения подсосов наружного воздуха. Пылепровод, подающий материал в загружаемую емкость, соединяется специальным шарниром с неподвижной частью пылепровода, идущего от силоса. На крышке 1 укреплен патрубок 3, через который отсасывается запыленный воздух из загружаемой емкости. Патрубок 3 соединяется гибким шлангом и металлическими трубопроводами с вентилятором. Датчик предельного уровня 4 при заполнении емкости дает сигнал на исполнительные механизмы для выключения установки.

*Сигнализаторы предельного уровня.* При автоматизации погрузки пылевидного материала в транспортные емкости сигнализа-

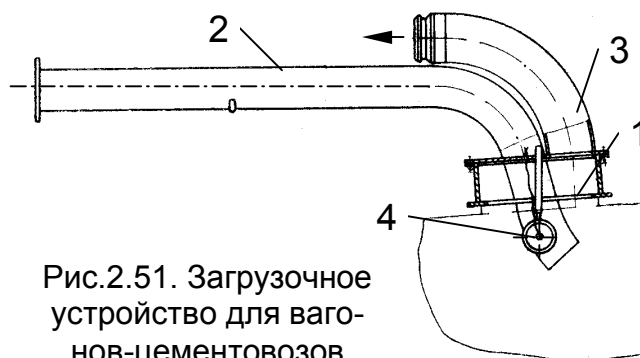


Рис.2.51. Загрузочное устройство для вагонов-цементовозов

тор предельного уровня является одним из наиболее важных и ответственных узлов.

В качестве таких сигнализаторов известны устройства, в которых применены лопатки, отклоняемые материалом в сторону и замыкающие контакты электрической цепи; вращающиеся крыльчатки, останавливающиеся при заполнении их материалом; электронные сигнализаторы уровня типа ЭСУ-1 и ЭСУ-3, работающие по принципу изменения электрической емкости системы «электродатчик – измеряемая среда»; мембранные сигнализаторы, посылающие импульс при изменении давления на мембрану, и др.

В настоящее время для загрузки транспортных емкостей применяются электронные и мембранные сигнализаторы предельного уровня как наиболее надежные в работе.

Приборы ЭСУ-1 и ЭСУ-3 состоят из электронного блока и емкостного датчика, которые соединены между собой коаксиальным кабелем. На шасси электронного блока имеется выводная клеммная колодка с контактами, к которым подводятся провода от питающей сети, а также выход от контактов реле на сигнальное или исполнительное устройство и подключение кабеля датчика типа ДЕ. Емкостный датчик соединяется с электронным блоком коаксиальным кабелем РК-50 (ТУ КП100-206-60).

К недостаткам приборов этого типа следует отнести необходимость периодической настройки, так как температура и относительная влажность воздуха в условиях эксплуатации имеют значительные колебания. Непременным условием работы приборов ЭСУ-1 и ЭСУ-3 является отсутствие вибрации, толчков и ударов.

Промышленностью выпускается также малогабаритный электронный сигнализатор уровня МЭСУ-1М. Прибор состоит из силового и электронного блока, который размещен непосредственно на датчике. Этот прибор для установки на загрузочных устройствах пылевидных материалов не пригоден, так как электронный блок с датчиком крепится на подвижном погружном устройстве, примыкающем на время загрузки к транспортной емкости, а, следовательно, электронный блок наиболее подвержен вибрациям, толчкам и воздействию переменной температуры, что приводит к различным расстройствам и неполадкам в его работе.

Наиболее простыми по устройству и наименее чувствительными к вибрации, тряскам и изменению температуры и относительной

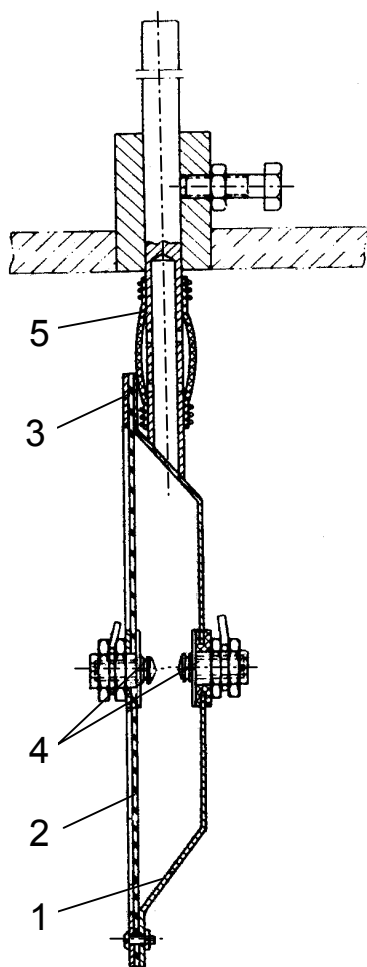


Рис.2.52. Мембранный сигнализатор предельного уровня

влажности окружающей среды являются мембранные сигнализаторы предельного уровня. Такой сигнализатор (рис.2.52) имеет корпус 1 тарельчатой формы, к которому крепится мембрана 2 при помощи шайбы 3 и стяжных болтов. Мембрана может быть изготовлена, в зависимости от условий работы, из тонкой резины, обычной или теплостойкой. На корпусе и мембране закреплены контакты 4 электропроводов. Расстояние между контактами регулируется, что определяет требуемую чувствительность сигнализатора. На начальном конце стержня имеется фильтровальная ткань 5. Полость между мембраной и корпусом сообщается с окружающей средой через просверленные в стержне отверстия и фильтровальную ткань. Это уравнивает перепад давления, который может возникнуть в процессе эксплуатации датчика, если изменяется давление окружающей среды.

В то время, когда пылевидный материал заполнит емкость и достигнет примерно середины мембраны, последняя прогибается и контакты электроцепи замыкаются. В электроцепь через реле может быть включен звуковой или световой сигнал, а также может быть подана команда на закрытие затвора устройства, заполняющего транспортную емкость.

*Аэрационные сопла* применяются для ввода сжатого воздуха в различные устройства, транспортирующие пылевидные грузы. Они должны пропускать воздух непосредственно в пылевидный груз и в то же время препятствовать попаданию частиц груза в трубопроводы сжатого воздуха. Последнее может вызвать быстрый износ трубопроводов и выход из строя различных приборов управления сжатым воздухом.

Аэрационные сопла бывают с фильтрующим элементом и клапанного типа. Преимуществом первых является простота устройства, но их применение связано с некоторой потерей давления сжатого воздуха. Аэрационные сопла клапанного типа беспрепятственно пропускают поступающий к ним сжатый воздух, давление которого не ниже определенного предела, на который настроено сопло, но их устройство относительно сложнее сопла с фильтрующим элементом.

На рис. 2.53, а показано аэрационное сопло с фильтрующим элементом в виде аэрационной плиты. Сопла с аэрационной плитой хорошо работают, если поступающий к ним сжатый воздух не имеет примесей воды и масла. В противном случае поры аэрационной плиты быстро загрязняются, и проход через нее сжатого воздуха прекращается. На некоторых цементных заводах вместо аэрационной плиты устанавливают бельтинг-ткань в два слоя (рис. 2.53, б) или мелкую металлическую сетку.

Аэрационное сопло клапанного типа показано на рис. 2.53, в. Сопло состоит из двух половин: левой – корпуса сопла 1 и правой – крышки 2. Между ними находится резиновая диафрагма 3 с закрепленным на ней штоком 4.

В корпусе сопла имеются резьбовое отверстие для присоединения к системе сжатого воздуха и штуцер 5 для ввода сопла в систему, транспортирующую пылевидный груз. Крышка сопла 2 имеет направляющую втулку для штока, который гайкой 6 и фланцем закрепляется на диафрагме. Внутри штока сопла размещается пружина сжатия 7, усилие которой изменяется регулировочным винтом 8, ввернутым в крышку. Регулировочный винт стопорится гайкой 9. К тому торцу штока сопла, которым он в нерабочем положении упирается в штуцер, приклеено резиновое уплотнение 10. Для смазки штока сопла во втулке 11 предусмотрена масленка 12. Корпус, диафрагма и крышка сопла стягиваются болтами 13 и фиксируются штифтом.

Работает сопло клапанного типа следующим образом. Сжатый воздух, попадая в левую половину сопла, отжимает шток в крайнее правое положение, вследствие чего открывается отверстие штуцера и сжатый воздух получает возможность попадать в систему, транспорти-

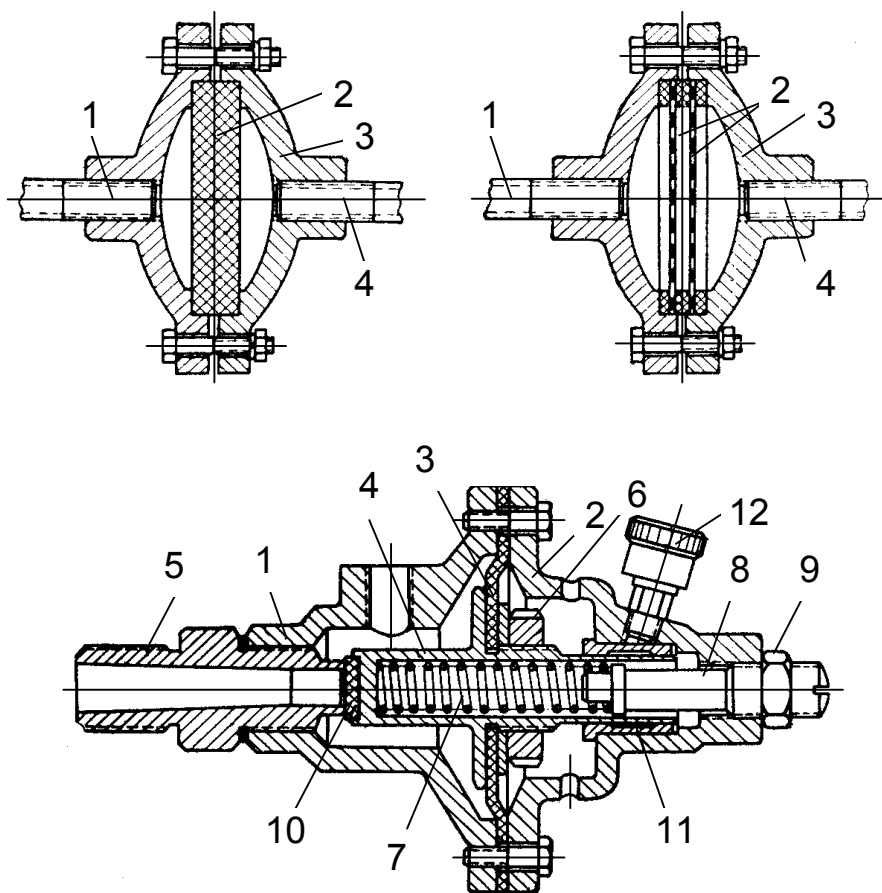


Рис.2.53. Аэрационные сопла:

- а- с фильтрующим элементом аэрационной плитой; 1- входящий патрубок; 2- аэрационная плита; 3- корпус; 4- выходящий патрубок;
- б- с фильтрующим элементом бельтинг-тканью; 1- входящий патрубок; 2- бельтинг-ткань; 3- корпус; 4- выходящий патрубок;
- в- клапанного типа; 1- корпус сопла; 2- крышка; 3- резиновая диафрагма; 4- шток; 5- штуцер; 6- гайка; 7- пружина; 8- регулировочный винт; 9- стопорная гайка; 10- резиновое уплотнение; 11- втулка; 12- масленка



рующую пылевидный груз. Как только подача сжатого воздуха прекращается и, следовательно, падает давление, пружина возвращает шток сопла в крайнее левое положение и надежно закрывает отверстие штуцера через резиновое уплотнение, препятствуя, таким образом, попаданию пылевидного груза в систему трубопровода сжатого воздуха.

*Пылепроводы.* В установках загрузки и выгрузки пылевидных грузов пневмотранспортным способом большое значение имеют пылепроводы, т.е. трубопроводы или аэрожелоба.

Трубопровод должен иметь наименьшее количество закруглений, отводов и тому подобных элементов, создающих местные сопротивления, увеличивающие удельный расход воздуха и снижающие производительность установки. К одному трубопроводу обычно присоединяется несколько точек загрузки материала, но, как правило, проектирование и эксплуатация ведутся таким образом, что в каждый момент времени работает только одна-две точки выгрузки. Поэтому обычно транспортный трубопровод имеет постоянный по всей длине диаметр.

Преимущественное применение в системах пневмотранспорта имеют стальные трубы с нормальной толщиной стенок 4...5 мм, или для транспортирования абразивных материалов — бесшовные горячекатаные стальные трубы с толщиной стенок 8...10 мм. Трубы соединяются сваркой, однако через каждые 10...40 м, а также у каждого колена следует ставить фланцевые соединения для облегчения разборки трубопровода и поворачивания его вокруг продольной оси для более равномерного истирания труб по периметру. К трубопроводу должен быть обеспечен легкий доступ для обслуживания. Прокладочный материал для фланцевых соединений (резину, проолифленный картон, асбест, паронит) выбирают в зависимости от температуры транспортируемой смеси. Необходимо тщательно следить за тем, чтобы прокладки на стыках труб закладывались заподлицо с внутренними стенками труб. Соединяемые трубы должны быть обязательно соосны, так как нарушения соосности приводят к местному истиранию трубопровода вблизи неправильно сделанного соединения, что проявляется особенно быстро при транспортировании абразивных пылевидных материалов.

Для изготовления отводов трубу изгибают по дуге окружности с радиусом не менее  $(5...7)d$  ( $d$  - диаметр трубы). Ответвления от магистрали должны выполняться в нагнетательных и всасывающих системах с углом присоединения к магистрали в  $15...35^\circ$ . В местах удара частиц, меняющих направление движения, стенки тройников или трубопроводов усиливают путем их утолщения или приварки стальных накладок.

Для соединения подвижных загрузочных и выгрузочных устройств с неподвижным трубопроводом применяют гибкие рукава раз-

личных конструкций. Для работы под давлением наиболее часто применяются напорные резино-тканевые рукава, а для работы под вакуумом — всасывающие рукава с металлической спиралью между двумя резиновыми слоями.

Все транспортные трубопроводы по окончании работы должны продуваться чистым воздухом для того, чтобы устранить возможность образования «завалов» материала или пробок.

При выгрузке материала из силосов хранения в транспортные емкости материал обычно перемещают на короткие расстояния, и в этом случае производительность установки и диаметр транспортного трубопровода фактически определяются производительностью и диаметром выходного отверстия разгрузочного аппарата.

Пневматические транспортные желоба предназначены для транспортирования в различных отраслях промышленности легко насыщаемых воздухом сухих пылевидных материалов, таких как цемент, угольная пыль и т. п., и применяются в устройствах для загрузки транспортных емкостей в том случае, когда пылевидный материал не надо поднимать и желоба можно располагать с небольшим уклоном.

Основное достоинство желобов заключается в том, что материал в них перемещается с минимальной затратой энергии. К недостаткам следует отнести то, что желоба часто засоряются, если пылевидный материал имеет включения в виде комков, которые оседают на пористой перегородке желоба.

Конструктивно желоб представляет собой прямоугольный короб-трубопровод, разделенный по высоте пористой воздухопроницаемой перегородкой на два канала: нижний служит воздухопроводом, а в верхний, являющийся лотком, поступает через приемную воронку транспортируемый материал. Воздух, пройдя через пористую перегородку, поступает в верхний канал и разрыхляет материал, который приобретает текучесть и перемещается по наклонному лотку аэрожелоба. Питание воздухом осуществляется от центробежных вентиляторов обычного типа. В качестве пористой перегородки применяются керамические плиты или чаще матерчатая ткань, т. е. двухслойный брезент или бельтинг-ткань.

Пневможелоба могут транспортировать груз на любое расстояние, позволяющее сохранить указанный угол наклона; обычно их изготавливают в виде скрепляемых между собой секций длиной не более 4...5 м. Производительность определяется размерами желоба и уклоном, под которым он установлен.

#### 2.4.3. Затворы для отпускных емкостей

Для перекрытия выпускных отверстий и регулирования потока груза из бункера при хорошосыпучих грузах применяют затворы различных типов. При переработке грузов, способных образовывать сво-

ды, более целесообразно использовать различные питатели, которые обеспечивают принудительную выдачу из бункера потока груза заданной производительности.

**Затворы** служат для перекрытия потока транспортируемого груза. В промышленности используются затворы различных конструкций с ручным и дистанционным управлением. Затворы пробковые, шиберные, дроссельные с ручным приводом служат для перекрытия пылепроводов на длительное время, например при ремонтных работах. Их применяют только в тех случаях, когда пылепровод перекрывают редко. В остальных случаях используют затворы с пневмоприводом и автоматическим или дистанционным управлением.

Наиболее подходящим приводом для затворов, работающих в установках погрузки, является пневматический. Он отличается небольшим весом и габаритами, конструктивно прост и надежен в эксплуатации. Применение пневматического привода облегчается также наличием у силосов сжатого воздуха.

Клапанные прижимные и откидные затворы, а также плоские (шиберные) затворы (горизонтальные и вертикальные) устанавливают в небольших бункерах с малыми размерами выпускных отверстий (рис. 2.54, а, б, в, г). Секторные затворы (прямые и обратные, рис. 2.54, д), а также двухсекторные, так называемые челюстные (рис. 2.54, е), допускают перекрытие потока под нагрузкой и его регулирование.

При выдаче из емкостей крупнокусковых тяжелых грузов применяют пальцевые, цепные, гусеничные, ленточные и пластинчатые затворы, круглые и комбинированные, вибрлотковые затворы (рис. 2.54, ж). Перемещают подвижные элементы затворов вручную или специальными приводами.

*Шиберный затвор*, как правило, применяется в тех случаях, когда им приходится редко пользоваться и перекрываемое отверстие имеет большие размеры и часто прямоугольную форму, т. е. для перекрытия бункеров, разгрузочных горловин силосов в вагонах-цементовозах, на пылепроводах и т. д. На силосах, например, затвор устанавливается перед выгрузителем и перекрывается только при ремонтных работах. Затвор прост конструктивно, состоит из следующих основных деталей: корпуса с направляющими, шибера и его ручного привода.

Шиберный затвор обладает следующими недостатками: часто заклинивается, имеет большое сопротивление движению шибера.

*Пробковый затвор* предназначается для перекрытия пылепроводов. Применяется, например, при разгрузке силосов в транспортные емкости и обычно устанавливается после пневматических разгрузочных устройств; в автоцементовозах устанавливается также на разгрузочном пылепроводе. Состоит он из следующих основных деталей: корпуса, конусной пробки, уплотнительного сальника, крышки, регулировочного

болта.

Пробковые затворы бывают с цилиндрической и конусной пробкой. При конусной посадке пробку и корпус по мере износа можно притереть и вновь использовать, что облегчает их ремонт. При заклинивании пробки, когда не помогают другие средства, ее можно приподнять, а образующийся зазор между пробкой и корпусом помогает быстрее ликвидировать заклинивание. Коническую пробку легче вращать, чем цилиндрическую (при одном и том же проходном сечении), так как диаметр посадки у нее значительно меньше. При цилиндрических пробках увеличивается момент сопротивления, следовательно, пробку труднее проворачивать, ремонт и эксплуатация ее сложнее, чем конической.

Пробковые затворы имеют чрезвычайно простую конструкцию, малые габариты, создают минимальные местные сопротивления прохождению транспортируемого материала, могут устанавливаться на прямых участках пылепроводов в любом месте. Однако они почти не поддаются механизации в связи с различным моментом сопротивления в

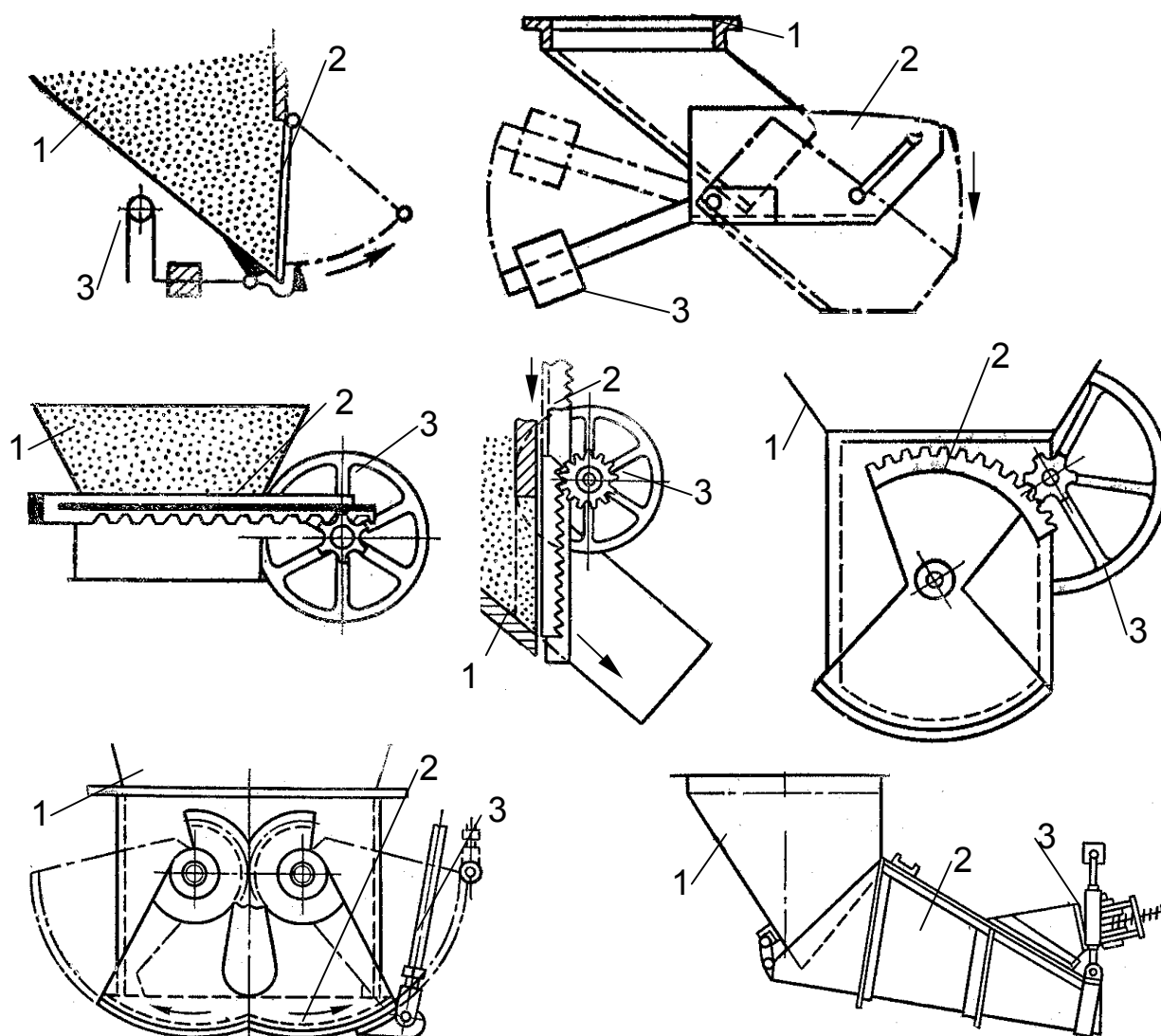


Рис. 2.54. Схемы затворов для емкостей:

1- нижняя часть емкости; 2- заслонка; 3- элемент привода

разные периоды эксплуатации и частым заклиниванием. Их рационально применять при небольшом количестве включений в материале и ручном управлении.

*Дроссельный кран* служит для перекрытия пылепроводов. Конструкция дроссельного крана крайне проста. Его основными элементами являются корпус, поворотная заслонка, ось заслонки и ручка с фиксатором. Для обеспечения надежного уплотнения корпус крана с поворотной заслонкой гуммируется (покрывается резиной). Такая конструкция, как показывает опыт, проста в эксплуатации, но хорошо работает лишь на чистом пылевидном материале. Материал при движении через дроссельный кран быстро изнашивает поворотную заслонку, а попадание твердых частиц нарушает плотное закрывание заслонки и материал частично продолжает поступать по пылепроводу. Несмотря на простоту конструкции и компактность, дроссельный кран применяется редко.

*Шлюзовые затворы*, служащие затвором и питателем одновременно, применяются для передачи материала из одного пространства (устройства) в другое при наличии среднего перепада давлений (до  $0,6 \text{ кг/см}^2$ ). Они используются в качестве герметизирующего устройства, через которое выпускается или загружается перемещаемый пневмоустановками груз.

Шлюзовой затвор состоит из следующих основных узлов (рис.2.55): корпуса 1 и ячейкового барабана 2. По конструкции затвор прост и компактен, занимает мало места; привод его осуществляется от электродвигателя через редуктор. Иногда шлюзовые затворы выполняются с гидравлическим приводом. Преимуществом их является то, что в случае попадания между ребром барабана и корпусом крупных твердых кусков материала гидропровод начинает вращать ротор в обратном направлении и этим предохраняет лопажки ротора от поломок.

При работе затвора груз за счет силы тяжести поступает из бункера через верхнее загрузочное отверстие корпуса и последовательно заполняет вращающиеся ячейки барабана и при вращении барабана перемещается к выгрузочному отверстию. Для лучшей выгрузки груза из бункера иногда в затвор перед загрузочным отверстием устанавливают механические рыхлители.

Отличительными особенностями конструкции затворов при различных условиях эксплуатации являются следующие.

1. При работе затворов на пылевидных материалах, имеющих много посторонних твердых включений в виде крупки и частиц

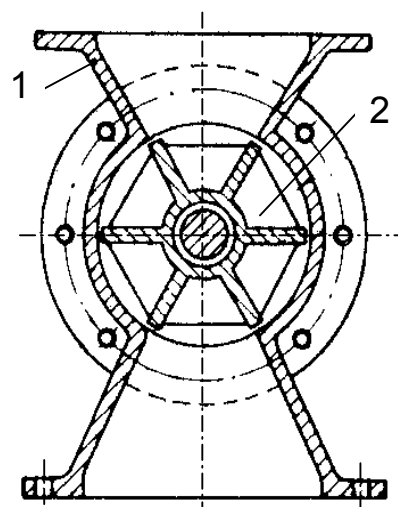


Рис.2.55. Шлюзовой затвор

металла, наблюдается заклинивание барабана в корпусе питателя, обусловленное попаданием частиц материала в зазор между барабаном и корпусом затвора. Для предотвращения этого иногда устанавливают специальную щетку на стенке приемного отверстия затвора: при вращении барабана щетка сбрасывает частицы с его торца в ячейку.

2. Для предотвращения пропуска воздуха между наружной поверхностью ячейкового барабана и корпусом затвора эти узлы выполняются конструктивно различно:

- для компенсации износа ячейкового барабана и корпуса затвора по цилиндрической поверхности трения используют ячейковые барабаны, имеющие лопасти, набранные из листов пружинной стали. По мере износа листов за счет сил упругости они прижимаются к корпусу барабана и таким образом компенсируют износ. Кроме того, эти листы крепятся к барабану так, что могут смещаться в радиальном направлении и компенсировать образовавшийся зазор. Эта конструкция позволяет также избежать заклинивания барабана в результате попадания посторонних твердых предметов, так как пружинная лопасть может отогнуться, пропустив предмет в ячейку. Для компенсации износа при трении барабана и корпуса затвора применяют корпуса затворов с подвижными вкладышами, охватывающими барабан. По мере износа за счет трения между барабаном и вкладышами последние перемещаются при помощи пружин, резиновых прокладок и других средств, все время плотно прилегая к наружной поверхности ячейкового барабана. Обычно применяют четыре вкладыша: два с обоих торцов барабана и два по цилиндру трения. Такая конструкция обеспечивает большой межремонтный срок эксплуатации, но является довольно сложной;
- с целью увеличения межремонтного срока работы ячейкового барабана и корпуса затвора можно поверхности трения корпуса затвора футеровать броневыми плитами из износостойчивого материала, а наружную поверхность ячейкового барабана наплавлять твердыми сплавами, затем протачивать на необходимый размер.

3. Для работы с абразивными материалами подшипники вала ячейкового барабана делаются выносными и крепятся на кронштейнах корпуса; вал барабана на выходе из корпуса затвора имеет поджимные сальниковые уплотнения. Такая конструкция предотвращает попадание материала в подшипники и их заклинивание, а также облегчает эксплуатацию (поджим) сальникового уплотнения.

4. При использовании затвора-питателя в нагнетательных установках для нормального поступления материала из затвора-питателя в трубопровод применяются сопла, вставленные в торцовую стенку разгрузочной части корпуса питателя. Находящийся в ячейке материал смешивается с воздухом, образуя необходимую для транспортирования смесь, которая поступает в пневмопровод через отверстие в

противоположной торцевой стенке затвора-питателя.

Особенно широкое применение шлюзовый затвор нашел за рубежом при загрузке транспортных емкостей из бункеров и силосов хранения пылевидного материала. Это в первую очередь объясняется тем, что выгрузочные отверстия силосов и бункеров расположены достаточно высоко, создавая возможность применения вертикальной разгрузки, обеспечивающей максимальную концентрацию смеси пылевидного материала с воздухом.

*Затворы с пережимным гибким элементом* применяются в качестве запорного элемента на трубопроводах для пылевидных грузов. Их преимущества перед затворами с жестким запорным элементом следующие: незначительное сопротивление прохождению материала, полная герметичность дроссельной части затворов, герметичность перекрытия прохода, обусловленная большой эластичностью запорного пережимного патрубка, быстрая и удобная замена запорного патрубка. Конструкция затвора с пневмоприводом отличается простотой и малым количеством деталей (рис.2.56). Разъемный корпус состоит из двух половин 1 и 2, которые собираются на болтах 3 и штуцера 4 для подвода сжатого воздуха. В корпусе помещается резиновая фланцевая трубка 5 с отбортованными концами, которые зажимаются фланцами трубопровода с обеих сторон, создавая необходимую герметичность соединения. При подаче сжатого воздуха резиновая трубка сжимается, запирая проход.

*Затвор шланговый-фланцевый-чугунный с ручным приводом* служит для длительного перекрытия трубопровода при ремонтах (рис.2.57).

При вращении маховика резиновый патрубок пережимается перемещающимися траверсами, перекрывая проход. При вращении маховика в обратную сторону траверсы расходятся, и резиновый патрубок разжимается, открывая проход в клапане. Клапан может устанавливаться на трубопроводе в любом рабочем положении.

*Клапан шланговый-фланцевый-чугунный с электроприводом* (рис.2.58). Проход клапана перекрывается за счет пережима резинового патрубка траверсами,двигающимися навстречу друг другу. Клапан можно устанавливать на трубопроводе в любом рабочем положении. Особенно рационально применение клапана в системах дистанционного и автоматического управления при следующих условиях: отсутствии сжа-

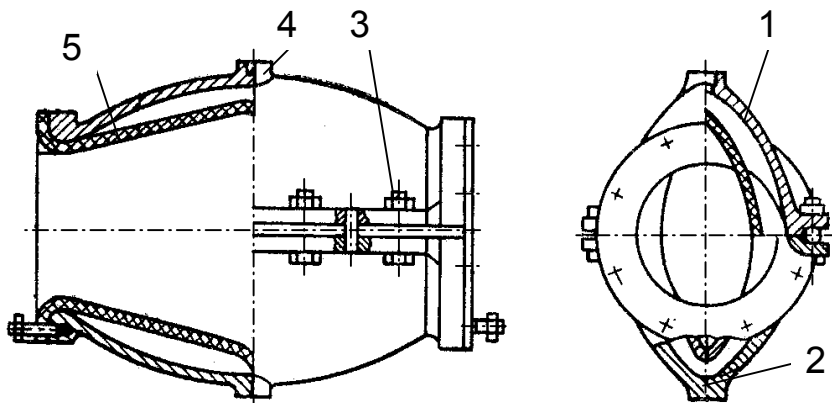


Рис.2.56. Затвор шланговый-фланцевый-чугунный

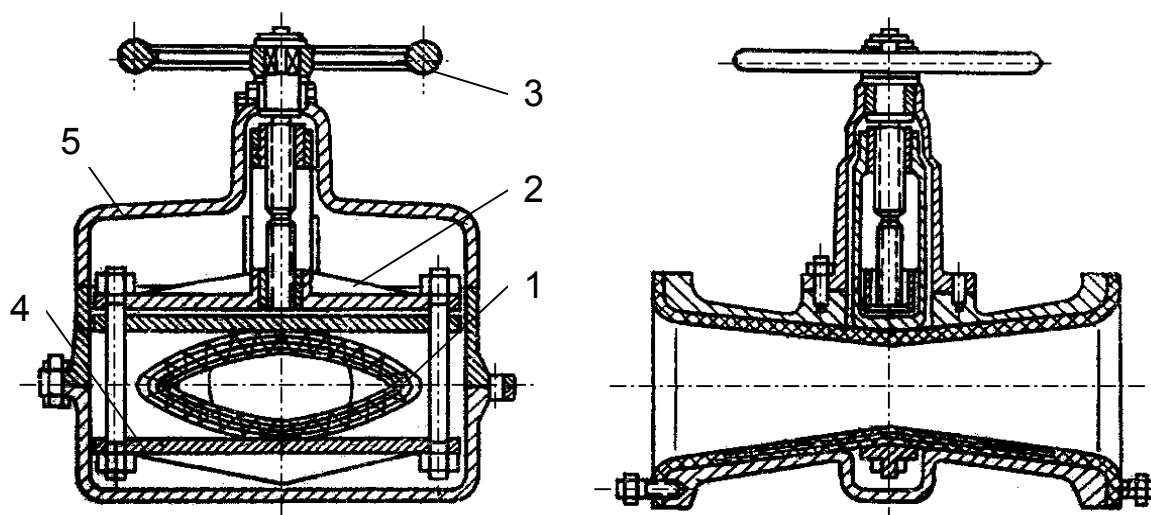


Рис.2.57. Затвор шланговый-фланцевый-чугунный (с ручным приводом):  
1- резиновый патрубок; 2- верхняя траверса; 3- маховик;  
4- нижняя траверса; 5- корпус

того воздуха или гидрооборудования, необходимого для привода клапана; большом количестве клапанов и значительном расстоянии между ними (отпадает необходимость в сложной разводке трубопроводов); необходимости надежного перекрытия трубопровода на длительное время.

*Клапан запорный-фланцевый-чугунный с гидроневмопережимом* (рис.2.59) состоит из двух патрубков с резиновым чехлом внутри, соединенных между собой шпильками. Между патрубками зажат резиновый вкладыш, между вкладышем и фланцем патрубка проложена прокладка из фторопласта. Клапан имеет указатель положения. Проход клапана перекрывается за счет пережима резинового вкладыша при подаче через штуцер воды или воздуха. Клапан можно устанавливать на трубопроводе в любом рабочем положении.

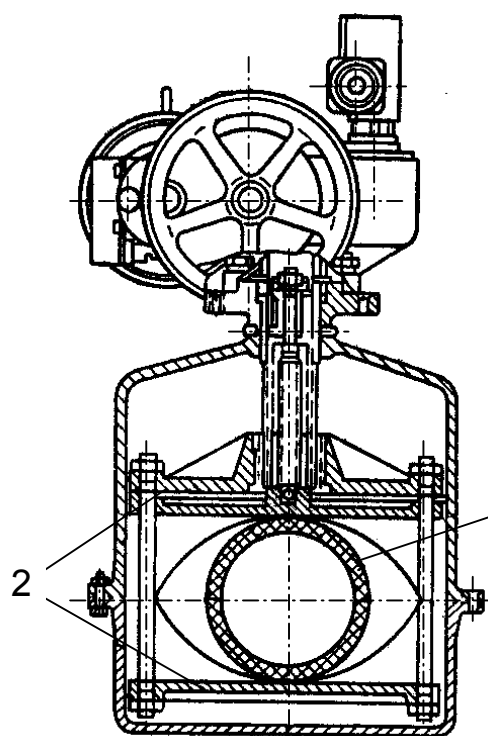


Рис.2.58. Клапан шланговый фланцевый чугунный с электроприводом: 1- резиновый патрубок; 2- траверса;

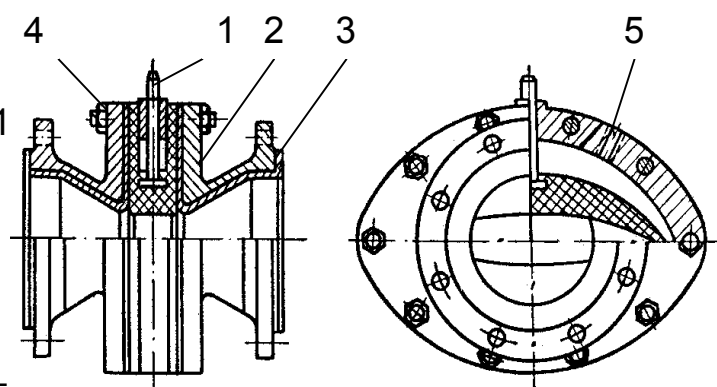


Рис.2.59. Клапан запорный фланцевый чугунный с гидроневмопережимом:  
1- указатель; 2- вкладыш;  
3- патрубок; 4- шпильки; 5- штуцер



*Затворы клапанного типа* очень широко распространены в системах транспортирования пылевидных материалов. Выпускаемые промышленностью пневмовыгрузатели из бункеров и силосов снабжены затворами клапанного типа с приводом от пневматического цилиндра. Однако, как уже отмечалось ранее, при работе в зимних условиях пневматические цилиндры часто замерзают, поэтому в Оргпроектцентре разработана конструкция затвора с приводом от пневмомембранных камер (рис.2.60).

Пневмомембранные камеры хода закрытия и открытия клапана располагаются на плите 1, которая, в свою очередь, крепится к корпусу клапана 2. Основными частями камеры являются штампованные корпус 3 и крышка 4, между которыми зажата резиновая мембрана 5 с тканевыми прокладками.

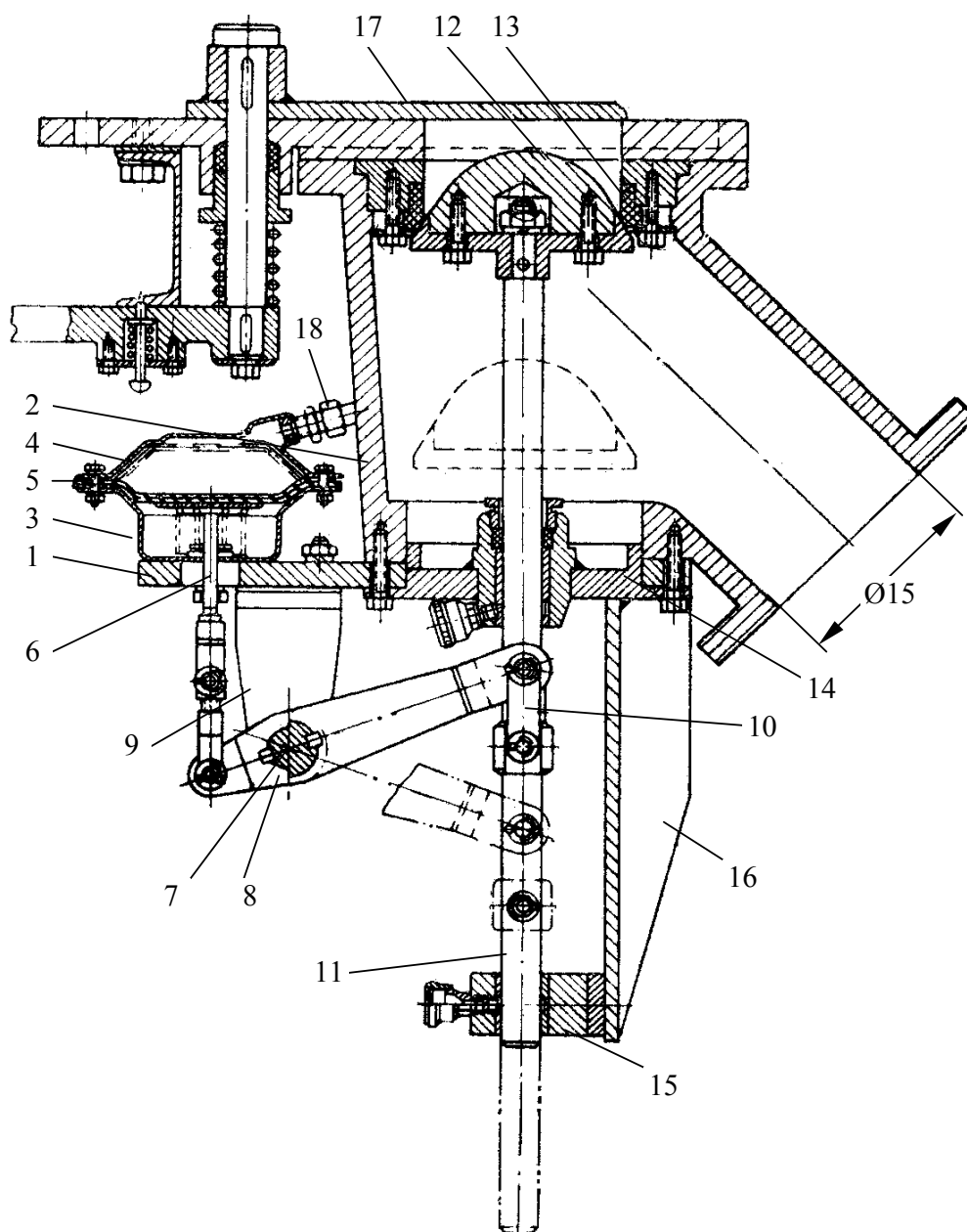


Рис.2.60. Затвор клапанного типа с пневмомембранным приводом

Внутренней поверхностью мембрана опирается на тарелку, закрепленную на штоке 6. Шток входит в отверстие корпуса с зазором, что допускает его боковые отклонения при присоединении к качающему рычагу исполнительного механизма. Последний состоит из вала 7 с рычагом 8. Вал с рычагами вращается во втулках кронштейнов 9, которые крепятся к плите.

Большое плечо рычага посредством тяг 10 соединяется со штоком 11, на котором крепится головка клапана 12. Конусная часть головки клапана поджимается к резиновому седлу 13 клапана. Шток 11 перемещается в двух подшипниках скольжения; один из них приварен к крышке корпуса клапана 14, другой 15 крепится на кронштейне 16. Затвор снабжен также ручной задвижкой 17, которая может быть использована при ремонте клапана или отсутствии сжатого воздуха. В тех случаях, когда надобности в ручной задвижке нет, затвор выполняется без нее и без плиты, на которой она крепится.

При поступлении в камеру сжатого воздуха через штуцер 18, приваренный к крышке, мембрана прогибается и давит на шток, перемещающий головку клапана в положение «открыто» или «закрыто» через исполнительный механизм. Подача сжатого воздуха регулируется автоматически с помощью золотника с электромагнитным приводом.

Воздействие мембраны на исполнительный механизм зависит от давления сжатого воздуха в системе и положения штока камеры. По мере увеличения хода штока усилия, передаваемые резиновой мембраной, уменьшаются.

Клапан выполняется с одной или несколькими пневмомембранными камерами для хода закрытия в зависимости от давления сжатого воздуха, подводимого к пневмомембранным камерам.

Целесообразность применения перечисленных выше затворов зависит от конкретных условий работы и физико-механических свойств грузов.

#### 2.4.4. Дозирующие устройства для отпускных бункеров

Дозировочные устройства для порционного отпуска сыпучих грузов из бункеров можно классифицировать в зависимости от принятой организации процесса измерения массы отпущенного материала и формирования заданной порции устройства дозированной загрузки вагонов (рис.2.61).

1. Дискретного действия. Устройства этого типа предусматривают наличие в составе оборудования бункерных весов или бункерных порционных дозаторов, в весовой емкости которых определяется масса выпускаемого материала и накапливается отпускаемая порция. При этом загрузка вагона обычно осуществляется несколькими порциями.

2. Непрерывного действия. Сюда входят устройства, непрерывно измеряющие массу материала, поступающего в вагон, и выдающие командный сигнал при формировании заданной дозы. Такие устройства создаются на базе расходомеров или платформенных весов.



Рис.2.61. Классификация способов дозированной загрузки железнодорожных вагонов

Расходомеры в зависимости от используемого физического эффекта разделяются на:

- ультразвуковые, определяющие расход по снижению интенсивности ультразвукового излучения и сдвигу его фазы;
- радиоизотопные, использующие для определения расхода рентгеновское излучение;
- весовые, использующие для определения расхода весы или дозаторы непрерывного действия и конвейерные весы;
- измерители давления, определяющие расход по величине давления потока материала на грузоприемный узел;
- объемные, использующие для определения массы объемную массу материала.

Первые два типа расходомеров способны осуществлять измерение достаточно больших расходов сыпучих материалов, однако точность этого измерения невелика, и относительная погрешность дозирования превосходит допустимую при загрузке.

Измерители давления обладают удовлетворительной точностью, но ограниченной пропускной способностью. Кроме того, такие расходомеры создают помехи истечению трудносыпучих материалов, провоцируя их зависание. Объемные расходомеры могут измерять большие расходы, имеют простую конструкцию, но недостаточную точность измерения. Такие расходомеры не могут обеспечить требуемые нормы загрузки вагонов.

Перечисленные особенности исключают возможность применения расходомеров, кроме весовых, при высокопроизводительной

загрузке железнодорожных вагонов, несмотря на их простоту и надежность.

*Загрузка с помощью бункерных весов и дозаторов периодического действия* осуществляется таким образом, что масса материалов измеряется непосредственно без интегрирования расхода, а порция формируется в емкости весов или дозатора.

Весы или дозатор состоят из установленной на силоизмерительном преобразователе емкости и загружающим и разгружающим питателями (в частном случае затворами), а также из устройства задания и отсечки дозы сыпучего груза.

Дозирование обычно осуществляется путем набора одной или нескольких порций.

Дозирование набором одной порции осуществляется следующим образом. Измеряется масса опорожненного бункера и рассчитывается масса бункера, при которой следует прекратить загрузку. При этом к массе опорожненного бункера прибавляют установку массы отпускаемого материала. В полученную величину обычно вводят поправку на инертность загружаемого питателя и на массу столба отпускаемого материала, который будет засыпан в емкость после отсечки дозы. Запускается загружаемый питатель, и масса материала в емкости начинает нарастать. По достижении массой материала заданной величины срабатывает отсечка дозы. В статике измеряется масса наполненного бункера и запускается разгружающее устройство и бункер опорожняется. Когда фактическая масса бункера становится близкой к ожидаемой величине и изменение этой массы уже не происходит, разгружающий питатель отключается (закрывается затвор). Происходит взвешивание опорожненного бункера в статике. Разность масс наполненного и опорожненного бункеров равняется фактической массе отпущенного материала.

При загрузке несколькими порциями, когда наибольший предел взвешивания весов значительно меньше грузоподъемности вагона, заданная масса отпущенного материала делится на величину максимальной для используемого бункера порции, и вычисляется количество порций за которые будет набрано отпускаемое количество материала. Порции набираются аналогично тому, как это делается при дозировании набором одной порции. Массы порций фактически отпущенных в вагон суммируются. По величине недогруза первых  $n - 1$  порций корректируется последняя порция, за счет чего суммарная ошибка дозирования определяется лишь ошибкой дозирования последней порции.

Ошибка измерения массы, определяемая в предположении о нормальном законе распределения ошибки измерения весоизмерительной системы:

$$\sum E = \sqrt{n(E_B^2 + E_T^2)}, \quad (2.8)$$

где  $\sum E$ ,  $E_B^2$ ,  $E_T^2$  - относительные погрешности суммарной массы отпущенного материала, измерения брутто и тары. С учетом того, что  $E_B = E_T = E_n$ ,

$$\sum E = E\sqrt{2n}. \quad (2.9)$$

Таким образом, с увеличением  $n$  относительная погрешность взвешивания массы отпускаемого материала растет. Поэтому для получения высокой точности измерений с помощью бункерных весов и дозаторов периодического действия применяют тестовые методы повышения точности измерений. Тестовый метод позволяет исключить влияние на результаты измерений погрешностей, связанных с нестабильностью параметров систем, и ряда других составляющих погрешностей измерения путей использования специальных тестов, функционально связанных с измеряемой величиной и обработкой результатов измерений.

На рис. 2.62 представлена автоматизированная система дозированной загрузки вагона сыпучими строительными материалами (песком, щебнем и др.), разработанная Куйбышевским филиалом Оргэнергогострой, которая использует тестовый метод повышения точности измерения.

В нее входят два отпускных бункера 1 объемом около 8 м<sup>3</sup>, установленные на весоизмерительные датчики 2, измерительный прибор 3, устройство для управления перемещением вагонов 4 с датчиком контроля 8. При помощи специализированного вычислительного устройства для обработки поступающей информации и выработки управляющего воздействия 5 и задатчика 6 набирается заданное значение массы материала, соответствующее грузоподъемности вагона. При воздействии исполнительного механизма 7 заслонка 9 принимает соответствующее положение в коллекторе 10, который загружается ленточным транспортом 11.

Загрузочный комплекс работает следующим образом. После установки вагона в исходное состояние и подачи сигнала на загрузку измерительное устройство осуществляет взвешивание пустого бункера, результат измерения запоминается в вычислительном устройстве. Материал поступает в бункер до тех пор, пока в нем не накопится заданная доза, после чего подается сигнал на переключение потока материала во второй бункер. По окончании дозирования бункер взвешивается в статике.

Для реализации тестового метода производится дополнительное измерение массы пустого бункера с грузом известной величины (эта-

лоном), который автоматически подвешивается к бункеру специальным исполнительным механизмом. Дополнительное измерение проводится до начала дозирования, а результат запоминается в вычислительном устройстве.

Результаты 3-х измерений обрабатываются вычислительным устройством по специальному алгоритму, в результате чего определяется значение отдозированной массы.

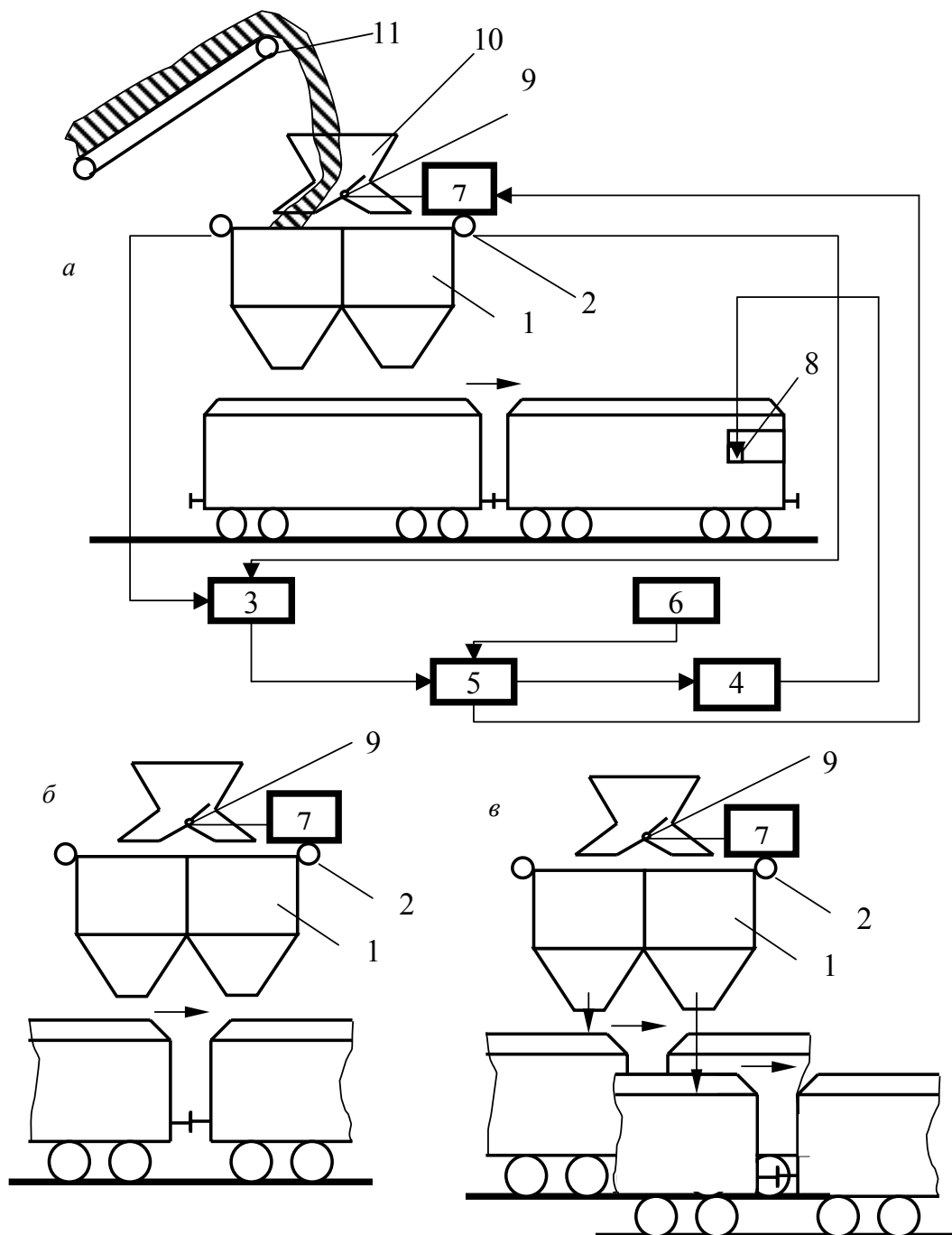


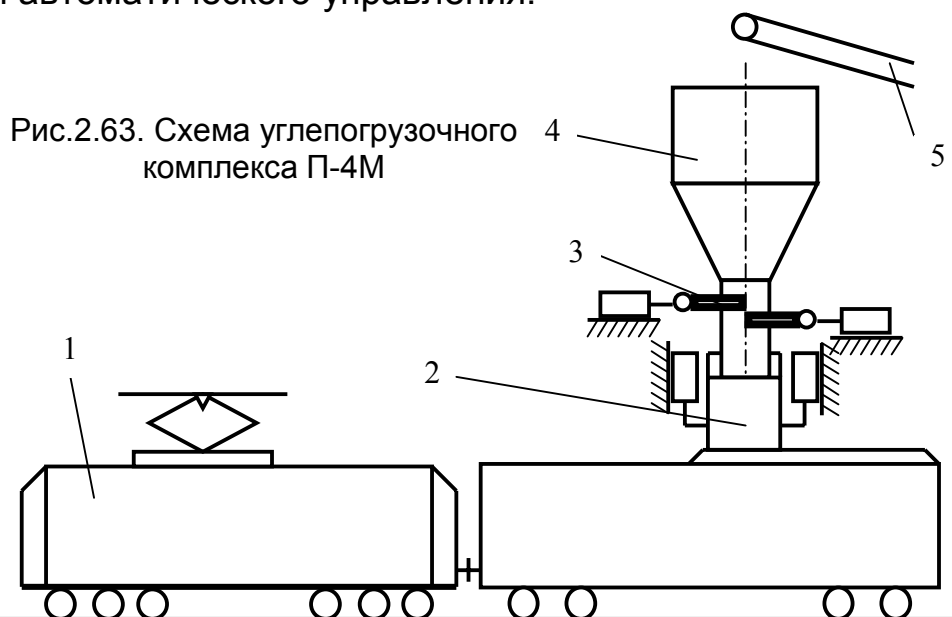
Рис.2.62. Функциональная схема устройства для дозированной загрузки строительных материалов в железнодорожные вагоны

При дозировании и взвешивании последующих доз дополнительное взвешивание не производится, а для решения алгоритма используется результат, находящийся в памяти вычислительного устройства. Разработанная система загрузки вагонов привязана к типовому погрузочному посту карьера. Ее внедрение позволяет обеспечить технические нормы загрузки вагонов, уменьшить их простои.

Такая система дозирования позволяет производить отгрузку как в один вагон (см. рис.2.62, а), так и в два, с одного пути (см. рис.2.62,б) и с параллельных путей (см. рис.2.62, в).

Комплекс для погрузки угля (КПУ), показанный на рис.2.63, введен на шахте «Распадская» производственного объединения «Южкузбассуголь». Погрузку дозируют по объему груза подпором при неподвижном погрузочном устройстве и непрерывном передвижении вагонов. Со склада уголь подают на наклонный конвейер 5, который перемещает его в промежуточный загрузочный бункер 4 для обеспечения прохода межвагонного промежутка. Группу вагонов передвигают маневровым электротягачом 1 типа Э-1 со стабильной линейной скоростью 0,05—0,3 м/с.

Выдвижной телескопической желоб 2 устанавливают на высоте, определяемой типоразмером подлежащего загрузке вагона и насыпной плотностью угля с учетом отсыпки «шапки» и, следовательно, дозирования угля в вагоне. Когда очередной вагон подается под желоб 2, для интенсивной подачи угля и заполнения начального объема открывается шиберный затвор 3 с большим проходным сечением. После этого создается подпор угля при непрерывном движении вагона. На заключительной стадии погрузки вагона затвор 3 закрывается, а оставшийся в желобе 2 уголь размещается в хвостовой части кузова. Комплекс обеспечивает погрузку угля в вагоны всех типоразмеров с производительностью до 4000 т/ч, работает на режимах дистанционного и автоматического управления.



Непрерывность работы достигается также регулированием скорости электротягача для согласования интенсивностей загрузки подвижного состава и подачи угля под погрузку. Однако из-за объемного способа дозирования комплекс обладает низкой точностью загрузки. Его применение целесообразно при подаче на погрузку 2...4 тыс. т. угля за 1 ч.

*Загрузка с помощью платформенных весов.* Этот способ загрузки предусматривает использование платформенных весов в сочетании с устройством задания и отсечки дозы. Платформенные весы должны оснащаться железнодорожной колеей и встраиваться непосредственно в железнодорожный путь. Отпуск груза при этом осуществляется следующим образом. Вагон фиксируется на платформенных весах. Измеряется его собственная масса (масса тары), после чего запускается загружаемое устройство, масса груза в вагоне начинает нарастать, соответственно нарастает и масса брутто. При наполнении до нужной массы брутто, вырабатывается сигнал отсечки дозы. В статике измеряется масса брутто и вычисляется масса порции отдозированного груза.

Таким образом, данный способ загрузки позволяет получить оценку количества отпущенного материала с коммерческой точностью. Однако, подобный отпуск груза не нашел применения на зерноперерабатывающих предприятиях. Это вызвано тем, что в местах погрузки зерна нет возможности для установки платформенных вагонных весов, так как на этом же месте происходит выгрузка зерна, которая предусматривает наличие приемных бункеров и транспортных конвейеров, располагаемых под вагоном. Обычно платформенные вагонные весы устанавливаются в некотором удалении от места погрузки, и на них происходит только взвешивание вагона для коммерческих расчетов.

*Загрузка с помощью весовых расходомеров.* Весовые расходомеры в зависимости от используемого весоизмерительного устройства и системы измерения можно разделить на три основные группы:

- расходомеры на основе конвейерных весов;
- расходомеры на основе весов непрерывного действия;
- расходомеры на основе дозаторов непрерывного действия.

Наиболее широкое распространение для устройств загрузки вагонов нашли расходомеры на основе конвейерных весов, так как в значительной части устройств загрузки конвейеры естественным образом используются для транспортировки загружаемого материала. Конвейерные весы используются для загрузки вагонов в угольной, металлургической, химической, строительной и других отраслях народного хозяйства.

Конвейерные весы имеют грузоприемное устройство с встроенным в него силоизмерительным преобразователем и преобразователем скорости ленты конвейера в электрический сигнал. Сигналы сило-



измерительного преобразователя и преобразователя скорости, будучи перемноженными, дают величину, пропорциональную фактическому расходу материала (из сигнала силоизмерительного преобразователя исключается величина сигнала, пропорциональная нагрузке от самой ленты транспортера). Интегрируя этот расход во времени с момента начала загрузки можно получить оценку фактического количества материала, отпущенного в вагон. По достижении этой величины установки массы отпускаемой порции конвейерные весы вырабатывают команду на остановку подающего транспортера. При этом в вагон загружается заданное количество груза (с погрешностью 1%), и с непостоянством количества материала, поданного в вагон после поступления команды на остановку питателя.

В настоящее время ОКБ СИМ «Точмаш» разработаны конвейерные весы 4504 ВКУ, которые используются в системах загрузки угля.

Весы конвейерные 4504 ВКУ являются средством измерения и предназначены для автоматического взвешивания материала, транспортируемого ленточными конвейерами, которые контролируют прохождение через весы заданной массы материала пропорционального линейной плотности материала на участке конвейерных весов. Для измерения массы транспортируемого материала применен тензодатчик.

Весы рассчитаны для работы в районах с умеренным климатом и для температуры не ниже  $-30^{\circ}$ .

Для измерения перемещения ленты применен импульсный датчик перемещения ленты (ДПИ). Через каждые 10 см перемещения ленты конвейера ДПИ выдает импульс.

В системе измерения весов применена цифровая обработка информации, что значительно упрощает ее реализацию.

На рис. 2.64 приведено устройство для дозированной загрузки угля в железнодорожные вагоны, построенное на базе конвейерных весов 4504 ВКУ. Устройство состоит из подающего конвейера 1, технологически связанного с бункером 2, узлов коммутации потока (затвора) 3 с приводом 4. На конвейере 1 установлен измеритель 5 интенсивности потока материала, включающий первичные преобразователи 6 (функции этих преобразователей выполняет измеритель погонной нагрузки, измеритель скорости движения ленты и угла наклона конвейера) и вторичный преобразователь 7 интенсивности потока материала в частотно-модулированный сигнал, выход которого соединен с блоком обработки информации 8. Блок обработки информации включает в себя интегратор 9, счетчик 10, узел задания дозы 11 и дешифратор закрытия затвора 12, выходной сигнал которого подается в блок управления 13 приводом затвора, и узел сброса показаний счетчика 14.

Устройство работает следующим образом. Задается вставка требуемой порции угля в вагоне с помощью узла задания дозы. Вклю-

чается подающий конвейер и открывается затвор 3 подачи материала.

При достижении числа импульсов к заданному значению на выходе дешифратора появляется сигнал, который подается в блок управления приводом затвора и в узел сброса счетчика. Затвор закрывается, а счетчик сбрасывается в нуль. Процесс загрузки дозы заканчивается. После подачи следующего вагона цикл загрузки повторяется. Несмотря на простоту конструкции и дешевизну встраиваемых конвейерных весов, они по сравнению с весами с собственным транспортером обладают меньшей точностью, что связано с большой длиной ленты транспортера, в который встраиваются весы.

Загрузка с помощью весов непрерывного действия с контролем дозы выполняется аналогично загрузке с помощью конвейерных весов, однако, наличие собственного короткобазного транспортера позволяет не только увеличить точность измерения, но и упростить конструкцию отпускного устройства и расширить его функциональные возможности. В настоящее время на предприятиях комбикормовой и зерноперерабатывающей промышленности используются весы непрерывного действия 4450 ВН производительностью до 160 т/ч, выпускаемые Одесским ПО Точмаш, погрешность измерения которых не превышает 0,5%. Они состоят из весового транспортера с приводом и измерительным электрооборудованием. Отдельные элементы весов, устанавливаемые на транспортере, позволяют расширить их температурный диапазон до  $-30^{\circ}\text{C}$  (рис. 2.65)

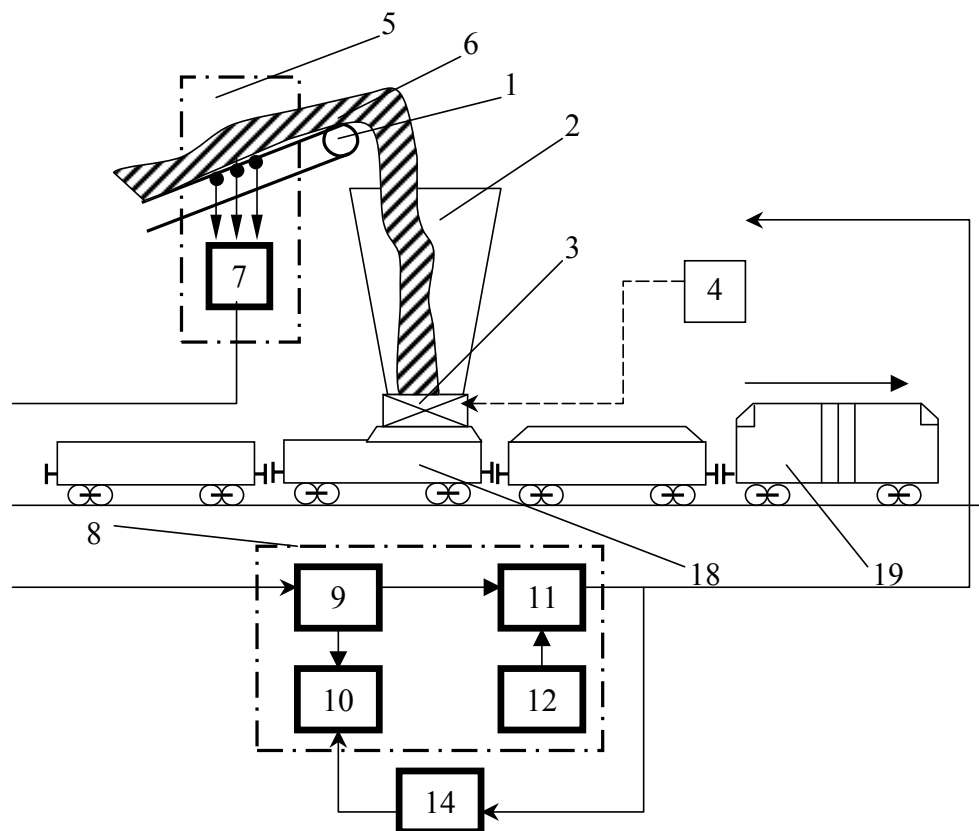
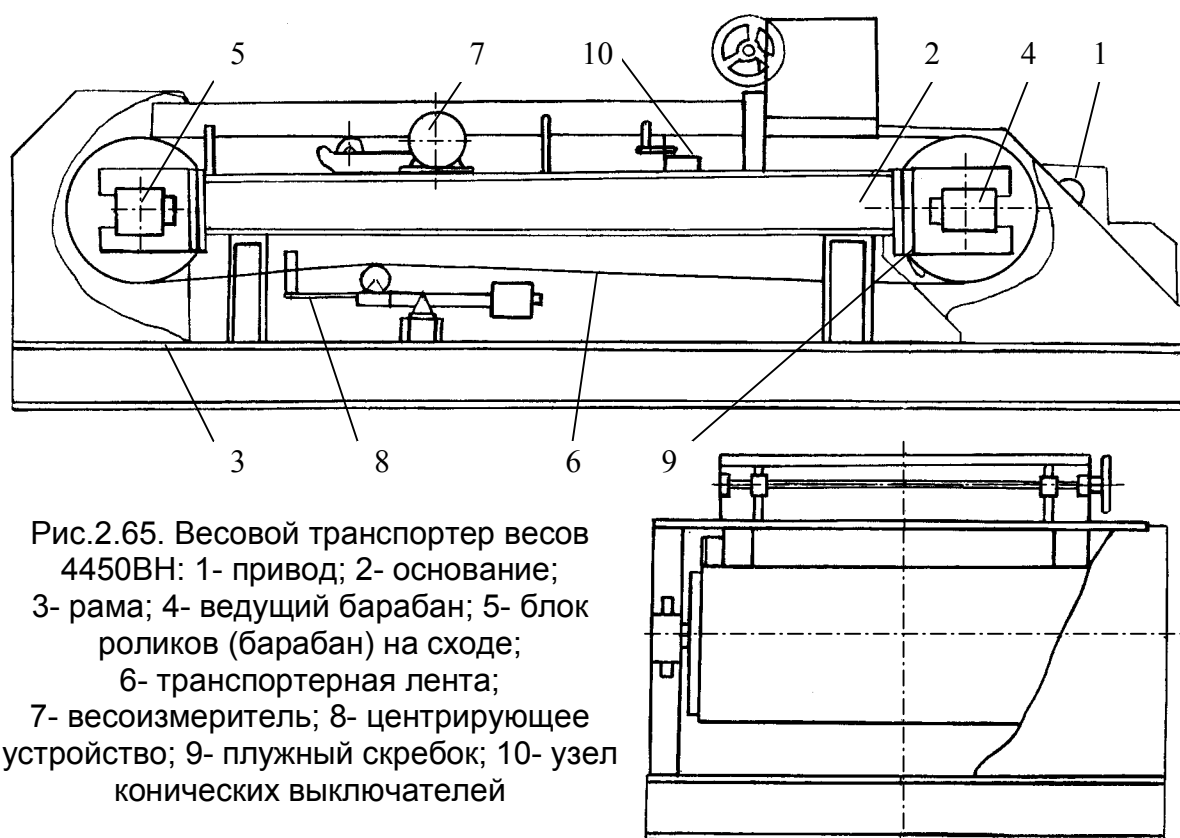


Рис. 2.64. Функциональная схема устройства для дозирования загрузки угля в железнодорожные вагоны

Вместо весов 4450 ВН в системах загрузки подвижного состава могут быть использованы дозаторы непрерывного действия типа 4488 ДН. Однако существующие дозаторы имеют максимальную производительность только до 63 т/ч и для обеспечения более высокой производительности загрузки вагонов необходимо иметь в системе не менее 3-х дозаторов, что значительно усложняет и удорожает отпускное устройство.

*Отпускные устройства для дозированной загрузки подвижного состава зерновыми грузами.* В настоящее время загрузка вагонов на элеваторах и зерноперерабатывающих предприятиях осуществляется без изменения массы загружаемого продукта с помощью четырех отпускных труб, расстояние между которыми равно расстоянию между люками вагона-хоппера. Верхние части труб объединены одной самотечной трубой, в которую зерно поступает из отпускных бункеров. На элеваторах используется также отпускное устройство типа ЛД-5. Оно имеет четыре телескопические отпускные трубы, которые могут перемещаться по вертикали. После установки вагона оператор поочередно отпускает каждую телескопическую трубу в соответствующий люк в крыше вагона. По окончании загрузки все трубы поднимаются в верхнее положение. Управление каждой трубой дистанционное. Эти устройства не обеспечивают дозированную загрузку вагонов из-за отсутствия в своем составе средств измерений.



На рис. 2.66 приведено автоматизированное отпускное устройство для дозированной загрузки вагонов (АОУДЭ) на базе весов непрерывного действия типа 4450ВН, разработанное ВНИИКП (Латвийский филиал). Оно состоит из самотечных подающих и распределительных отпускных труб 1, коммутационных задвижек с приводом 2 и весов непрерывного действия 3, которые включают в себя приемную воронку 4, электропривод 5, блок измерения 6, блок задания и отсечки дозы 7, блок управления электроприводом весов 8.

Отпускное устройство работает следующим образом. Оператор устанавливает вагон в исходное положение, задает требуемую дозу отпускаемого материала, включает привод транспортера весов и открывает затвор перекрытия потока. Зерно из производственного силоса поступает в приемную воронку 4 весов непрерывного действия, а затем по ленте транспортера весов и самотечным распределительным трубам в вагон. Материал может поступать в приемную воронку весов и с помощью другого транспортного оборудования (ленточных и цепных транспортеров, нории и т.д.).

По мере накопления в вагоне зерна наступает момент, когда количество зерна, поступившего в вагон, становится равным полному значению заданной дозы. В этот момент на выходе блока контроля дозы появляется командный сигнал на остановку привода транспортера весов, который подается в блок управления приводом весов. Весы останавливаются. Загрузка прекращается. Оператор закрывает люки вагона и подает под погрузку следующий вагон.

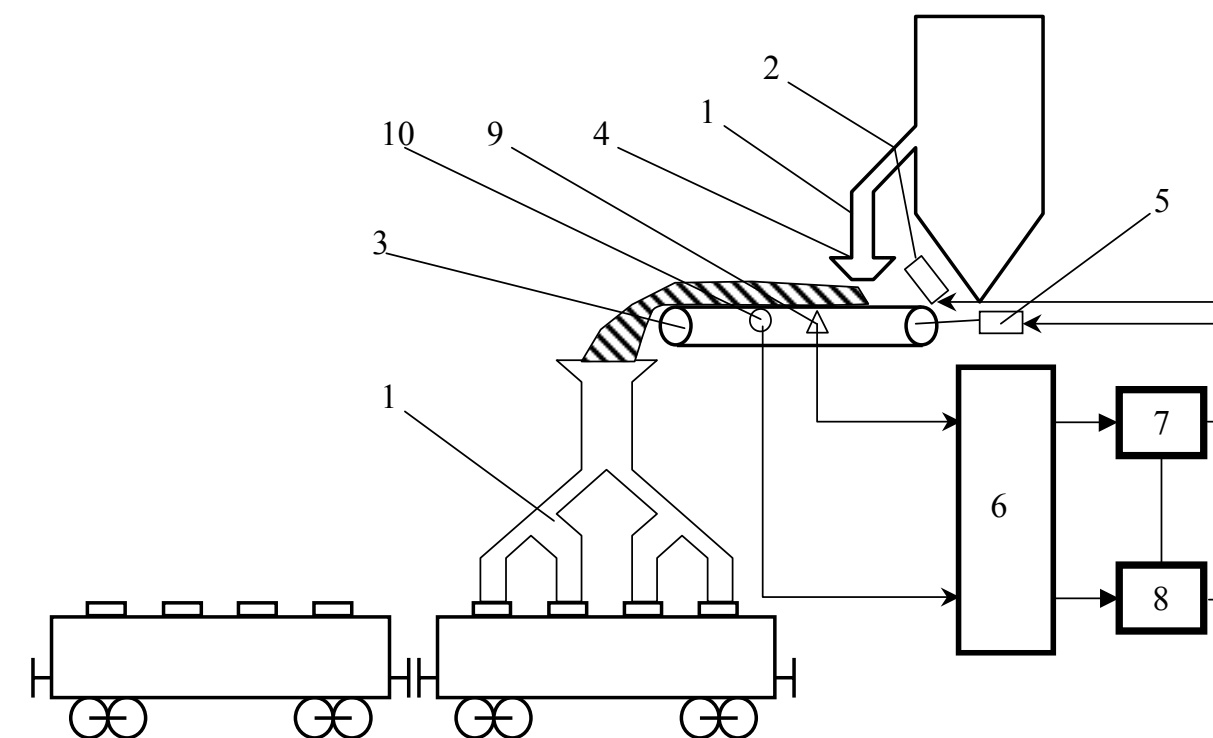


Рис.2.66. Функциональная схема автоматизированного устройства для дозированной загрузки железнодорожных вагонов

Механизм управления оборудованием отпускного устройства позволяет осуществлять такую загрузку вагона, после окончания которой в загрузочном тракте практически не остается материала. Это требование важно выполнять при загрузке последнего вагона.

Весы непрерывного действия в представленной схеме устанавливаются непосредственно над вагоном, что позволяет использовать подобное устройство для всех технологических схем отпуска зерновых грузов.

Возможны и другие варианты установки весов в технологической схеме загрузки вагонов. Причем наиболее рациональным является размещение вагона непосредственно на выходе производственного силоса, так как в этом случае упрощается система управления отпускным устройством (отпадает надобность в узле задания предварительного дозирования).

Таким образом, на основании анализа вышеприведенных описаний конструкций отпускных дозировочных устройств, можно сделать вывод, что загрузка с помощью платформенных вагонных весов, обеспечивая требуемую точность, не может быть реализована на зерноперерабатывающих предприятиях из-за невозможности их установки на месте погрузки. Наиболее простую конструкцию и относительную дешевизну имеют отпускные устройства на базе весов непрерывного действия с устройством задания и отсечки дозы. Такие устройства обеспечивают технические нормы загрузки вагонов в соответствии с требованиями МПС.

## **2.5. Распределители потока сыпучего груза, поступающего в емкость**

Существуют три наиболее распространенных способа заполнения емкостей сыпучими грузами: струей, дождем и каскадом. У каждого из этих способов есть свои достоинства и недостатки.

Наиболее простой, но и наименее предпочтительной является загрузка компактной струей или самотеком. К основным недостаткам этого вида заполнения относятся: сегрегация, неравномерное уплотнение груза и неполное использование объема хранилища.

Сегрегация груза наблюдается как на этапе свободного падения груза, так и на поверхности образующейся насыпи вследствие скатывания более крупных и тяжелых частиц груза к стенкам емкости. Кроме того, образование насыпи снижает вместимость емкости (рис.2.67).

Значительное уплотнение при компактной струе, прежде всего, отмечается в нижних слоях насыпанного груза. При открытии выпускного отверстия происходит разуплотнение груза и скачкообразное перераспределение давления сжатия. Верхняя масса груза начинает двигаться, образуя в процессе движения неустойчивые своды. В

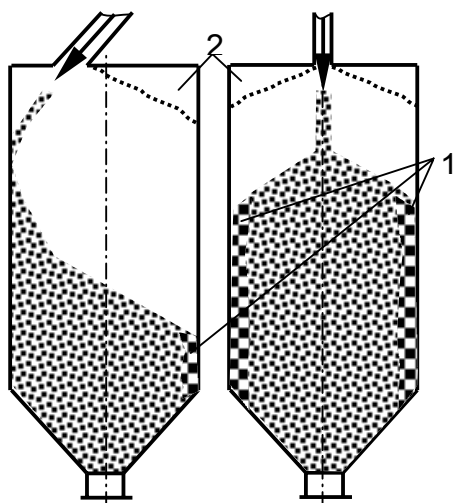


Рис.2.67. Схема загрузки емкости компактной струей:  
1- зона концентрации крупных и тяжелых частиц груза, 2- не используемый объем хранилища

результате дно емкости испытывает интенсивную нагрузку. При этом груз может прекратить истечение, а для его возобновления потребуются специальные вспомогательные механизмы.

Для улучшения процесса загрузки используются загрузочные устройства, которые, несмотря на определенные затраты, в целом совершенствуют функциональные параметры емкостей.

В случае загрузки рассредоточенным потоком, т.е. с увеличением сечения потока (загрузка дождем), наблюдается более равномерная укладка частиц груза, что приводит к увеличению вместимости емкости, снижению расслоения вследствие отсутствия насыпи. В этом случае в начале процесса истечения давление на дно частично снижается, днище емкости не испытывает внезапного дополнительного давления при выпуске и дальнейшее истечение происходит более равномерно.

Применение каскадных гравитационных спусков для загрузки емкостей позволяет достичь еще более равномерной укладки частиц и плотности по всей высоте бункера, минимизировать сегрегацию. Этот способ также способствует снижению пылеобразования и травмирования гранулированных грузов вследствие незначительной высоты падения.

Существующие загрузочные устройства для сыпучих грузов можно классифицировать по следующим признакам:

- I. по объекту загрузки;
- II. по виду груза;
- III. по роду вспомогательных загрузочных устройств;
- IV. по способу загрузки;
- V. по назначению.

В развернутом виде классификация загрузочных устройств представлена на рис. 2.68.

Наиболее распространенными являются гравитационные загрузочные устройства, так как они имеют простую конструкцию и не требуют расходов на энергию привода. Вместе с тем им в большей мере присущи отмеченные выше недостатки.

Для гравитационной загрузки сыпучих грузов с отсутствием вспомогательных устройств, то есть компактной струей, применяют конвейеры в различном конструктивном исполнении. Они могут быть снабжены дополнительными устройствами (например, скребками), обеспечивающими сброс груза с ленты в одну или несколько точек.

Для очистки от металлических примесей используют магнитные сепараторы; от твердых инородных примесей – пассивные отсекатели или карманы с гребенчатыми улавливателями (рис. 2.69, а).

Загрузка при помощи нории также осуществляется струей, однако, несмотря на высокую производительность, это устройство имеет более ограниченные функциональные возможности (рис. 2.69, б).

В качестве загрузчика кузовов транспортных средств, обеспечивающего увеличение зоны действия и снижение потерь продукта при загрузке нескольких емкостей, используется загрузочный рукав (рис. 2.69, в). Он состоит из шарнирно соединенных верхней и нижней труб. Внутри верхней трубы находится винтовой транспортер.

Известно устройство для загрузки складов и различных транспортных и технологических емкостей, содержащее загрузочный патрубок, в нижней части которого закреплены две отводящие трубы с гофрированными стенками (рис. 2. 69, г). Благодаря этому, транспортирование груза происходит в двух или в одном направлении.

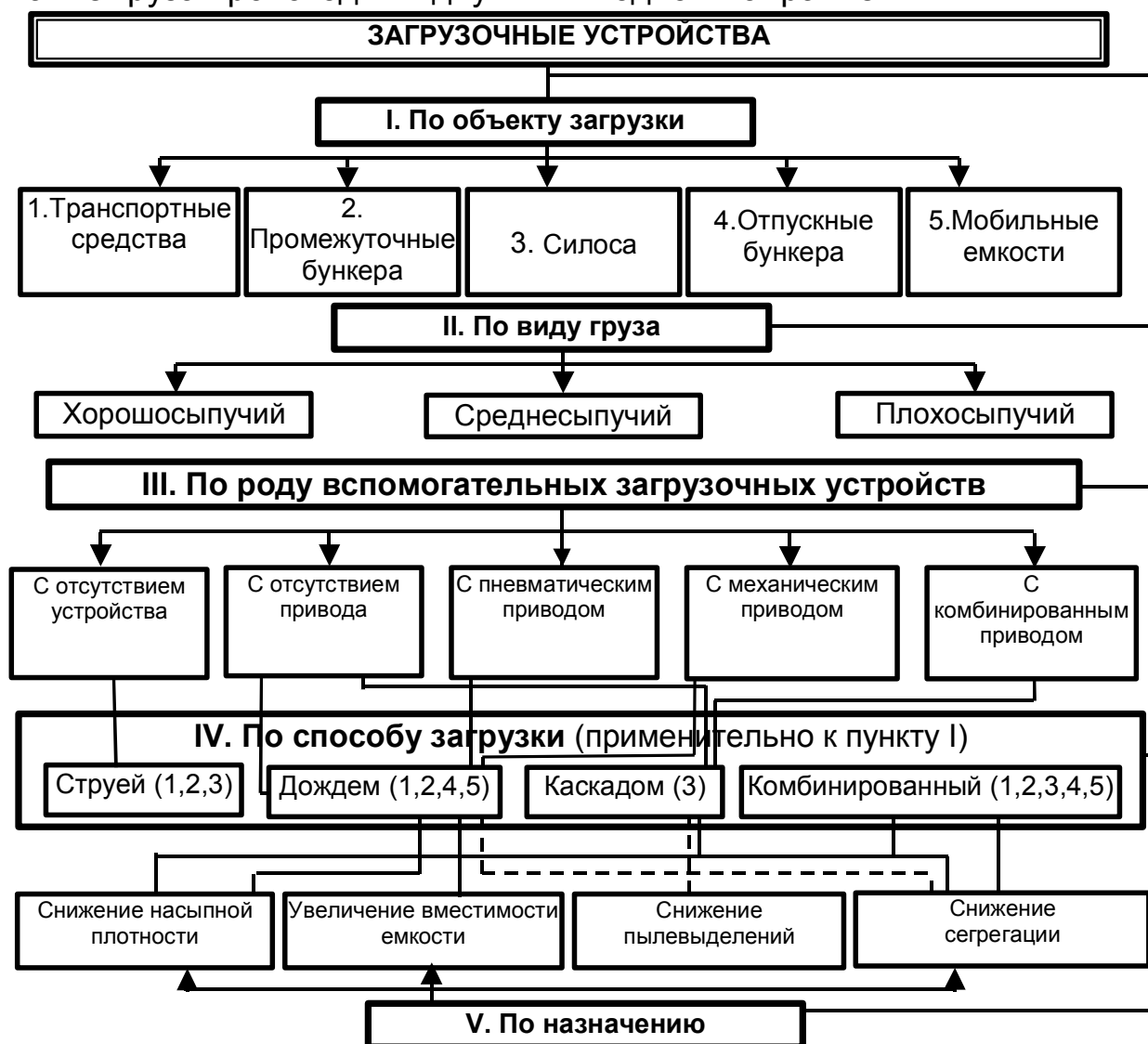


Рис.2.68. Классификация загрузочных устройств для хранилищ сыпучих грузов

----- возможные связи;  
 ————— существующие связи

Приспособлением, изображенным на рис.2.69, д, можно осуществлять заполнение емкостей большего горизонтального сечения. Пластиковые цилиндрические трубы, соединенные между собой хомутами с пропущенным через них тросом, располагаются вертикально или наклонно. Это позволяет осуществлять заполнение, например, с верхней части бункера или здания; с причала в трюм сухогруза и т. п.

Гравитационный спуск, представленный на рис. 2.69, е, содержит складывающийся гофрированный желоб, снабженный закрывающейся заслонкой и приводом. Груз, попадая в желоб, по мере нагружения растягивает его. При достижении грузом дна емкости от контакта открывается заслонка, и подъемом желоба обеспечивается освобождение от груза. Вследствие малой высоты падения исключается разрушение целостных частиц (гранул) сыпучего груза.

Среди устройств, снижающих плотность потока падающего груза или осуществляющих заполнение емкости дождем, заслуживают внимания следующие конструкции.

Конусные распределители используются для уменьшения сегрегации груза в процессе заполнения емкости и для увеличения равномерности заполнения.

Показанное на рис.2.70, а устройство для распределения сыпучего груза имеет конус с отверстиями и обечайку с пазами, концентрично расположенную с зазором вокруг основания конуса. При движении по конусу частицы груза равномерно распределяются по его поверхности, и часть их через отверстия на поверхности конуса ссыпается в емкость, а часть, достигнув основания конуса, распределяется по периферии емкости. Обечайка препятствует разлету крупных частиц к краям емкости. В результате такой подачи груза в емкость исключается конусообразная форма насыпи,

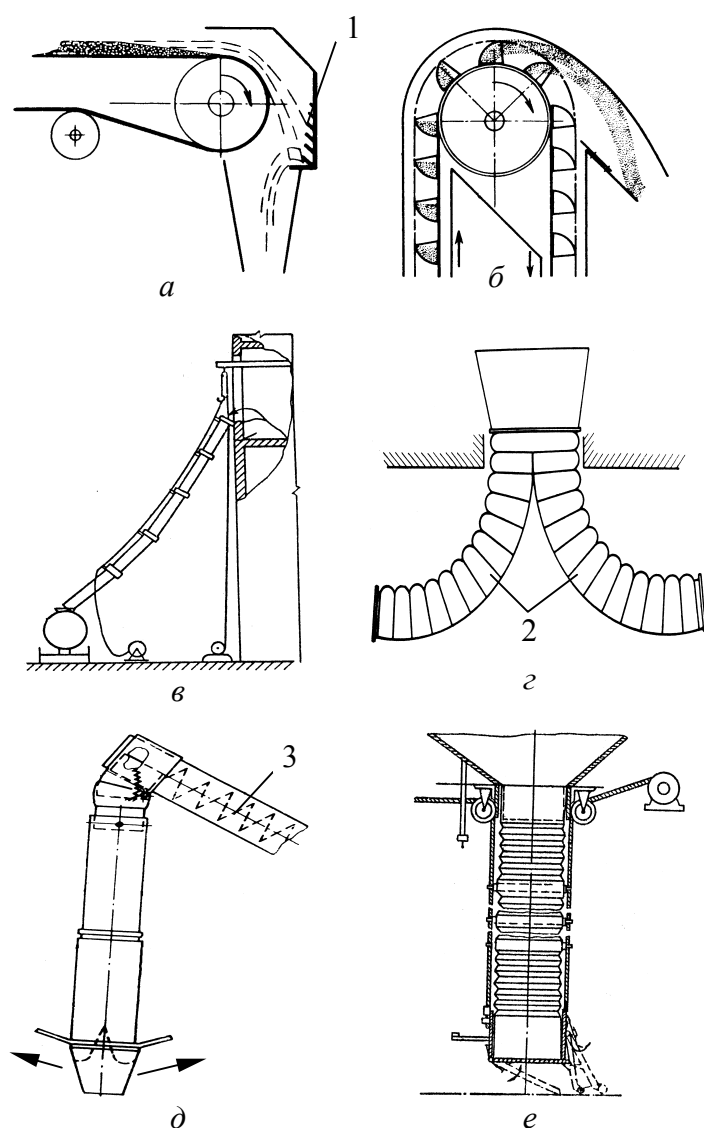


Рис.2.69. Загрузочные устройства с концентрированным потоком: 1- гребенчатый улавливатель; 2- отводящие трубы; 3- шнековый транспортер



которая имеет место при сосредоточенной загрузке через патрубок, или загрузке струей.

Гравитационное загрузочное устройство представлено на рис.2.70, б и состоит из загрузочного патрубка и закрепленного на нем при помощи хомута со стойками рассекающего конуса. Конус имеет продольные вертикальные вырезы. При подаче груза его частицы, контактирующие с поверхностью конуса, изменяют направление движения и распределяются по большему радиусу. Вырезы обеспечивают частичное выпадение груза в центральной зоне.

Конструкция распределителя сыпучих грузов, изображенная на рис.2.70, в, отличается от выше представленных тем, что перевернутый вершиной вниз конус является накопителем с выпускным отверстием в нижней его части. Груз в процессе заполнения конуса частично вытекает из отверстия, а часть пересыпается через края конуса, сливаясь с частицами поступающего потока.

Приведенные выше устройства применимы для грузов разной степени связности. Условием для их истечения будет являться размер выпускного отверстия в нижней части перевернутого конуса. Оно должно превышать размер возникающего динамического свода.

Для полного использования вместимости кузова вагона и равномерного заполнения сыпучим грузом по поперечному сечению емкости можно использовать следующие устройства (рис.2.71).

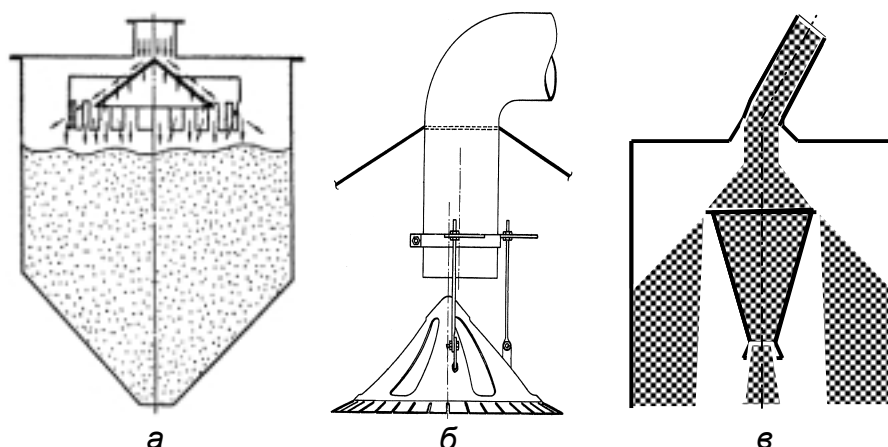


Рис.2.70. Конусные распределители

Устройство, представленное на рис.2.71, а, работает следующим образом.

Загрузочный рукав 1 и затвор-рассекатель 3 опускаются тросом 6. После соприкосновения опорной центрирующей шайбы 2 с краями загрузочного люка опускание загрузочного рукава 1 прекращается. Затвор-рассекатель 3 проходит через люк емкости под действием силы тяжести и открывает выпускное отвер-

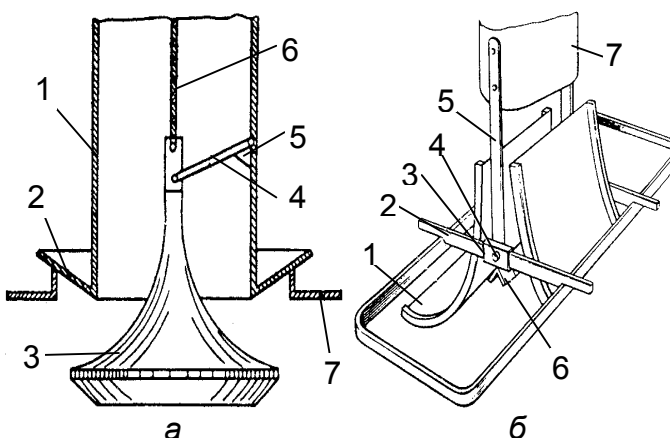


Рис. 2.71. Рассекатели потока сыпучих грузов для транспортных средств:  
а- цилиндрической формы, б- прямоугольной формы

стие загрузочного рукава 1. Направляющий рычаг 4 упирается в ограничитель 5 и устанавливает затвор-рассекатель 3 в положении, симметричном положению загрузочного рукава 1. Между стенками загрузочного рукава 1 и затвором-рассекателем 3 по всему периметру образуется равномерный зазор.

В процессе загрузки сыпучий груз подают в загрузочный рукав 1, где частицы, падая, набирают скорость и ударяются о боковую поверхность затвора-рассекателя 3. Далее частицы скользят вдоль поверхности затвора-рассекателя, непрерывно изменяя направление движения так, что в наиболее удаленной от оси симметрии точке они приобретают скорость, направленную под расчетным углом к горизонту, и отбрасываются к стенкам емкости, двигаясь вблизи крыши, что обеспечивает заполнение углов между крышей и стенками емкости на конечном этапе загрузки.

Уменьшить сегрегацию и динамическое уплотнение сыпучего груза, полнее загружать вагоны-минераловозы позволяет использование криволинейных разбрасывателей.

Разбрасывающее устройство (см. рис.2.71,б) состоит из направляющих элементов 1, опорных перекладин 2, оборудованных ограничителями поворота 3, шарниров 4 и подъемных штанг 5 с упорами 6. Посредством штанг устройство крепят к загрузочному рукаву 7. Шарнирное соединение перекладин 2 обеспечивает ввод разбрасывателя через горловину загрузочного люка вагона.

Для введения разбрасывателя внутрь вагона загрузочный рукав опускают вместе с устройством. В некоторый момент опорные перекладки 2 опираются на края люка, распрямляются и разводят внутри вагона нижние части направляющих элементов 1. К моменту полного выпрямления опорные перекладки упираются в ограничители поворота 3, опускание рукава 7 прекращается, и разбрасыватель принимает рабочее положение.

Снижение степени сегрегации сыпучего груза достигается за счет разделения потока груза на три части, из которых две крайние движутся по симметрично расположенным направляющим элементам и отбрасываются к боковым стенкам вагона, а третья часть попадает в промежуток между двумя профилированными поверхностями и заполняет середину вагона.

Загрузочные устройства с применением привода также получили широкое распространение (центробежные, дисковые, роторные разбрасыватели и др.).

На рис.2.72, а приведено устройство, состоящее из распределительного бункера, имеющего на боковой поверхности три ряда прямоугольных вырезов. Они расположены в шахматном порядке и служат для разгрузки бункера. В нижней части емкости на вертикальной оси закреплены два ряда горизонтальных лопастей с возможностью вращения. Попадая на лопасти, груз вызывает вращение оси, чем

достигается равномерное разбрасывание его частиц на большой площади. Устройство может функционировать на грузах с разной степенью связности.

Для загрузки стационарных и передвижных емкостей используется устройство, содержащее вращающиеся на вертикальном валу диски с кольцевыми перфорированными ограничителями (рис.2.72, б). При вращении груз разгоняется центробежной силой в горизонтальном положении и выплескивается через отверстия в ограждении. Разность диаметров дисков позволяет рассыпаться сыпучему грузу с разным диаметром в полости емкости. Увеличение полезного объема зоны падения достигается изменением скорости вращения диска.

Немецкими инженерами предложена конструкция центробежного разбрасывателя, представленная на рис.2.72, в. На вертикальном валу горизонтально закреплены диски с вертикально установленными лопастями. Подача груза в емкость осуществляется одновременно с вращением устройства. Груз, попадая на поверхность дисков, отбрасывается лопатками на расстояние, соответствующее диаметру кольца. Тем самым достигается равномерное его распределение по всему сечению емкости.

Последние две конструкции способны работать только на хорошо сыпучих грузах, так как связные грузы забивают отверстия и не дают хода поступающему потоку груза.

Для обеспечения целостности гранулированного сыпучего груза, а также для минимизации пылевыведения в результате длительного падения частиц в высотных емкостях применяют каскадные спуски. На рис. 2.73, а приведена схема комбинированного каскадного спуска. В емкости под загрузочным раструбом крепится трос с расположенными на нем пучками упругих элементов. В результате подачи сыпучего груза в емкость, частицы его сталкиваются с упругими элементами и теряют скорость при падении, при этом изменяется прежнее направление движения. В результате частицы груза не только сохраня-

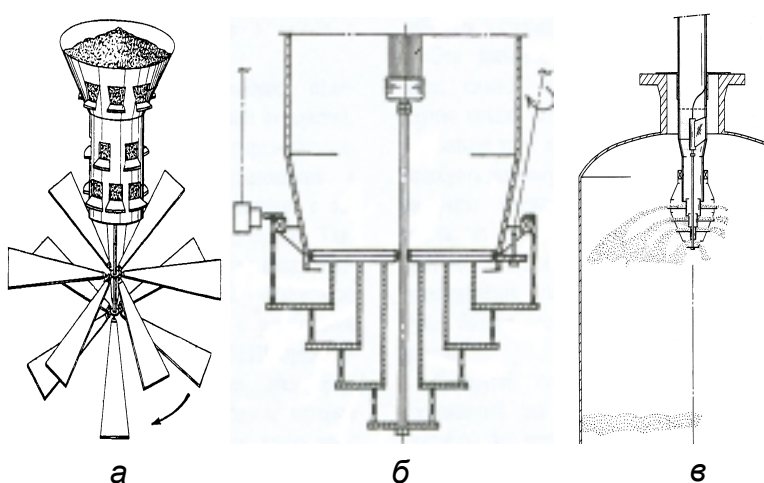


Рис.2.72. Распределители сыпучего груза в емкости с наличием привода

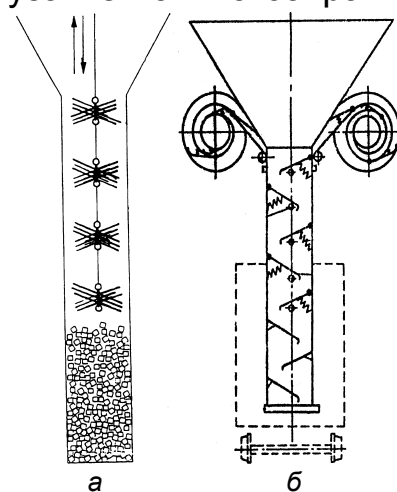


Рис. 2.73. Загрузочные устройства с каскадными спусками

ют свою целостность, но и располагаются в емкости хаотично, не образуя ярко выраженных насыпей.

Для повышения уровня механизации погрузочных работ с легкоповреждаемыми грузами может быть использовано устройство, состоящее из бункера-накопителя и загрузочного желоба переменной длины (рис.2.73, б). С внутренней стороны на нем смонтированы в шахматном порядке наклонные полки. На корпусе бункера закреплены барабаны, на них наматываются ленты, из которых состоит загрузочный желоб. При разматывании лент с барабанов они образуют трубу, опускаемую в кузов транспортного средства или другую емкость, и закрепляются фиксаторами. По мере заполнения длина лент уменьшается. Это позволяет снизить высоту падения груза как внутри желоба, так и после выхода из него.

Для заполнения высотных емкостей применяют конструкцию, расположенную вдоль всей ее высоты, выполненную в виде наклонных патрубков, закрепленных своими концами друг с другом переходными коленами (рис.2.74). В патрубках выполнены вырезы, с помощью которых груз высыпается наружу в результате заполнения поло-

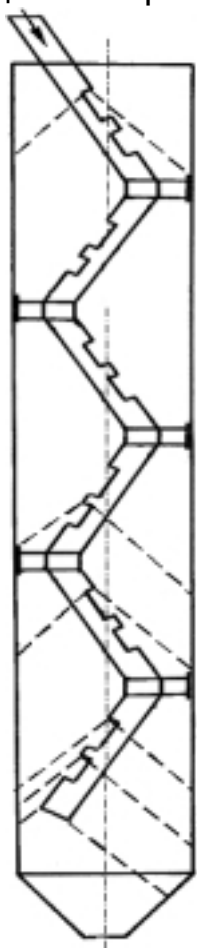


Рис.2.74. Распределитель сыпучего груза в полости силоса

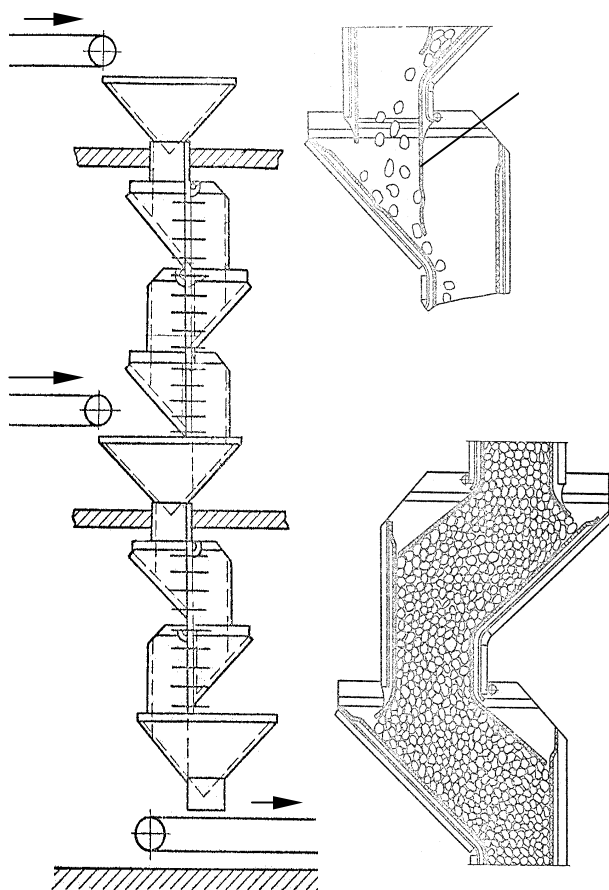


Рис.2.75. Устройство каскадного спуска сыпучих грузов:  
1- полог для снижения скорости движущихся частиц

ти трубы и располагается внутри емкости под углом естественного откоса. Такая конструкция сокращает высоту свободного падения частиц сыпучего груза и способствует борьбе с сегрегацией. Указанное приспособление не извлекается после окончания загрузки, что является существенным недостатком, так как служит опорой для образования сводов и может препятствовать выпуску груза из емкости.

Для технологических линий используются каскадные спуски сыпучих грузов с возможно-

стью смешивания нескольких компонентов (рис.2.75). При этом частицы груза подвергаются постоянному торможению специальными полами. Тем самым достигается сохранность гранулированных частиц груза от набирания ими разрушительной скорости.

Из анализа приведенных выше конструкций можно сделать вывод, что распределители поступающего в емкость потока имеют большое разнообразие в конструктивном исполнении, разные цели применения и предназначены для грузов любой связности.

## 2.6. Питатели бункерных устройств

Питатель кроме равномерной регулируемой подачи сыпучих грузов из емкостей может являться также запорным устройством и выполнять роль бункерного затвора, но он отличается от них возможностью более тонкого регулирования потока сыпучего груза.

Важнейшие требования, предъявляемые к питателям, – это равномерность подачи груза и возможность регулирования производительности устройства. В некоторых производственных процессах питатели используют как простые, надежные и дешевые объемные дозаторы небольшой точности.

Исходя из того, что масса единицы объема сыпучих грузов в некоторых технологических процессах может изменяться в широких пределах (иногда до 15%), в случае необходимости высокой точности дозирования, объемные питатели оснащают автоматическими устройствами и приспособлениями.

Классификация основных типов питателей приведена в табл.2.7.

Рассмотрим перечисленные типы питателей более подробно.

***Питатель без движущегося рабочего органа (гравитационный)*** представляет собой одно- или двухсекторный, либо шиберный затвор с тонкой регулировкой положения секторов или шибера.

Гравитационные питатели просты, надежны, не боятся засорений, однако из всех типов питателей дают наименьшую равномерность потока, поэтому почти не применяются в дозаторах непрерывного действия. Чаще их используют для подачи груза в последующие емкости (расходный бункер дозатора). Довольно широко применяются в качестве отсекающих затворов в различных порционных дозаторах.

***Питатели с поступательным движением рабочего органа.***  
***Ленточный питатель***, представленный на рис. 2.76, предназначен для подачи сухих, дробленых, молотых и кусковых материалов. Он представляет собой натянутую между двумя барабанами под нижним срезом бункера 1 бесконечную транспортерную ленту. Такие питатели применяют в процессах непрерывного дозирования. Их производительность достигает 300 м<sup>3</sup>/ч и более.

Таблица 2.7

## Классификация основных типов питателей

| Тип питателя   | Движение рабочих органов               | Материалы                                                 |
|----------------|----------------------------------------|-----------------------------------------------------------|
| Гравитационный | Без движущегося рабочего органа        | Порошковые                                                |
| Ленточный      | Поступательное                         | Порошковые тяжелые материалы и кусковые со средней массой |
| Пластинчатый   | Поступательное                         | Преимущественно крупнокусковые                            |
| Барабанный     | Вращательное вокруг горизонтальной оси | Пылевидные, порошковые, зернистые и мелкокусковые         |
| Лопастной      | Вращательное                           | Порошковые, зернистые, кусковые                           |
| Шнековый       | Винтовое                               | Порошковые, мелкозернистые                                |
| Тарельчатый    | Вращательное вокруг вертикальной оси   | Порошковые, мелкозернистые                                |
| Маятниковый    | Колебательное                          | Зернистые, мелкокусковые                                  |
| Лотковый       | Колебательное                          | Крупнозернистые, кусковые                                 |
| Плунжерный     | Возвратно-поступательное               | Порошковые, зернистые                                     |
| Вибрационный   | Вибрационное                           | Порошковые, зернистые, кусковые                           |
| Аэрационный    | ---                                    | Пылевидные, порошковые                                    |

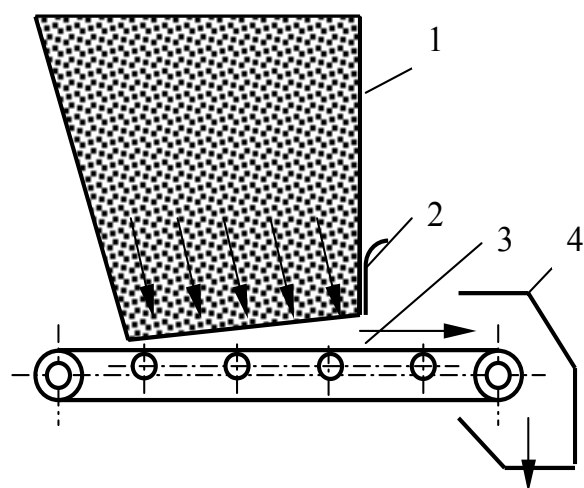


Рис.2.76.Схема ленточного питателя:

- 1-бункер; 2- шиберный затвор;  
3- ленточный транспортер;  
4- приемный лоток;  
→ движение груза

Производительность питателя регулируется либо скоростью ленты транспортера 3, либо слоем находящегося на ленте груза с помощью шиберного затвора 2. Устанавливая ленточный питатель под бункером, между воронкой бункера и питателем оставляют зазор (в пределах 10...40 мм, так как при больших зазорах трудно управлять потоком); неподвижные борта предохраняют груз от растекания в стороны. Размер выпуклого отверстия бункера 1 над питателем определяется условиями истечения данного груза, а также условиями, исключаящими сводообразование. Питатель должен забирать груз по всему

сечению выпускного отверстия воронки бункера, поэтому в направлении движения груза его производительность должна возрастать. Чтобы сохранить равномерное истечение материала, выпускную щель над питателем располагают под углом  $3...5^\circ$ , что уменьшает крутящий момент при установившемся режиме работы. Производительность и расход мощности ленточного питателя определяют по формулам:

$$Q = 60\pi D_6 n b h, \quad (2.10)$$

где  $D_6$  – диаметр барабана транспортера, м;  
 $n$  – частота вращения барабана, об/мин;  
 $b, h$  – ширина и высота слоя груза на ленте, м.

$$N = 0,0108 L u [(2,1G + G_1)(f \cos \alpha_n + G_1 \cos \alpha_n)], \quad (2.11)$$

где  $L$  – длина транспортера, м;  
 $u$  – скорость ленты, м/с;  
 $\alpha_n$  – угол наклона питателя к горизонту, град;  
 $G$  – вес метра ленты, кгс;  
 $G_1$  – вес транспортируемого груза, приходящийся на метр ленты, кгс;  
 $f$  – коэффициент трения (около 0,12).

Ленточные питатели имеют небольшую мощность привода и являются экономически выгодными.

**Пластинчатый питатель** (рис.2.77) представляет собой бесконечную цепь 3 под нижним срезом бункера 1, набранную из плоских пластинчатых металлических звеньев (наподобие тракторной гусеницы). Такие питатели применяют в тех случаях, когда условия удара и размер кусков или температура материала препятствуют применению ленточных питателей. Расход энергии у пластинчатых питателей по сравнению с ленточными почти в два раза выше. Производительность пластинчатых питателей достигает  $1000 \text{ м}^3/\text{ч}$ . Применяют также скребковые конвейеры, у которых в зависимости от свойств материала (порошковых, зернистых, мелкокусковых) форма скребков различная.

### ***Питатели с вращательным движением рабочего органа.***

**Барабанные и лопастные** питатели применяют для подачи и дозирования пылевидных хорошосыпучих и мелкокусковых грузов. Их конструкции отличаются большим разнообразием: гладкие (для пылевидных материалов), ребристые и граненые (для крупнокусковых).

На рис.2.78 показаны некоторые типы барабанных питателей. Довольно часто встречаются барабанные питатели секторного типа, у которых барабан разделен радиальными лопастями на ряд ячеек (шлюзов) числом от 3 до 12. При вращении барабана секции в верхней части равномерно заполняются грузом, поступающим через воронку бункера, а при повороте на  $180^\circ$  груз высыпается в разгрузоч-

ный патрубок. В состоянии покоя барабана лопасти не дают грузу высыпаться из отверстия воронки. Производительность барабанных питателей регулируется изменением частоты вращения барабана.

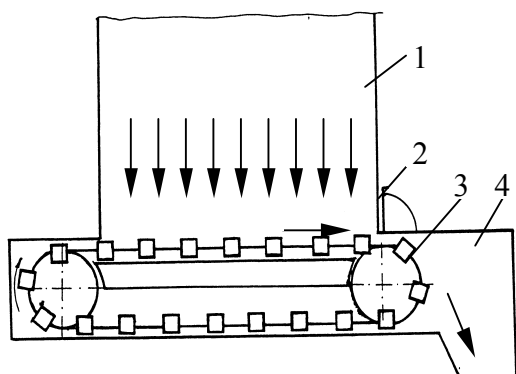


Рис.2.77. Схема пластинчатого питателя:

1- бункер; 2- шиберный затвор; 3- пластинчатый транспортер; 4- приемный лоток; → движение груза

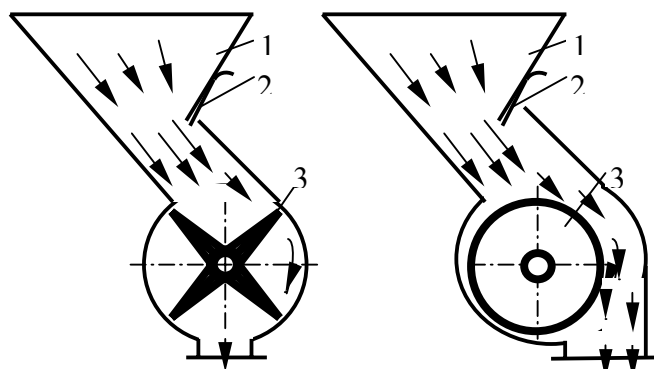


Рис.2.78. Схема барабанных питателей:  
1- бункер; 2- шиберный затвор; 3- барабан; → движение груза

Производительность барабанного питателя рассчитывают по формуле

$$Q = 60 V i_{я} n c \gamma, \quad (2.12)$$

где  $V$  – объем ячейки,  $\text{м}^3$ ;  
 $i_{я}$  – число ячеек;  
 $n$  – частота вращения барабана, об/мин;  
 $c$  – коэффициент разрыхления;  
 $\gamma$  – насыпная плотность груза,  $\text{т/м}^3$ .

К питателям с вращающимся рабочим органом можно также отнести большую группу шнековых питателей. Рабочий орган – шнек – выполняется разнообразной формы в зависимости от транспортируемого сыпучего груза (рис.2.79).

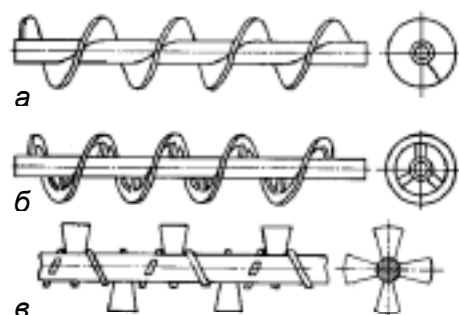


Рис.2.79. Типы винтов шнековых питателей:

а - сплошной; б - ленточный;  
в – лопастной

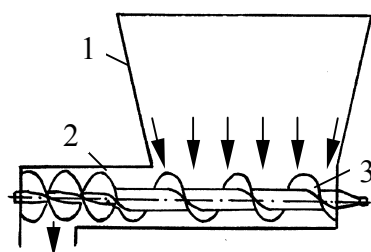


Рис.2.80. Схема питателя с одним шнеком:

1 - корпус бункера; 2 - кожух; 3 - шнек;  
→ движение груза

На рис.2.80 изображен шнековый питатель. Он состоит из заключенного под корпусом бункера 1 в кожух 2 шнека 3. Такие питатели применяют в основном для подачи порошковых и зернистых грузов, не боящихся крошения. Шнековые питатели



можно устанавливать горизонтально и наклонно. Производительность шнековых питателей регулируют, изменяя частоту вращения шнека.

К достоинствам таких питателей можно отнести компактность и герметичность, поэтому они особенно удобны при работе с тонкодисперсными грузами (цемент, гипс и т.д.). Чтобы увеличить выпускное отверстие, в ряде случаев устанавливаются несколько шнеков в одном кожухе. Для сохранения однородности состава груза применяют шнеки с переменным шагом, убывающим в сторону разгрузки. В таких случаях наибольший размер куска должен быть меньше шага винта (минимального). В том случае, если есть опасность спрессовывания груза, используют шнеки с переменным шагом, увеличивающимся в направлении движения.

Производительность шнекового питателя рассчитывают по формуле:

$$Q = 1,5\pi D_{ш}^2 snK\gamma, \quad (2.13)$$

где  $D_{ш}$  – диаметр шнека, м;

$s$  – шаг винта, м;

$n$  – частота вращения шнека, об/мин;

$K$  – коэффициент наполнения (0,25...0,4);

$\gamma$  – насыпная плотность груза, т/м<sup>3</sup>.

На рис.2.81 представлен питатель для сыпучих материалов А1-ДРВ, основанный на совместном действии четырех соосных шнеков, расположенных в нижней части бункера. Он имеет производительность при разгрузке отрубей 68 т/ч, шрота - 70 т/ч и отходов 40 т/ч. Размер приемного отверстия 1827×860 мм, выпускного 430×430 мм.

Для выгрузки зерновых грузов и продуктов их переработки успешно применяются пружинные питатели. Эффективнее использовать питатели длиной не более 5...8 метров. В учебно-опытном хозяйстве Ульяновской сельскохозяйственной академии в качестве погрузчика применяют пружинный питатель с регулировкой производительности за счет перемещения шибера (рис.2.82).

**Тарельчатый дисковый питатель**, представленный на рис.2.83, предназначен в основном для подачи мелкозернистых и порошковых грузов.

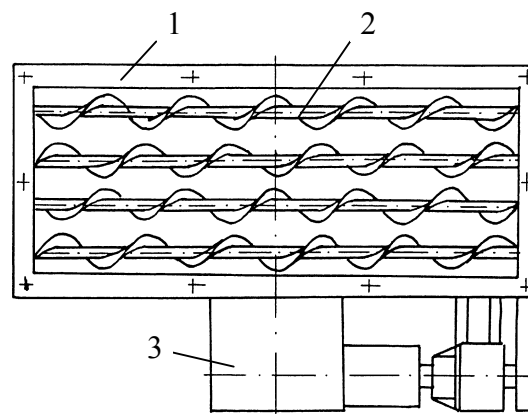


Рис.2.81. Схема питателя с четырьмя шнеками:

1 - корпус бункера; 2 - шнек; 3 - двигатель

Рабочим органом тарельчатого питателя является вращающийся-

ся диск 3, с которого продукт сбрасывается неподвижным ножом 5. Толщина слоя материала на диске регулируется с помощью надетой на выходной патрубок бункера 1 манжеты 2 (ее поднимают или опускают по принципу телескопической трубы). Производительность тарельчатых питателей достигает  $100 \text{ м}^3/\text{ч}$ .

Производительность питателя регулируют изменением частоты вращения диска, изменением зазора кольцевой щели (между манжетой и диском), что определяет высоту слоя материала на диске, положением ножа, снимающего то или иное количество материала с диска.

Вертикальный вал 4 с укрепленным диском приводится во вращение электродвигателем через передаточный механизм. По сравнению с ленточными и барабанными питателями тарельчатые имеют более плавную регулировку производительности и большую точность дозирования. Следует иметь в виду, что под влиянием центробежной силы при большой частоте вращения диска груз может разбрасываться в стороны. Поэтому критическую частоту вращения определяют из условий равенства центробежной силы и силы трения:

$$m\omega R_k = mgf; \quad \omega = \pi n / 30, \quad (2.14)$$

где  $\omega$  - угловая скорость, рад/с;

$m$  - масса груза на диске, кг;

$R_k$  - средний радиус круга груза, расположенного на диске, м;

$f$  - коэффициент внешнего трения;

$g$  - ускорение свободного падения,  $\text{м/с}^2$ .

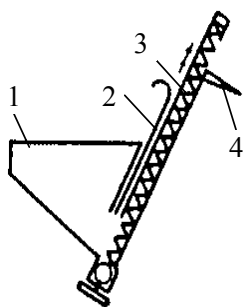


Рис.2.82. Схема пружинного питателя:  
1 - корпус бункера;  
2 - шиберный затвор;  
3 - пружина; 4- разгрузочный лоток

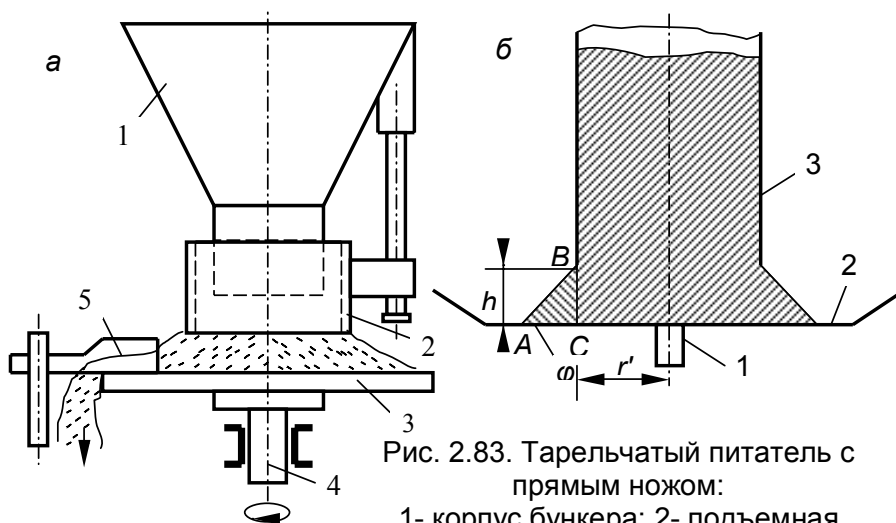


Рис. 2.83. Тарельчатый питатель с прямым ножом:

1- корпус бункера; 2- подъемная манжета; 3- вращающийся диск; 4- вращающийся вал; 5- скребок

Производительность тарельчатого питателя определяют по

формуле:

$$Q = \frac{\gamma \pi n h^2 r'}{60 \operatorname{tg} \alpha}, \quad (2.15)$$

где  $\gamma$  - насыпная плотность, т/м<sup>3</sup>;

$n$  - частота вращения диска, об/мин;

$h$  - высота подъема телескопа, м;

$r'$  - расстояние от центра тяжести треугольника ABC до оси вращения, м (см. рис.2.83, б);

$\alpha$  - угол естественного откоса.

Тарельчатый питатель, разработанный в ФРГ, со спиральным ножом для принудительной выгрузки плохосыпучих и слипающих грузов представлен на рис.2.84,а. Силосы и бункера, оборудованные такими питателями, имеют горизонтальное дно с центральным выпускным отверстием круглой формы. Над выпускным отверстием вертикально смонтирован конический рассекающий поток, который прикрывает отверстие. В зазоре между основанием конуса и днищем бункера закреплен лопастной скребок, плотно прижимающийся к днищу. Скребок приводится во вращение от специального привода. Диаметр конуса и зазор между основанием конуса и днищем бункера выбирают с таким расчетом, чтобы поступающий в бункер материал не мог выходить самотеком через выпускное отверстие. Выгрузка материала производится с помощью вращающегося лопастного скребка, который захватывает нижние слои материала, перемещая его в радиальном направлении к отверстию.

Конструкция такого питателя обеспечивает равномерную и непрерывную выгрузку по всему поперечному сечению бункера правильными горизонтальными слоями. В таких условиях практически устраняются явления сегрегации. Производительность питателя (от 300 до 530 т/ч) регулируется изменением частоты вращения лопастного скребка (от 3 до 4,5 об/мин).

На рис.2.84,б показан питатель небольшой производительности для плохосыпучих влажных грузов, который одновременно является дозирующим органом. Производительность питателя может меняться от 2 до 8 т/ч вследствие изменения частоты вращения спирального ножа, который имеет бесступенчатую регулировку скорости. При производительности 2 т/ч спиральный нож совершает один оборот за 30 мин. В зоне выпускного отверстия бункера быстро вращаются (с постоянной скоростью) три дополнительных скребка, расположенных на-

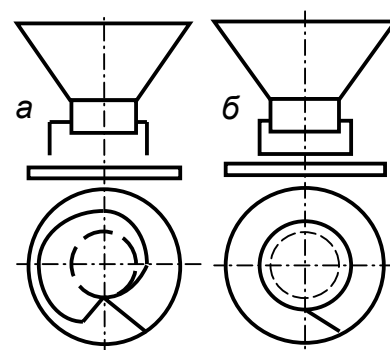


Рис.2.84. Схемы конструкций тарельчатых питателей:

а - со спиральным ножом;

б - с возможностью дозирования

клонно к горизонтали. Эти скребки осуществляют непрерывную, равномерную подачу материала в проем между конусом и днищем. Такая конструкция питателя обеспечивает выгрузку материала при небольшой производительности и большом диаметре емкости. Дополнительные скребки перемешивают материал перед выходом его из отверстия, что удобно для выгрузки материала из бункера после длительного хранения.

Широкое применение нашли также более простые конструкции тарельчатых питателей с вращающейся тарелью и неподвижным спиральным ножом.

**Питатели с возвратно-поступательным движением или вибрацией рабочего органа.** Эти питатели работают в импульсном режиме. Дозирование мелких материалов при небольшой производительности осуществляют маятниковыми питателями. Показанный на рис.2.85,а маятниковый питатель имеет секторный затвор, который поворачивается на шарнире с помощью кривошипно-шатунного механизма. Производительность питателя регулируют изменением эксцентриситета приводного механизма, изменением угла крепления сектора на валу и специальным шибером.

**Лотковые** (рис. 2.85,б) питатели применяют главным образом для дозирования кусковых материалов. По конструктивному исполнению их разделяют на подвесные и кареточные. Подвесные лотковые питатели используют для легких грузов с насыпной плотностью до  $1 \text{ т/м}^3$ . Лоток, подвешенный под воронкой на тягах, получает колебательное движение от эксцентрикового механизма через шатун. Привод питателя осуществляют с помощью электродвигателя через редуктор и кривошипно-шатунный механизм. Колебания лотка препятствуют образованию заторов и обеспечивают равномерную подачу материала.

Для абразивных грузов с насыпной плотностью до  $2,5 \text{ т/м}^3$  используют кареточные питатели, производительность которых достигает  $300 \text{ м}^3/\text{ч}$ . Они имеют аналогичный привод и конструктивно отлича-

ются только тем, что лоток с направляющими устанавливается под выпускным отверстием бункера на роликовых опорах. Производительность питателя регулируют, изменяя высоту слоя материала с

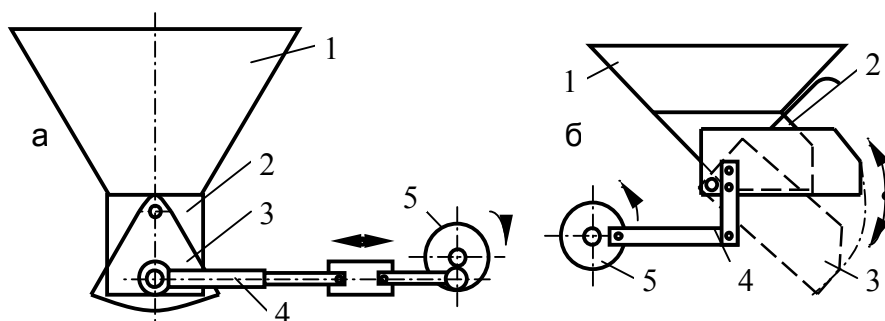


Рис.2.85. Схемы маятникового секторного (а) и лоткового (б) питателей:

1- корпус бункера; 2-отпускная труба; 3- шиберный затвор; 4- кривошипно-шатунный механизм; 5- шарнир

помощью секторной заслонки, а также изменяя величину хода лотка.

Выгрузку материала осуществляют в конце лотка. Такие питатели надежны в работе и просты по конструкции.

Находит также применение лотковый питатель с комбинированной подвеской лотка.

Производительность (т/ч) лоткового питателя определяется по формуле:

$$Q = 60b_{\text{ж}}hl \cdot nK\gamma, \quad (2.16)$$

где  $b_{\text{ж}}$  – ширина несущей части (расстояние между стенками желоба), м;

$h$  – высота желоба, м;

$l$  – ход столба (удвоенная амплитуда качания), равный диаметру кривошипа, м;

$n$  – частота вращения эксцентрика, об/мин;

$\gamma$  – насыпная плотность груза, т/м<sup>3</sup>;

$K$  – коэффициент подачи (0,7...0,9).

На рис.2.86 изображен **плунжерный** питатель, предназначенный для работы с порошковыми и зернистыми грузами, перемещение которых осуществляется вследствие поступательного движения горизонтального плунжера. Последний приводится в движение кривошипно-шатунным механизмом. Производительность питателя регулируют, изменяя величину хода плунжера и число ходов. Производительность питателей такого типа обычно достигает 3...5 м<sup>3</sup>/ч.

Широкое применение находят **вибрационные** питатели, основным рабочим органом которых является опорный либо подвесной лоток. От приводного эксцентриково-шатунного механизма или шарикового пневмовибродвигателя лоток получает колебательные движения, что позволяет легко регулировать подачу материала, изменяя амплитуду колебаний питателя. Груз перемещается с помощью возвратно-поступательных движений лотка (повторяющихся серий сбросов и захватов). Длину лотка подбирают с учетом угла естественного откоса дозируемого материала. Чем меньше угол естественного откоса материала, тем большую длину должен иметь лоток. При таком соотношении в нерабочем положении (при отключении питателя) обеспечивается необходимый подпор, препятствующий самопроизвольному высыпанию материала.

Питатель крепится к бункеру при помощи амортизаторов (пружины, резинового буфера), позволяющих в определенных пределах изменять угол наклона лотка. На основании опытных данных можно сделать вывод, что изменение угла наклона лотка на 1° приводит к изменению подачи на 2%.

В последнее время получили распространение электровибрационные питатели.

На рис.2.87 показан электровибрационный питатель, у которого

под лотком расположен вибратор.

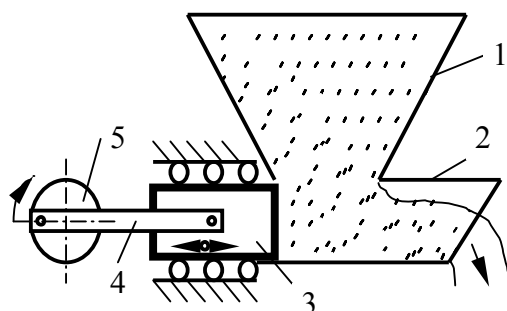


Рис.2.86. Схема плунжерного питателя:

1 - корпус бункера; 2 - выпускной патрубок; 3 - горизонтальный плунжер; 4 - кривошипно-шатунный механизм; 5 - шарнир

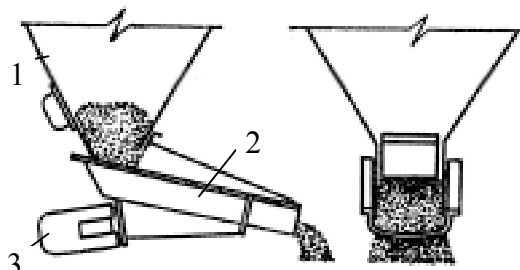


Рис.2.87. Электровибрационный питатель: 1- бункер; 2- наклонный лоток; 3- двигатель

Производительность питателя существенно зависит от амплитуды колебаний и угла наклона лотка (обычно около  $20^\circ$ ) и может быть вычислена по формуле:

$$Q = 3600Bh\nu\gamma, \quad (2.17)$$

где  $B$  – ширина лотка, м;  
 $h$  – высота слоя груза в лотке, м;  
 $\nu$  – средняя скорость перемещения груза, м/с;  
 $\gamma$  – насыпная плотность груза.

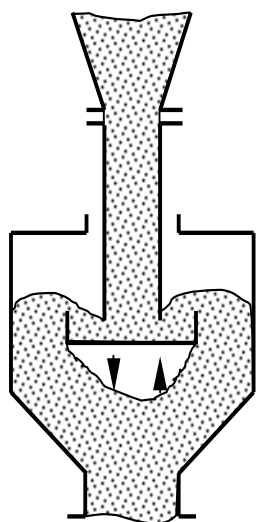


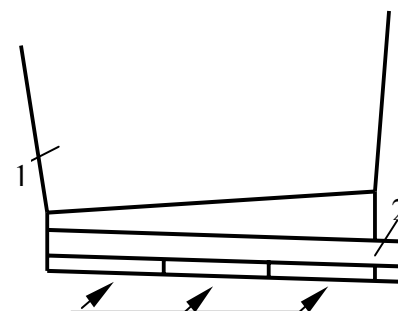
Рис.2.88.

Вибрационный питатель (ФРГ)

Электровибрационные питатели обеспечивают надежное дозирование материалов с различной насыпной плотностью от порошковых плохосыпучих до кусковых. Для подачи влажных и вязких материалов эти питатели в обычном исполнении не пригодны. На рис.2.88 представлена конструкция вибрационного питателя. Питатель представляет собой электромагнитный вибратор, состоящий из круглой пластины, расположенной на косолежащих листовых рессорах, в кожухе из алюминия и специального стекла. Под тарелкой помещен магнитный якорь, притягиваемый лежащими внизу электромагнитами соответственно частоте переменного тока. Листовые рессоры расположены таким образом, что пластина движется не только вниз и вверх, но и слегка вращается. При этом, находящийся на ней материал движется спиралеобразно и сбрасывается через край. Производительность питателя зависит от расстояния между подводящей трубой и пластиной, высоты

кольца на вибрационной пластине и амплитуды вибрационной пластины.

**Питатели с аэрирующей струей.** Аэрационные питатели предназначены для подачи тонкодисперсных материалов. Через пористое дно питателя пропускают воздух, вследствие чего уменьшается связность частиц, и материал легче движется. На рис.2.89 показан аэрационный питатель, в нижнюю удлиненную камеру которого подается воздух. Камера состоит из отделений, и, чтобы обеспечить эффективную подачу, воздух направляют в каждое отделение. Воздух проходит через пористую диафрагму, аэрирует сыпучий материал, перемещает его из выпускной воронки на подвесной конвейер. Такой питатель одновременно является и побудителем.



Воздух  
Рис.2.89. Аэрационный питатель:  
1 - бункер; 2- аэрируемый лоток

На рис.2.90,а показано питающее устройство, где транспортирующей средой является воздух. Под конической частью емкости проходит трубопровод, куда через сопло подают сжатый воздух. В результате под выпускным отверстием воронки создается пониженное давление, что способствует выходу продукта из бункера. К трубопроводу снизу присоединен патрубок, по которому идет встречный поток воздуха, регулируемый вентилем. Этот поток обеспечивает большее или меньшее поступление материала из отверстия воронки.

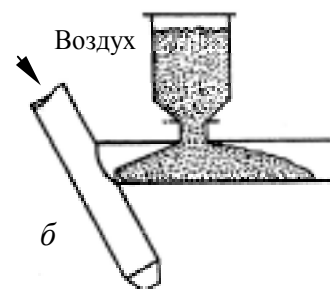
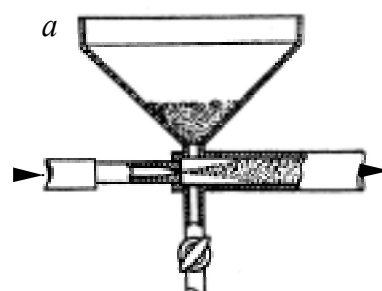


Рис.2.90.  
Пневмодозирующие устройства с регулируемой производительностью:  
а- с соплом; б- с наклонным материалопроводом

Устройство для подачи пылевидных и зернистых грузов из бункера с помощью воздуха показано также на рис.2.90,б. В горизонтальную трубу входит вертикальный подвижной штуцер воронки. Один конец горизонтальной трубы соединен (под углом) с транспортирующим материалопроводом, второй ее конец заглушен. Груз из воронки через штуцер попадает в горизонтальную трубу и располагается в ней под углом естественного откоса, затем стекает в наклонный материалопровод, куда подают воздух. Производительность регулируется с помощью вертикально перемещаемого штуцера воронки.

## 2.7. Побудители для стабилизации истечения в емкостях

Слеживание сыпучих грузов в емкостях, как правило, вызывается несколькими причинами. Прежде всего, на слеживание оказывает влияние давление верхних слоев груза, время хранения и гигроскопичность груза. К числу причин слеживания также можно отнести вибрацию при перевозке сыпучих грузов в кузовах различными видами транспорта. В результате действия факторов, сопровождающих процесс перевозки, слеживание ускоряется и может произойти за меньшее время, чем продолжительность перевозки. Нижние слои груза испытывают большее давление по сравнению с верхними, поэтому слеживание начинается именно с этих слоев. На практике, однако, наблюдается уплотнение не только нижних, но и верхних слоев сыпучего груза, поэтому давление не является единственной причиной слеживания.

Существующая технология погрузочно-разгрузочных работ с трудносыпучими грузами подразумевает их истечение, которое в большинстве случаев удается организовать только с применением специальных побуждающих устройств. Эффективность применения того или иного вида побудителя зависит от места его установки, геометрических параметров емкости и физико-механических свойств груза.

Огромное количество отечественных и зарубежных конструкций побудителей, призванных обеспечить устойчивый и бесперебойный выпуск груза, вызвано многообразием емкостей, используемых для хранения и выпуска, а также значительными отличиями в физико-механических свойствах трудносыпучих грузов.

Существующие конструкции побудителей можно классифицировать по следующим характерным признакам (рис.2.91):

- виду действия на грузы;
- исполнению сводаобрушителя;
- диапазону применения.

По виду воздействия на груз побудители можно разделить на механические, вибрационные и пневматические.

**Механические побудители.** Устройства, позволяющие передавать энергию грузу с помощью поступательного, вращательного, криволинейного движения рабочих органов, являются механическими побудителями.

Типичным примером обрушения сводов в емкостях является ручная или механическая шуровка. В первом случае в корпусе емкости высверливаются технологические отверстия, куда вставляют лом и производят возвратно-поступательные движения до возобновления истечения груза (рис. 2.92). В случае механической шуровки применяются подвешенные на тросах или цепях внутри емкости конструкции, которые приводятся в возвратно-поступательное движение электро- или ручной лебедкой.

Негативной стороной указанного метода является возможность



опускания груза только под действием собственного веса. Это обстоятельство при значительной высоте засыпки груза в емкости препятствует разрушению сводов.

Снизить вероятность сводообразования трудносыпучих грузов, не боящихся крошения, возможно при размещении в бункере или вне его шнековых побудителей, к преимуществам которых относится компактность, простота конструкции, герметичность. Шнековый питатель представляет собой винт, размещенный в кожухе, при вращении которого осуществляется перемещение сыпучего груза по кожуху.

Установленный в нижней части воронки 1 шнековый питатель 2 с приводом 3 (рис.2.93,а), позволяет производить разгрузку, но не может воздействовать на своды, образующиеся, как правило, выше, у основания конуса.

Бункерное устройство, предназначенное для хранения и выгрузки сыпучих грузов (рис.2.93,б), имеет разгрузочное устройство в виде

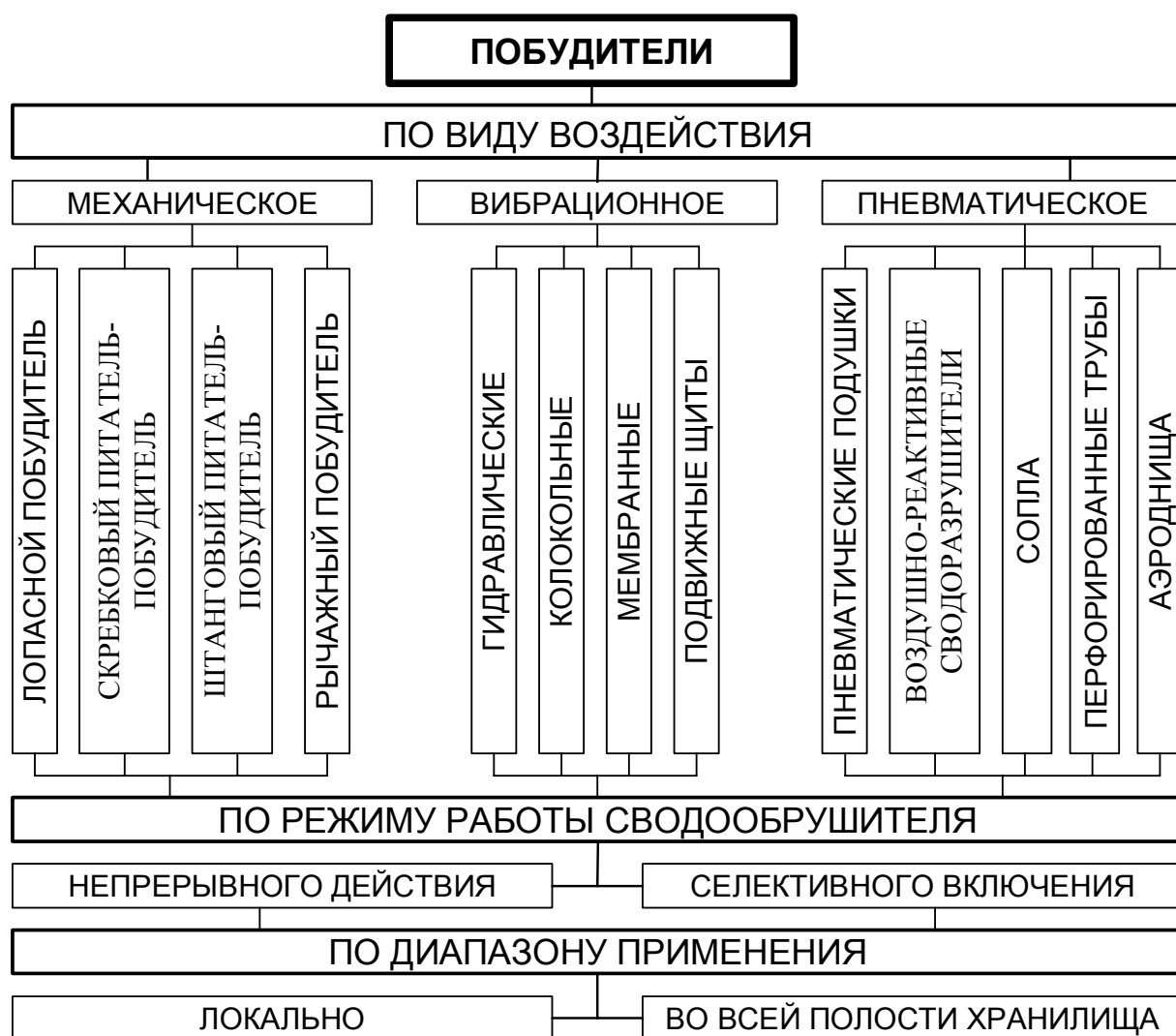


Рис.2.91. Классификация побудителей в бункерных устройствах

пружин 1, которые благодаря своей гибкости обладает сложной траек-

торией движения. Исполнительный орган устройства – спиральная пружина - работает под слоем материала и в случае поломки становится недоступным для ремонта.

Основными недостатками шнекового и спирального побудителей является высокая энергоемкость, частые поломки, использование в конструкции дорогостоящих высокопрочных материалов.

При выпуске сыпучего груза из емкости для восстановления истечения применяют центральную трубчатую штангу 1, имеющую шнековое оперение 2 типа сверла (рис.2.93,в). При образовании свода его разрушение достигается сверлением. Из-за значительной высоты емкостей для хранения сыпучих грузов (до 40м), штанга должна быть такой же длины.

Установка побудителей в наиболее вероятной зоне образования сводов является одним из возможных способов стабилизации процесса истечения. В области выпускной воронки силоса помещают горизонтальный или вертикальный вал с лопастями. Считается, что горизонтальный вал эффективен для слеживающихся и гигроскопичных материалов, а вертикальный – для мелкозернистых и пылевидных.

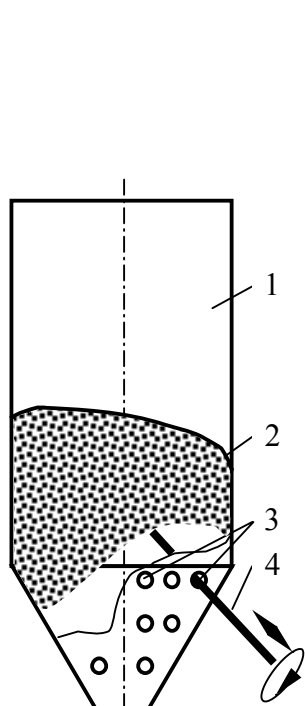


Рис.2.92.

Конструктивная  
схема ручной  
шуровки:

- 1- корпус бункера;
- 2- зависший груз;
- 3- отверстия для  
ручной шуровки;
- 4- лом или шест

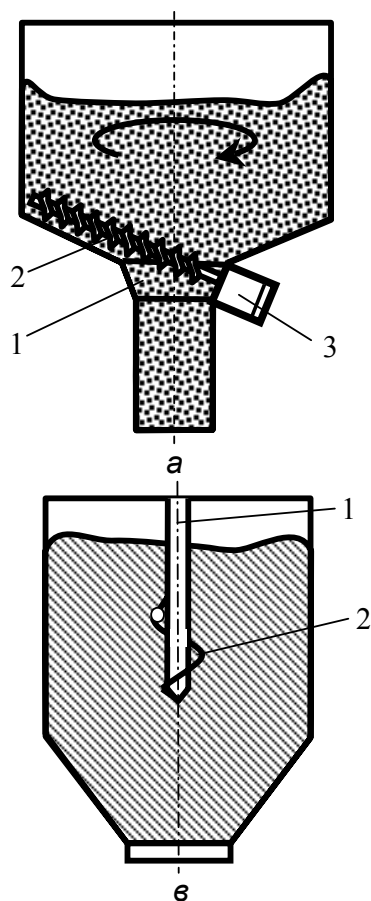


Рис.2.93. Емкости, оснащенные: а– шнековым  
питателем; б– пружинным побудителем; в–  
вращающейся штангой с оперением типа сверла;  
г– горизонтальными валами-мешалками

В производстве используется сводообрушающее устройство для

песка, состоящее из валов 1 с билами 2 и смонтированное на конической части бункера (рис.2.93,з). Вал установлен горизонтально по отношению к выпускному отверстию бункера и имеет три больших и два малых била. Вращение вала передается от электродвигателя мощностью 2,8 кВт через червячный редуктор и клиноременную передачу. Установка бил под углом  $45^0$  к оси вала в бункере емкостью  $12 \text{ м}^3$  с песком влажностью 4 и 8 % обеспечивает наиболее эффективное его разрыхление и предотвращение образования сводов в нижней части бункера. Однако в некоторых случаях свод образуется выше вала с билами. Поэтому для надежного обрушения сводов необходимо устанавливать вибраторы над лопастным валом или располагать на разных уровнях по высоте бункера несколько лопастных валов.

В бункерах для цемента применяют механический сводообрушитель в виде замкнутой движущейся цепи, непрерывно перемешивающей сыпучий груз (рис. 2.94,а). По данным конструкторского бюро, спроектировавшего это устройство, потребная мощность привода для работы побудителя составляет 1,7 кВт. Нередко встречается применение движущейся пространственной решетки различной конфигурации внутри емкости (рис. 2.94,б). Место расположения решетки, как правило, ограничивается местами наиболее вероятного образования свода (по результатам предварительного наблюдения).

Работа побудителей в слое материала требует высокой энергоемкости, а их устройство обладает невысокой надежностью. Общий недостаток всех вышеперечисленных конструкций – это препятствие гравитационному выпуску материала при неработающем побудителе.

Следующее устройство для сводообрушения трудносыпучих материалов в бункерах лишено этого недостатка (рис. 2.94,в). Оно состоит из установленного на вращающемся валу рассекающего конуса с шарнирно закрепленными лопастями. В нерабочем положении лопасти опускаются вдоль вала, не создавая препятствий гравитационному истечению.

Механические сводообрушающие устройства являются эффективным средством борьбы со сводообразованием сыпучих грузов в емкостях, так как они разрыхляют материал и препятствуют его

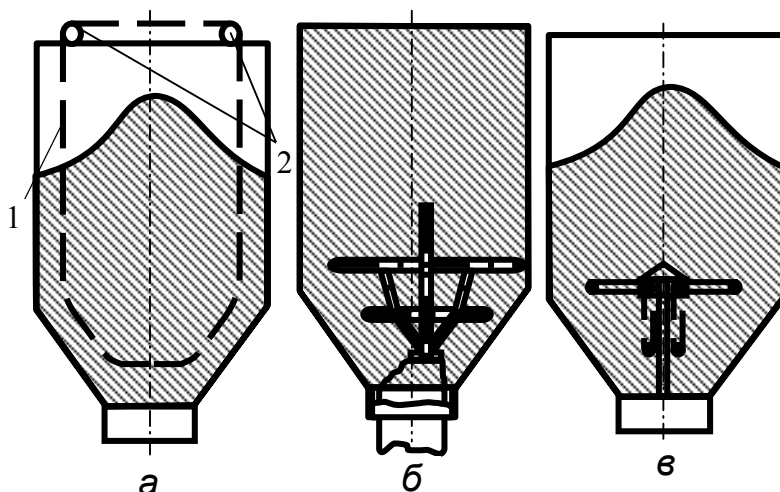


Рис.2.94. Емкости, оснащенные:  
а – движущейся цепью; 1- цепь; 2 - вращающиеся звездочки; б – движущейся пространственной решеткой; в – рассекающим конусом с шарнирно закрепленными лопастями

слеживанию. Однако учитывая значительную энергоемкость и большие затраты на изготовление механических побудителей, целесообразно использовать их только в том случае, когда другие типы побудителей (пневматические, вибрационные) не способны обеспечить бесперебойное истечение сыпучих грузов из емкости.

**Пневматические побудители.** Широкое применение в бункерах и силосах нашли пневматические побудители, особенностью которых является минимальное количество движущихся деталей, контактирующих с сыпучим материалом. Пневматические устройства могут воздействовать на сыпучий материал либо непосредственно, либо при помощи эластичных контуров, передавая энергию сыпучему материалу, заставляя двигаться его в нужном направлении. Однако эффективность пневмосистемы во многом зависит от точности ее расчета, а непременным условием ее работы является очистка воздуха, подающегося в полость емкости, от влаги и масла, а выходящего - от пыли. Впервые в 1952 г. французская фирма «Кологью» применила для ликвидации зависаний угля в бункерах пневматические подушки, входящие в эту группу побудителей.

Пневмосистема может быть представлена в виде эластичных элементов (гибкие резиновые подушки), закрепленных внутри полости бункера в местах наиболее вероятного залегания материала. Под действием давления воздуха происходит увеличение их объема, и таким образом они отбрасывают материал от стенок бункера. Усилие, получаемое при давлении 4 атм, составляет примерно 30 т на подушку и считается достаточным для обрушения любого зависшего материала. Движение сыпучего материала достигается периодическим манипулированием объема надувных подушек. Располагают их, как правило, в шахматном порядке (рис.2.95,а). Они должны принимать свое исходное положение при прекращении подачи воздуха, именно в таком положении следует производить загрузку бункера. Включение эластичных подушек при полностью загруженном бункере способствует уплотнению (спрессовыванию) материала, поэтому эффективная работа пневмоподушек достигается при частично опорожненном бункере. Применению пневмоподушек в бункере с углем сопутствует их сильный износ, что является характерным недостатком данного вида побудителей.

Пневматическое разгрузочное устройство бункера в виде пористого днища, с нижней стороны которого подается сжатый воздух, представлено на рис.2.95,б. Оно позволяет аэрировать груз в области выпускной воронки, что улучшает истечение дисперсных грузов из цилиндрических бункеров диаметром от 1,8 до 2,4 м. В качестве пористых элементов применяют ткань различных видов, керамические, древесные и синтетические плитки с активной поверхностью.

Для выгрузки из силосов цемента, алюминиевого порошка, мела

и т. д. применяют аэрационные коробки. Вариант оснащения днища силоса с углом наклона  $10...15^{\circ}$  аэрокоробками изображен на рис.2.95,в. Принцип работы аэрокоробки состоит в применении перегородки из пористого материала, через который проходит сжатый воздух и аэрирует груз, улучшая его подвижность. Для изготовления аэрокоробок используют такие материалы как лавсан, капрон и другие синтетические ткани. Расход воздуха для аэрирования на материалах с различными свойствами составляет от 0,3 до 3 м<sup>3</sup>/мин с 1м<sup>2</sup> аэрируемой поверхности. Минимальная площадь аэрирования зависит от диаметра емкости, числа выпускных отверстий, конструктивного исполнения днища, количества загруженного материала и его свойств, а также степени опорожнения емкости. С увеличением площади дна силоса следует пропорционально увеличивать площадь аэрирующей системы. С другой стороны, увеличивая число выпускных отверстий можно достичь снижения общей площади аэрирующих элементов, но при этом необходимо учитывать возможное удорожание процесса хранения и переработки материала за счет появления дополнительных питающих и транспортирующих устройств.

Аэрирование все же нельзя отнести к эффективным способам борьбы со слеживанием. Осуществление этого способа требует дополнительного и довольно сложного оборудования. Распыление воздуха происходит в емкости с грузом, например с отрубями. Когда система подачи воздуха не работает, выходные сечения воздушных сопел забиваются пылевидной фракцией груза. При включении системы эти сопла не функционируют и не выполняют своего назначения – борьбы со слеживанием. Для аэрации сыпучих материалов требуются прочные пористые материалы с определенной воздухопроницаемостью. Однако в процессе эксплуатации они забиваются, теряют свои свойства и требуют замены.

Другим направлением по подавлению сводообразования в полости емкостей пневмосистемой является использование «стреляющих» сопел. Применение пневматических сопел упрощает конструкцию и повышает эффективность сводообрушения при работе с мелкофракционными сыпучими материалами. Работа системы осуществляется при резком открытии клапана сопла, через которое под давлением 4...6 атм вводится воздух, создавая перед собой ударную волну, разрушающую образовавшийся свод.

Схема установки пневмообрушения стреляющими соплами, расположенными в несколько ярусов, представлена на рис.2.95,г. Управление соплами осуществляется, как правило, автоматически и предусматривает поочередное включение ярусов, начиная с нижнего.

Метод обрушения сводов с использованием пневматических сопел нельзя признать полностью удовлетворительным, так как в некоторых случаях струя воздуха не может разрушить нижнюю поверхность свода. Иногда сжатый воздух давлением даже в 7 атм не может

пробить толщу цемента и разрыхлить его.

Для сводаобрушения в емкостях с цементом разработан и испытан воздушно-реактивный побудитель. Он состоит из резиноканевого шланга длиной до 2,5 м и диаметром 23...38 мм, на его конце закреплено алюминиевое колено с соплом (рис.2.95,д). Побудитель устанавливают в полости бункера или силоса так, чтобы шланг находился в вертикальном положении. При прохождении сжатого воздуха через шланг, колено и сопло возникают реактивные силы, которые заставляют побудитель двигаться хаотично. Таким образом, сводаобрушитель воздействует на свод посредством хаотических движений и воздушной струи, выходящей из сопла.

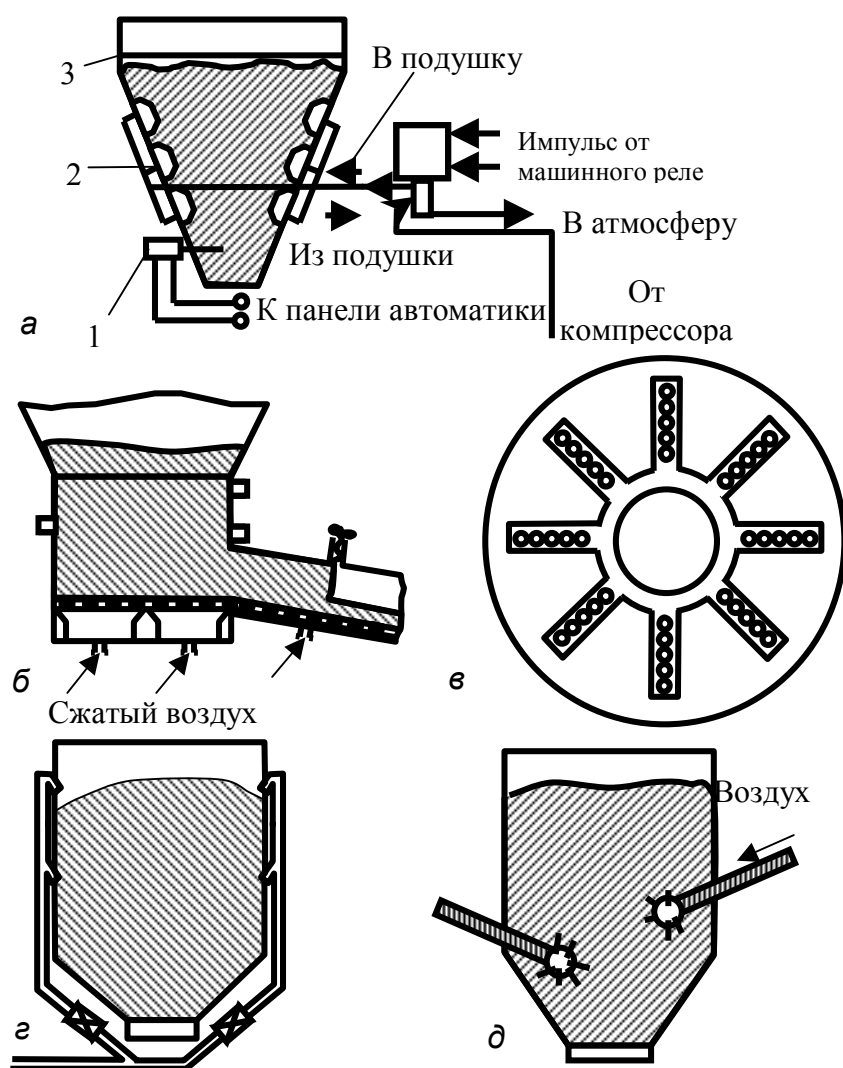


Рис.2.95. Пневматические побудители:  
а - схема автоматизации управления пневматическими подушками; 1 – указатель зависания материала; 2 – подушка; 3 – бункер; 4 – электропневматический вентиль; б – бункер с пористым днищем; в – вариант размещения аэрокоробок на дне бункера; г – «стреляющие сопла»; д – реактивный шланг

Несмотря на высокую эффективность, использование сжатого

воздуха необходимой влажности и чистоты требует значительных затрат, в некоторых случаях превышающих эффективность процесса сводоразрушения. Постоянный контроль за работой пневмосистемы ощутимо снижает ее привлекательность для реализации в промышленности и на транспорте.

**Вибрационные побудители.** С целью улучшения текучести сыпучих грузов практикуется применение вибрационных устройств, устанавливаемых в местах предполагаемого сводообразования. Принцип действия вибрационных побудителей основан на том, что под действием вибрации резко меняются физико-механические свойства груза, например, коэффициент трения песка по стали и коэффициент внутреннего трения снижаются в 40 и более раз.

По применяемой энергии различают следующие виды вибраторов:

- электромеханические, в которых вибрация происходит за счет вращения дебалансов, установленных на валу электродвигателя;
- электромагнитные, в которых колебания совершаются с помощью электромагнитов постоянного и переменного тока;
- пневматические, работающие при помощи сжатого воздуха.

Для обрушения сводов с помощью вибраторов необходимо знать величину распространения колебаний, которая зависит от конструкции емкости и физико-механических свойств его содержимого. Интенсивность колебаний в материале убывает относительно быстро. Исследования показывают, что прямолинейные колебания от электромагнитных вибраторов распространяются в песке на расстояние до 1,5 м.

Вибрационные устройства выполняются с передачей вибрации на стенки емкости и с вибрирующим рабочим органом, находящимся в толще материала. Из-за разности скоростей движения частиц по сечению емкости при открытом выпускном отверстии вибрация всей емкости может привести к значительному уплотнению материала. Поэтому метод разрушения сводов с использованием вибраторов, накладываемых на стенки бункера может быть рекомендован только для бункеров малой емкости с небольшой толщиной стенок.

Для ликвидации сводообразований в бункерах используется механизм, основанный на силовом воздействии на зависший сыпучий груз с помощью колебательных движений щитов, смонтированных на противоположных стенках выпускной воронки бункера (рис.2.96,а). Щиты приводятся в движение от гидроцилиндров. Подача масла в гидроцилиндры осуществляется от насоса производительностью 250 л/мин при рабочем давлении 25 кг/см<sup>2</sup>. Усилие, развиваемое щитом при этом давлении, равно 15 т. Амплитуда перемещения щита составляет 200 мм. Система работает таким образом, что когда один щит движется вверх, второй опускается вниз. Импульсы для переключения электромагнитного золотника посылает датчик импульсов. Время цикла работы сводообрушителя регулируется в пределах 0,4...2,7

мин.

Удары, наносимые по стенке емкости с помощью электромагнита, изменяют пористость мелкофракционных грузов и его состояние, способствуя его истечению. Монтировать вибраторы рекомендуется в местах критического сводообразования на наружных стенках емкости (для бункеров, изготовленных из металла) или на так называемой «ложной стенке», представляющей собой металлический лист, размещенный в полости емкости и связанный с вибратором, находящимся снаружи, посредством штока (для бункеров, изготовленных из бетона).

Длительная эксплуатация емкостей для сыпучих грузов показала, что в материалах с различными физико-механическими свойствами места образования сводов находятся в емкости на разной высоте. Установка вибратора в определенном месте ограничивает номенклатуру грузов, на которых его применение эффективно. Также необходимо учитывать вероятность уплотнения трудносыпучих материалов под действием вибрации, причем горизонтальная вибрация придает большее уплотнение, чем вертикальная. Избежать этого процесса можно, задав механизму режим работы с большой амплитудой и низкой частотой. В бункерах большой емкости не рекомендуется применение мощных вибраторов, т. к. это может привести к разрушению емкости и/или фундамента. Известно также, что вибрация оказывает негативное влияние на организм человека.

Мембранный вибрационный сводообрушитель (фирмы «Синекс», Англия) используют для предупреждения сводообразования трудносыпучих грузов (рис. 2.96,б). Мембрана в виде металлической пластины, на верхней части которой установлен вибровозбудитель, находится внутри бункера. Пластина через резиновые амортизаторы крепится к балке, расположенной на бункере. При его включении пластина совершает колебания, разрушая образовавшийся свод. Во время выпуска материала из бункера вибровозбудитель нельзя включать, иначе пластина может воспрепятствовать истечению.

Определенный интерес вызывает решетка, изготовленная из вибростойкой стали, подвешенная на тросах внутри бункера и имеющая связь с вибратором (рис.2.96,в). От вибратора, вынесенного за пределы бункера, решетка получает колебания через штангу. Вибрируя, она придает подвижность сыпучему грузу, находящемуся в бункере. Значительная нагрузка на решетку, возникающая в бункерах большой емкости, увеличивает энергоемкость процесса и способствует интенсивному ее износу.

На рис.2.96,г представлен вибрационный сводообрушитель с активным органом в виде штанги, оснащенной радиальными ворошителями. Штанга может перемещаться в вертикальной плоскости, разрушая сыпучий материал во всей полости бункера.

Большая энергоемкость устройств, работающих в слое материа-



ла, ограничивает их широкое распространение.

Известны случаи применения звукового генератора для обрушения сводов. Излучая звуковые волны, генератор заставляет колебаться частицы сыпучего материала.

Колокольный вибратор (рис.2.96,д), подвешенный на стальном тросу внутри полости бункера, предупреждает образование сводов. Использование вибраторов этого типа в емкостях большой высоты может привести к аварии вследствие обрыва троса.

Необходимым условием выпуска груза из емкости, оснащенной вибратором, является его постоянное функционирование. Вибропобудители следует располагать только в зоне эффективного движения материала, так как вибрация неподвижного материала приведет к его уплотнению. В отключенном состоянии вибратор становится опорой для образования сводов. Применение таких устройств, как вибраторы, пневматические «стреляющие» сопла и т. п., неблагоприятно отражается на прочности конструкций хранилищ и может преждевременно вывести их из строя. Большинство побудительных устройств (виброполосы, виброштанги с поперечинами, механические ворошители вертикального и горизонтального типов) эффективны лишь в неглубоких емкостях высотой 2...6 м.

В настоящее время сложилось два основных направления для обеспечения бесперебойной выгрузки сыпучих грузов из емкостей:

1. Стремление предотвратить возникновение сводов, что мо-

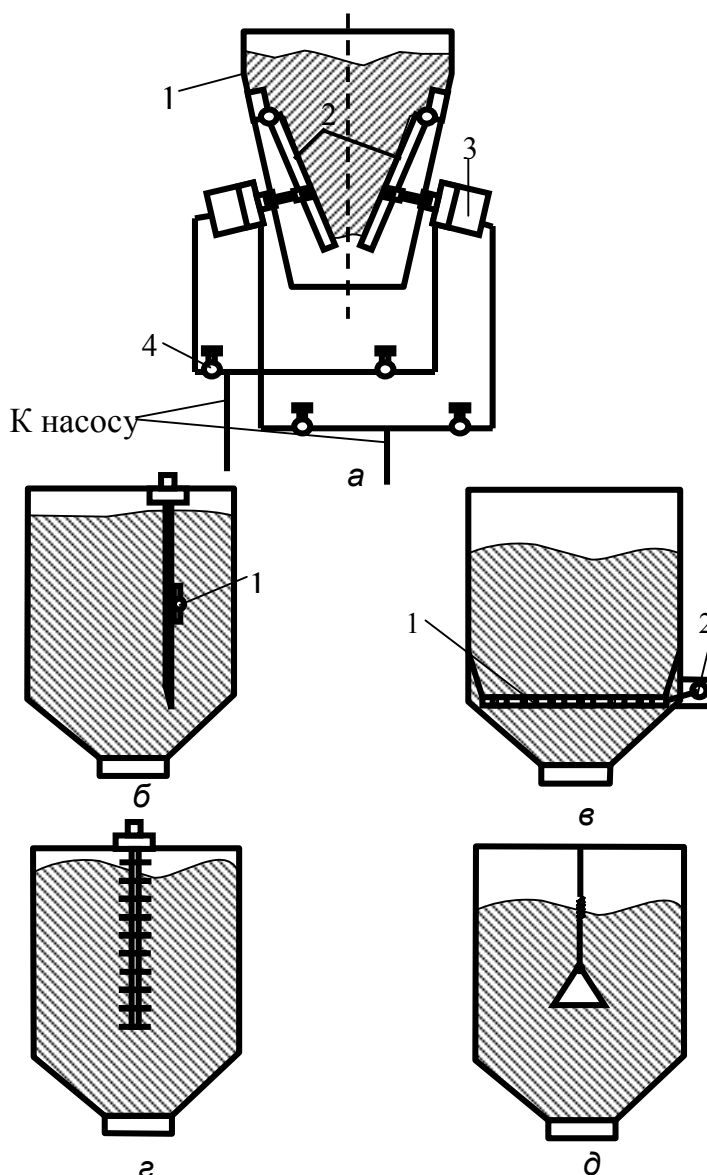


Рис.2.96. Вибрационные побудители:  
а– побудитель в виде гидравлических виброштангов; 1– бункер; 2– щит; 3– гидроцилиндр; 4– запорное устройство;  
б– мембранный сводообрушитель; 1– виброгенератор; в- побудитель в виде вибрационной решетки; 1- решетка; 2- виброгенератор; г– вибрационный побудитель в виде штанги с радиальными ворошителями;  
д– колокольный вибропобудитель

жет быть достигнуто правильным выбором параметров емкости.

2. Разрушение образовавшихся сводов с применением различных сводообрушающих устройств.

Оба направления актуальны, однако наиболее прогрессивно первое направление, так как лучше предотвратить сводообразование, чем бороться с ним. Выбор средств для разрушения образовавшихся в емкости сводов зависит от физико-механических свойств материала и параметров самой емкости.

## **2.8. Стабилизаторы истечения**

Изучение технологического процесса хранения и выпуска труднотекучих грузов позволило сделать вывод о том, что для увеличения срока их хранения необходимо уменьшить уплотняемость в полости емкости и подавить процессы образования сводов.

Пассивный способ активации истечения заключается в обеспечении неизменного давления в нижних слоях содержимого емкости.

Для предупреждения образования сводов в бункерах необходимо устранять устойчивое равновесие горизонтальных и вертикальных сил. Это условие считается основополагающим для любого бункерного хранилища. Широкое распространение в практике получили разгрузочные устройства, в которых снятие нагрузок внутри массы материала осуществляется за счёт установки стабилизаторов давления<sup>3</sup>. Они располагаются в полости бункера и переносят существенную массу засыпанного груза на его стенки. В результате снижается действие на элементы конструкции, расположенные в нижней части емкости.

Необходимым и достаточно важным инструментом создания перспективных технических решений и выбора оптимальных параметров конструктивных схем стабилизаторов давления является анализ и разработка вытекающей из него классификации существующих конструкций.

Анализ литературных источников позволил предложить классификацию стабилизаторов давления для сыпучих грузов (рис.2.97).

В соответствии с ней стабилизирующие устройства разделяются по следующим отличительным признакам:

- по назначению;
- по расположению в полости бункера;
- по конструктивному оформлению.

Одним из способов снижения давления в полости хранилища является нанесение на внутреннюю поверхность стен покрытий, обладающих различным коэффициентом трения.

Этот способ нашёл применение в практике строительства бункерных конструкций. Учеными из ГосНИИХПом были разработаны и

---

<sup>3</sup> Под стабилизатором давления понимается любой механизм, устройство или способ для снижения давления в полости емкости

внедрены на ряде предприятий хлебопекарной отрасли спиральные системы (рис.2.98), которые позволили изменить схемы подачи сыпучих материалов со складов хранения, улучшить качество разгрузки за счёт организации распределения сил трения по площади внутренней поверхности бункера.

Система снятия нагрузок выполнена в виде «ступенчатой» емкости, внутренняя боковая поверхность которой включает комбинацию поверхностей «ступеней» с различной степенью шероховатости. Более гладкие поверхности расположены по линии, имеющей форму убывающей спирали, направленной к центру бункера. Снятие нагрузок внутри столба за счет взаимного расположения полос создает условия для свободной выгрузки материала без образования сводов.

С увеличением поперечного сечения бункеров эффект от этих покрытий снижается. Снятие нагрузки от насыпного груза происходит лишь в пристенной зоне, тогда как центральный столб продолжает воздействовать на зону выпускного отверстия. Также не решается проблема сегрегации материала. Кроме того, возникает сложность в изготовлении конструкции, связанная с трудоемкостью процесса нанесения покрытия.

Использование ограждающих конструкций различной конфигурации позволяет влиять на интенсивность истечения. На рис.2.1.ж, представленном в разделе 2.3, предложен бункер, в котором истечение груза происходит по всему сечению. В приведенной конструкции уменьшается полезный объем емкости, изготовление конструкции



Рис.2.97. Классификация стабилизаторов давления

связано со значительной сложностью. Кроме этого на выступающих

элементах возможно наличие остатков груза после выгрузки. В зоне наименьшего сечения можно прогнозировать образование сводов.

С целью надежного выпуска зерновых грузов и продуктов перемола из бункеров в ФРГ применяется емкость с разгрузочным устройством, состоящая из сужающегося бункера, у которого угол наклона стенок постепенно увеличивается (рис.2.99,а). Для разуплотнения материала в зоне выпускного отверстия предусматривается установка статического элемента в виде конуса, переходящего в цилиндр. Большая металлоемкость, сложность изготовления, а также проблема очистки стен от налипшего груза не позволяют широко использовать данное устройство.

Бункер с наклонными перегородками (рис.2.99,б) позволяет обеспечить более длительное хранение сыпучих грузов. Достигается это за счёт того, что столб груза не оказывает давления на нижележащие слои. Однако при длительном хранении трудносыпучих материалов эффективность этой разработки снижается.

Коническая труба, расположенная в боковой стенке бункера, обеспечивает беспрепятственный выпуск сыпучего груза (рис.2.99,в). Диаметр трубы ближе к выпускному отверстию увеличивается, и груз истекает в разуплотнённом состоянии. Подобно этой конструкции в Чехословакии применяются бункера для хранения сыпучих грузов с вертикальной трубой, установленной в центральной части (рис.2.99,г). Ширина щели в стенке трубы меньше ее внутреннего диаметра. В результате при истечении содержимого через трубу его трение значительно снижается. Должного применения эти конструкции не нашли из-за затруднений, вызванных при очистке выгрузных элементов.

С целью оптимизации процесса выпуска сыпучих грузов германская фирма «Миаг» рекомендует применять силосы, конфигурация которых способствует изменению направления движения потока груза (см. рис.2.1.г, раздел 2.3).

Зарубежными исследователями была доказана эффективность использования рассекателей потока. Установка их в месте загрузки в емкость или расположение над выпускным отверстием позволяет добиваться положительных результатов. Кроме того, использование рассекателей потока при загрузке бункеров позволяет произвести равномерное заполнение емкости.

К простейшим стабилизаторам давления следует отнести горизонтальную пластину (рис.2.100,а), помещенную в центре выпускной воронки бункера. Она служит опорой для груза, лежащего над ней. При заполнении пустого бункера пластина защищает питатель или затвор в выпускном отверстии от динамического воздействия свободнопадающего груза. Кроме этого установка горизонтальных пластин позволяет увеличить активный объём груза, приходящего в движение после открытия затвора. Одним из недостатков использования пластины над выпускным отверстием является снижение полезного сече-

ния полости бункера. Также отсутствует возможность самоочистки данного элемента.

На практике применяются рассекатели потока различных форм. Часто встречающиеся рассекатели имеют форму конуса, шара или клина. Рассекатель потока может быть выполнен в виде соединенных основаниями конусов (рис.2.100,б). В общем случае рассекатель потока характеризуется таким же углом наклона, что и воронка бункера. Рассекатель потока может иметь различную форму поверхности. Например, в Германии при хранении связных и склонных к уплотнению грузов используют установленный по оси емкости элемент, который имеет ступенчатую форму (рис.2.100,в).

Встраиваемые элементы подобного типа наряду со сводообразованием способствуют возникновению висячих перемычек. Их образование может грозить разрушением элементов бункерных конструкций. Также уменьшается площадь сечения над выпускной воронкой, что препятствует истечению. Определенные сложности возникают с

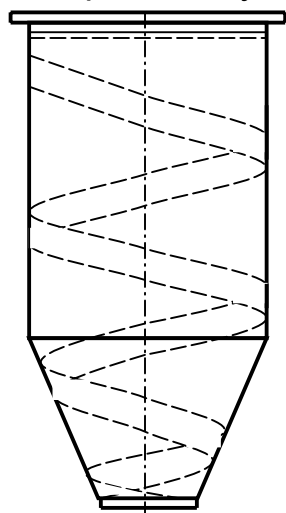


Рис.2.98. Бункер с системой перераспределения нагрузок

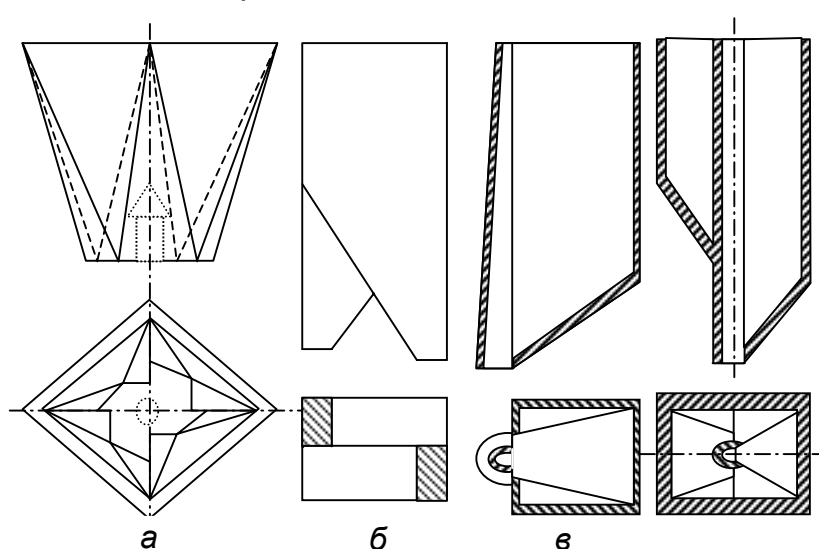


Рис.2.99. Конструктивные схемы бункеров с различными конфигурациями ограждающих конструкций

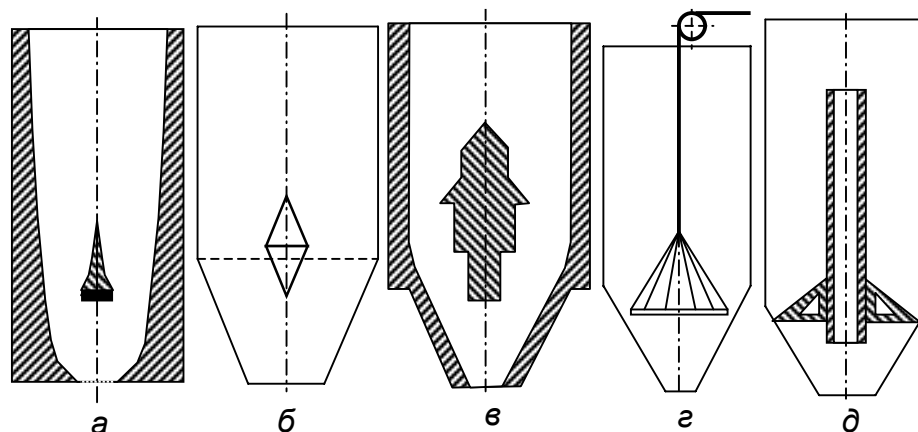


Рис.2.100. Конструктивные схемы бункеров с рассекателями потока

установкой их по центру бункера. В противном случае любое смеще-

ние негативно скажется при выпуске хранящегося груза.

Возможность возвратно-поступательного перемещения рассека- телей потока дает возможность использовать их для хранения грузов с широкой номенклатурой связности. Примером использования раз- личного заглубления элементов может служить бункер, имеющий внутренний, коаксиальный корпусу конус, который может располагать- ся в любом месте емкости благодаря удерживающему тросу (рис.2.100,з). При загрузке материала с большей плотностью, глубина внедрения конуса увеличивается, и наоборот. При эксплуатации дан- ного устройства возможен разрыв каната из-за больших нагрузок, возникающих в бункере. Засыпка емкости с использованием конуса на тросу может вызвать его вращение. Следствием этого окажется рас- плетка каната, что приведет к потере прочности.

Для предотвращения расслаивания многокомпонентного сыпуче- го груза на фракции в процессе его выгрузки практикуют установку трубы в полости силоса, позволяющей уменьшить трение груза о стенки емкости (рис.2.100,д). Вместе с тем возникает проблема очистки трубы, связанная с большими размерами последней.

Поддерживать постоянное давление в нижних слоях содержи- мо можно благодаря вертикальному разделению емкости, а также ус- тановке горизонтальных «прерывателей» давления.

В бункере, представленном на рис.2.101,а, происходит снижение давления сжатия за счет уменьшения площади поперечного сечения емкости вертикальными перегородками. Однако при этом снижается полезный объем бункера и ухудшается пропускная способность.

Германская фирма «Швебише Хюттенверке» (СХВ) предлагает использовать бункер (рис.2.101,б) со встроенными клиновидными элементами, расположенными ярусно по всей высоте бункера. За счёт переноса существенной массы части столба сыпучего груза на стенки хранилища происходит снятие нагрузок, уменьшается внутреннее давление, а вместе с ним и уплотнение массы. Выгрузка разуплотнен-

ного груза производится рото- ром, установленным в зоне вы- пускного отверстия. Наряду с этим возникает сложность уда- ления остатков груза после вы- грузки со статических элементов. Также стабилизирующие элемен- ты уменьшают вместимость бун- кера.

В США успешно применяет- ся секционный бункер (рис.2.101,в) для свободного по- тока сыпучего груза. Состоит он

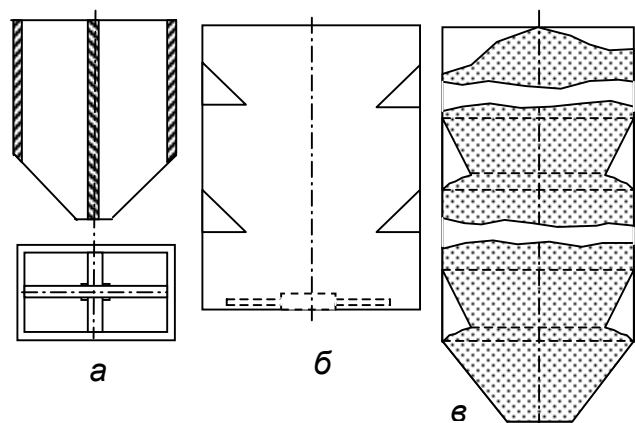


Рис.2.101. Конструктивные схемы бунке- ров стабилизаторами давления

из нескольких полых бункерных сегментов, имеющих отверстие с

замкнутым поперечным сечением. Отверстие в днище второй секции меньше, чем отверстие верхней части первой секции и т.д. Такие разгружающие элементы могут сами становиться очагами возникновения сводов, а механизм для их разрушения отсутствует.

Как уже упоминалось в разделе 2.3 (см. рис.2.3) профильные стенки емкости также стабилизируют истечение изменчивостью коэффициентов трения.

Рассмотрение различных устройств, использующихся для активации процесса выпуска сыпучих грузов из бункерных хранилищ, позволило сделать вывод о том, что потенциал совершенствования с точки зрения снижения давления не исчерпан и требует серьезного подхода к индивидуальным разработкам.

## **2.9. Элементы расчетов стационарных емкостей**

### **2.9.1. Определение геометрических параметров емкостей**

Проектирование емкостей бункерно-силосного типа состоит в определении их геометрических размеров, отвечающих ряду условий. Этими условиями являются:

- соответствие геометрической вместимости бункера требуемому объему размещаемого груза;
- отсутствие торможения частиц груза на наклонных стенках бункера;
- беспрепятственный выпуск груза через разгрузочное отверстие (отсутствие сводообразования над разгрузочным отверстием);
- обеспечение требуемой производительности по выдаче груза из бункера.

Основные геометрические параметры бункеров приведены на рис.2.102.

Вместимость прямоугольного бункера  $V_6$ , состоящего из верхней части в форме параллелепипеда и нижней части в виде усеченной пирамиды, определяется по формуле

$$V_6 = a \cdot b \cdot h_2 + \frac{1}{3} h_1 (a \cdot b + \sqrt{a \cdot b \cdot A \cdot B} + A \cdot B), \quad (2.18)$$

где  $A, B$  - размеры выпускного отверстия бункера, м.

Объем бункера цилиндрической формы, состоящего из цилиндра в верхней части и усеченного конуса в нижней, находим по следующей формуле:

$$V_{\phi} = \left(\frac{1}{3}\pi h_1(R_1^2 + R_1 R_2 + R_2^2)\right) + \pi R_1^2 h_1, \quad (2.19)$$

где  $R_1$  – радиус цилиндрической части емкости, м;

$R_2$  – радиус выпускного отверстия, м.

Геометрические размеры бункера принимаются конструктивно, исходя из места его расположения на складе и выполняемых функций.

Углы наклона боковых стенок бункера  $\alpha_c$ ,  $\alpha_{c1}$  и ребра  $\alpha_p$  должны быть проверены на отсутствие торможения груза:

$$\operatorname{tg} \alpha_c \geq f; \quad (2.20)$$

$$\operatorname{tg} \alpha_p \geq f; \quad (2.21)$$

$$\operatorname{tg} \alpha_p = \frac{h_1}{0,5(a - A)}; \quad (2.22)$$

$$\operatorname{tg} \alpha_p = \frac{1}{\sqrt{\operatorname{ctg}^2 \alpha_c + \operatorname{ctg}^2 \alpha_{c1}}}, \quad (2.23)$$

где  $f$  – коэффициент трения груза по стенкам бункера; при движении груза по металлической поверхности рекомендуется принимать: для угля, щебня, гравия, глины, земли  $f=0,75\ldots 0,80$ ; для мела, цемента, муки, зерна, земли  $f=0,60\ldots 0,75$ ; при движении грузов по бетонным стенкам бункеров указанные величины коэффициентов трения следует увеличивать на 15...20 % .

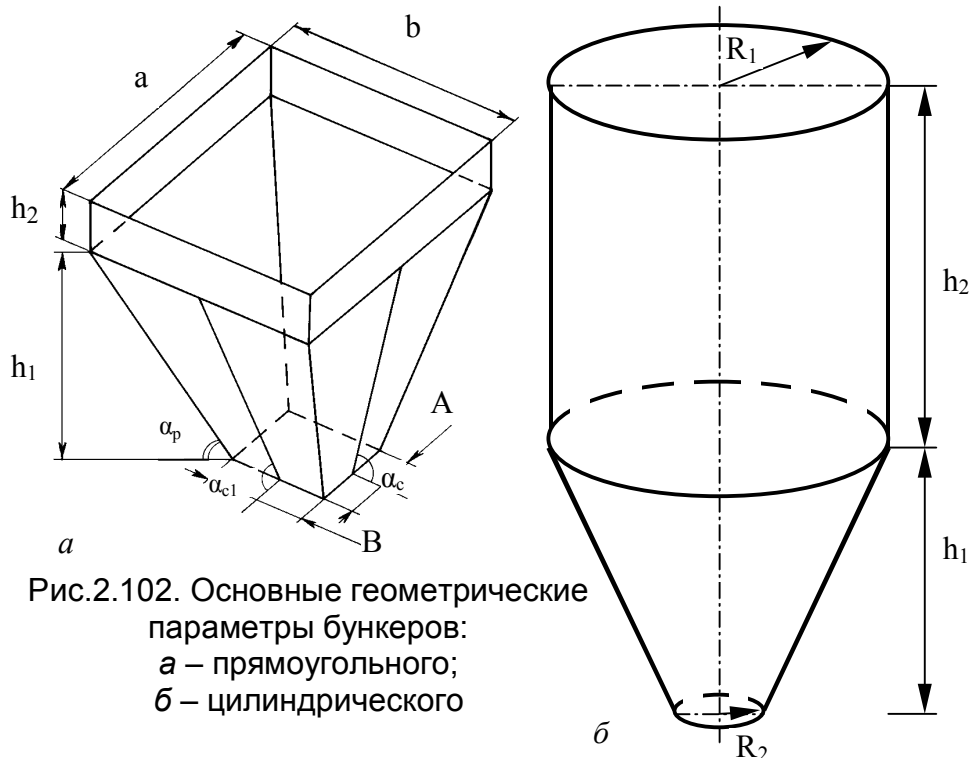


Рис.2.102. Основные геометрические параметры бункеров:  
а – прямоугольного;  
б – цилиндрического



Размеры выпускного отверстия бункера  $A$  и  $B$  должны быть достаточными для обеспечения требуемой пропускной способности (производительности). Вместе с тем они должны исключать сводообразование (зависание) груза в бункере. Во избежание опасности резкого обрушения больших масс груза через отверстия, а также утяжеления затворов выпускные отверстия не должны быть излишне большими.

Для кусковых сыпучих грузов с типичной крупностью кусков  $a_{гр}$  наименьший размер выпускного отверстия бункера прямоугольной формы составит:

$$A \geq (4,0 \dots 5,5) a_{гр}. \quad (2.24)$$

Для мелкокусовых и порошкообразных грузов размеры выпускных отверстий принимают в зависимости от пропускной способности (производительности) бункера, но не менее 300...400 мм (обычно 500...600 мм).

Одним из наиболее важных параметров бункеров является пропускная способность (или производительность), которую можно рассчитать по формуле:

$$Q_б = 3600 \cdot v_{ист} \cdot \gamma \cdot w_p, \text{ т/ч}, \quad (2.25)$$

где  $v_{ист}$  - скорость истечения сыпучего груза из выпускного отверстия бункера, м/с;

$\gamma$  - объемная плотность груза, т/м<sup>3</sup>;

$w_p$  - расчетная площадь выпускного отверстия бункера, м<sup>2</sup>; для прямоугольного отверстия  $w_p = (A - a)(B - a)$ , для круглого отверстия  $w_p = 0,25 \cdot \pi \cdot (D - a)^2$ .

Скорость истечения сыпучего груза из выпускного отверстия бункера определяется по эмпирической зависимости, м/с:

$$v_{ист} = \lambda \cdot \sqrt{3,2 \cdot g \cdot R}, \quad (2.26)$$

где  $\lambda$  - коэффициент истечения; для сухих, хорошосыпучих грузов  $\lambda=0,6$ ; для кусковых материалов  $\lambda=0,4$ ; для пылевидных и порошкообразных  $\lambda=0,22$ ;

$g$  - ускорение свободного падения, м/с<sup>2</sup>;

$R_e$  - гидравлический радиус, м, определяемый по формуле

$$R_r = \frac{w_p}{P_0}, \quad (2.27)$$

где  $P_0$  - периметр выпускного отверстия бункера, м;  $P_0 = 2(A + B)$ .

## 2.9.2. Определение производительности питателя при работе бункерного устройства в режиме дозирования

Дозирование сыпучих грузов с заданной точностью происходит при выполнении следующих условий: подача дозируемого материала должна осуществляться только рабочими органами, сводообрушителем следует поддерживать материал в сыпучем состоянии и обеспечивать его размещение на косвенной заслонке под углом естественного откоса. В этом случае производительность рабочего органа на компонентах комбикорма составит:

$$Q_{p.o.} = V_k n \gamma, \quad (2.28)$$

где  $V_k$  - объем кольца треугольного сечения,  $\text{м}^3$ ;  
 $n$  - число оборотов, совершаемых рабочим органом,  $\text{с}^{-1}$ ;  
 $\gamma$  - насыпная плотность,  $\text{кг}/\text{м}^3$ .

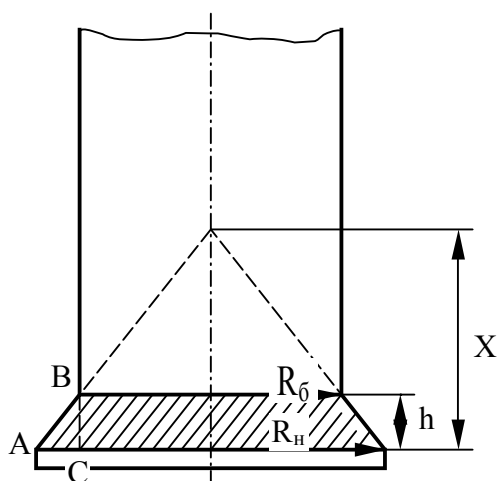


Рис.2.103. Схема к определению производительности в режиме дозатора

Определение производительности рабочего органа сводится к нахождению объема кольца треугольного сечения. Объем кольца сечением ABC (рис.2.103) можно найти как разность объема усеченного конуса, у которого радиусы оснований  $R_n$  и  $R_b$ , и цилиндра радиусом  $R_b$ , и высотой  $h$ . Для нахождения объема усеченного конуса дополним его до полного. Пусть его высота будет –  $x$ , тогда объем усеченного конуса равен разности объемов двух полных конусов: одного с радиусом основания  $R_n$  и высотой  $x$ , другого с радиусом основания  $R_b$  и высотой  $(x - h)$ .

Из подобия конусов находим  $x$ :

$$\frac{x}{x - h} = \frac{R_n}{R_b}, \quad x = \frac{h R_n}{R_n - R_b}.$$

Объем усеченного конуса равен

$$V_{кон.} = \frac{1}{3} \left[ \pi R_n^2 \frac{h R_n}{R_n - R_b} - \pi R_b^2 \left( \frac{h R_n}{R_n - R_b} - h \right) \right] = \frac{1}{3} \pi h (R_n^2 + R_n R_b + R_b^2). \quad (2.29)$$

Объем кольца найдем по следующей формуле:

$$V_{кольца} = V_{кон.} - V_{цил.} \quad (2.30)$$

Объем цилиндра равен

$$V_{цил.} = \pi R_b^2 h. \quad (2.31)$$

Производительность цилиндрического бункерного устройства с побудителем типа лопастного колеса на инертных материалах в режиме дозаторов определится по формуле

$$Q_{б.у.} = \left( \left[ \frac{1}{3} \pi h (R_n^2 + R_n R_o + R_o^2) \right] - \pi R_o^2 h \right) n c \rho_0, \quad (2.32)$$

где  $c$  – число рабочих органов на лопастном колесе (подвижном диске).

### 2.9.3. Определение скорости истечения материалов из бокового щелевого отверстия

Исходя из условия, что максимальная скорость движения материала соответствует площади выпускного отверстия, равной площади сечения бункера формула будет иметь вид:

$$v = v_{\max} [1 - e^{-A(h-h_{кр})}], \quad (2.33)$$

где  $v_{\max}$  – максимальная скорость истечения;

$h_{кр}$  – высота подъема кольцевого затвора, соответствующая  $S_{кр}$ .

Средняя скорость истечения определяется при условии  $h \geq h_{кр}$ :

$$A = \frac{\ln(1 - \frac{v_1}{v_{\max}})}{h_{кр} - h_1}. \quad (2.34)$$

### 2.9.4. Расчет пропускной способности бункера с донным щелевым отверстием

Расчет пропускной способности бункера производим из предположения, что сводообрушающее устройство обеспечивает непрерывное истечение сыпучего материала из выпускного отверстия. В этом случае можно также воспользоваться формулой (2.25).

Скорость истечения сыпучего материала зависит от вида истечения и от ширины щели. Если рассматривать скорость истечения как функцию от ширины щели, то нужно выделить критические точки, в которых происходит существенное изменение характера истечения. Это связано с явлением образования динамических и статических сводов, устойчивость которых увеличивается с уменьшением ширины щели.

При нормальном истечении выделяют критическое значение ширины щели:

$$b_n = 2\tau_0 / \gamma_m g m_i, \quad (2.35)$$

где  $\tau_0$  – начальное сопротивление сдвигу, Па;

$g$  – ускорение свободного падения,  $m/s^2$ ;

$\gamma_m$  – массовая плотность сыпучего материала,  $kg/m^3$ ;

$m_i$  – коэффициент подвижности.

Следующим критическим значением является ширина щели, при

которой возникают статически устойчивые своды:

$$v_n = 2t_0(1 + \sin\varphi) / \gamma_M g, \quad (2.36)$$

где  $\varphi$  - угол внутреннего трения.

При ширине щели, превышающей критическую,  $v \geq v_n$ , скорость истечения определяется по формуле

$$v_{и} = \lambda \sqrt{2g (0,8 v_{щ} - t_0 / \gamma_M g f_{вн})}, \quad (2.37)$$

где  $\lambda$  - коэффициент истечения сыпучего материала;

$f_{вн}$  - коэффициент внутреннего трения.

При  $v_{св} < v < v_n$

$$v_{и} = \lambda \sqrt{2g (1,05 v_{щ} - 3,4 t_0 / \gamma_M g f_{вн})}. \quad (2.38)$$

При  $v_{кр} < v < v_{св}$  скорость истечения нельзя выразить формулой типа (2.37) или (2.38), т.к. процесс истечения сыпучего материала в этом случае не стабилизируется, а происходит с отрицательным ускорением. Скорость истечения при этом падает от некоторого начального значения до нулевого. В этот момент образуется статически устойчивый свод. Рассматриваемый диапазон изменения ширины щели требует для обеспечения бесперебойной работы бункера применения сводообрушающего устройства. В этом случае скорость истечения зависит от скорости перемещения сводообрушающего органа.

## Контрольные вопросы по 2 главе

1. По каким признакам отличаются бункерно-силосные емкости?
2. Какие бывают разновидности прямоугольных бункеров?
3. Чем характеризуются наилучшие конструкции прямоугольных бункеров?
4. В чем заключаются особенности цилиндрических емкостей для сыпучих грузов?
5. Какими позитивными и негативными качествами обладают бункера с криволинейными стенками?
6. Из каких материалов изготавливают ограждающие конструкции бункерно-силосных емкостей?
7. Почему предпочтение отдается тому или иному виду ограждающих конструкций бункеров?
8. Какие бывают типы автомобилеразгрузчиков?
9. Какие технологические операции выполняются при разгрузке автомобилей?
10. Какие имеются разновидности приемных устройств для специализированных вагонов?
11. В чем заключаются технологические решения для приемных бункеров?
12. Чем обуславливаются недостатки технологических схем подрельсовых бункеров?

13. От каких показателей зависит производительность разгрузки специализированных вагонов для сыпучих грузов?
14. Чем определяется высота повышенного пути для разгрузки вагонов-хопперов?
15. Какой формы бывают силоса, в чем их отличие друг от друга?
16. Какие особенности имеют различные схемы расположения силосов?
17. Чем различаются типовые проекты сборных силосов?
18. Каковы зарубежные тенденции в возведении силосов?
19. Металлические силоса обеспечивают выполнение каких технологических операций?
20. Каким образом производится борьба с пылеобразованием при использовании отпускных труб?
21. В чем заключается технологический процесс загрузки пылевидных грузов в автомобили?
22. При помощи каких устройств загружают железнодорожный подвижной состав?
23. В чем заключаются недостатки пневматических и аэрационных устройств?
24. Каково назначение затворов в бункерах?
25. Какие бывают типы затворов?
26. Какие типы затворов применяются для пылепроводов?
27. По каким признакам подразделяются дозаторы сыпучих грузов?
28. Из каких операций состоит технологический процесс загрузки подвижного состава насыпными грузами?
29. Какие имеются разновидности загрузочных устройств?
30. В чем заключаются отличия в способах загрузки сыпучих грузов в емкости?
31. Какие бывают типы питающих устройств и их особенности?
32. Какие составляющие входят в расчетную формулу производительности ленточных питателей?
33. Каковы основные требования, предъявляемые к питателям?
34. Для чего предназначены побудители истечения сыпучих грузов?
35. По каким признакам разделяются побудители истечения?
36. В чем заключаются недостатки применения побуждающих истечение механизмов и устройств?
37. Для каких целей используют стабилизаторы истечения?
38. Какими способами производится снижение давления в емкостях для сыпучих грузов?
39. Какие параметры необходимо определить при расчетах стационарных емкостей?
40. Что является наиболее важным из технологических параметров функционирования бункерно-силосных систем?

### 3. НОВЫЕ РАЗРАБОТКИ УСТРОЙСТВ ДЛЯ ХРАНЕНИЯ, ВЫПУСКА СЫПУЧИХ ГРУЗОВ И ОЧИСТКИ ЕМКОСТЕЙ

#### 3.1. Емкости бункерно-силосного типа с боковым щелевым отверстием для выпуска сыпучих грузов

Анализ выпуска сыпучих грузов из бункеров со щелевым выпускным отверстием показал, что форма истечения относится к нормальной форме движения потока со всеми негативными явлениями, возникающими в полости емкости: наличие застойных зон, образование центрального канала и т.п. Использование в рассматриваемых бункерах гравитационного выпуска возможно только на хорошосыпучих грузах. Однако следует отметить, что бункера со щелевыми выпускными отверстиями имеют значительный ресурс совершенствования, который путем сочетания гравитационного и принудительного выноса из полости емкости сыпучего груза позволяет эффективно функционировать им на среднесыпучих и трудносыпучих грузах. Наряду с этим может быть увеличен полезный объем емкости за счет конструктивного исполнения ее ограждений вертикальными стенками, вместо установленных под углом. Некоторые варианты оснащения бункеров со щелевыми выпускными отверстиями питателями с точной траекторией движения рабочих органов могут повысить эффективность работы бункеров на трудносыпучих грузах. Конструктивное исполнение щелевых бункеров с односторонним и двусторонним истечением ограничено прямоугольной формой с многократным превышением длины над шириной, что сдерживает их применение из-за сложности сочетания с другим оборудованием.

Предложенная нами конструктивно-технологическая схема боковой разгрузки бункера по его периметру еще более усилила его преимущества перед известными схемами (рис. 3.1). Подробное рассмотрение этой схемы истечения выявило следующее.

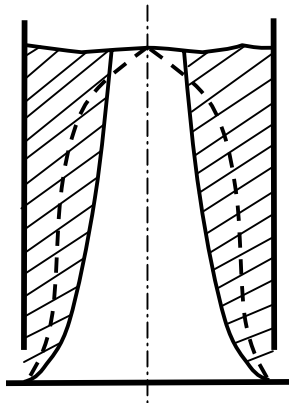


Рис. 3.1. Схема истечения из бункера со щелевым отверстием по периметру дна

В отличие от движения к выпускному отверстию по центральному каналу, в предлагаемой схеме сыпучий груз перемещается вдоль ограждающих конструкций по всему их периметру.

В классической схеме истечения движение частиц груза происходит по центральному каналу, ограждающие стенки которого состоят из содержимого бункера и являются частью застойной зоны. Естественно, движение частиц по каналу сопровождается трением о его стенки, т.е. внутренним трением.

Застойной зоной в предлагаемой схеме является центральная часть емкости, а примыкающий к ее ограждающим конструкциям сыпучий

груз увлекается движением за счет сил тяжести. С уменьшением насыпи сыпучего груза снижается объем застойной зоны, уменьшающейся в процессе выпуска до размеров конуса с углом, приблизительно вдвое большим угла естественного откоса груза. Вид истечения в предлагаемой схеме можно отнести к нормальному. Однако поток сыпучего груза ограничен с одной стороны стенками хранилища. Это существенно расширяет возможности гравитационного выпуска. Поток сыпучего груза не испытывает сжатия благодаря отсутствию сужающей его воронки, что способствует стабилизации процесса истечения вследствие большей подвижности частиц в зоне выпуска. Следует отметить высокую технологическую надежность выпуска за счет большего объема одновременно движущегося сыпучего груза по периметру емкости. Локальное образование сводов в этом случае не может дестабилизировать истечение по причине продолжающегося движения соседних зон выпуска, которые разрушают образующиеся своды выносом частиц содержимого бункера из них.

Оснащение бункера со щелевым выгрузным отверстием затвором по периметру его дна позволяет существенно расширить его функциональные возможности и обеспечить соотношение площади выпускного отверстия и сечения бункера вплоть до 1, чего невозможно достичь другими конструкциями хранилищ. Использование затвора по периметру бункера открывает новые возможности по восстановлению сыпучести слежавшегося содержимого путем его извлечения с днища с последующим измельчением.

Увеличением диаметра дна по сравнению с диаметром корпуса бункера-силоса (или превышением размеров дна над размерами его корпуса) можно нарастить по его периметру косвенную заслонку, на которой разместить питатель (скребковый для прямоугольного корпуса бункера (рис.3.2), лопастной для цилиндрического (рис.3.3)). Сочетание косвенной заслонки и щелевого выпускного отверстия по периметру дна бункера обеспечивает условие разуплотнения содержимого емкости при истечении его из отверстия. Размещение привода, элементов крепления рабочих органов питателя на косвенной заслонке позволяют обеспечить вынос их из зоны контакта с сыпучим грузом, что повышает надежность

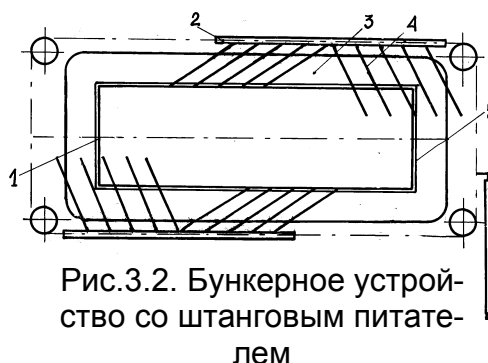


Рис.3.2. Бункерное устройство со штанговым питателем

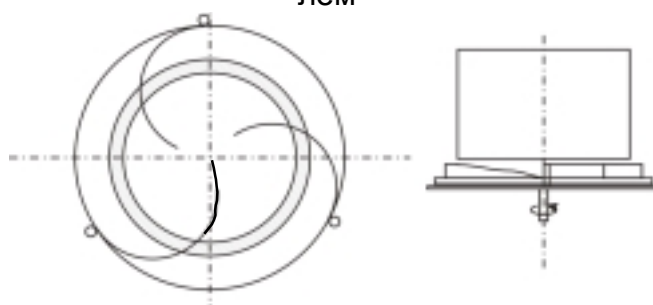


Рис.3.3. Схема цилиндрического бункерного устройства с лопастным питателем

работы бункерно-силосных систем в целом.

Устройство, изображенное на рис. 3.2, состоит из бункера 1, рабочих органов 4, шарнирно закрепленных на штанге 2, выполненных в виде отвалов-скребков, кольцевого затвора 5, предусмотренного по всему периметру бункера, дна бункера 3. У половины отвалов-скребков каждой штанги поворот за счет упоров ограничен в одну сторону, у второй половины - в другую сторону. Это позволяет иметь в полости бункера знакопеременное перемещение груза, способствующее его истечению.

Скребки штанги вводятся через щелевое отверстие в полость бункера. Для оперативного изменения ширины щелевого отверстия предусмотрен кольцевой затвор по всему внешнему периметру бункера, ширина которого превышает максимальную ширину щелевого отверстия. Вертикальное перемещение его осуществляется автономно.

Бункерное устройство работает в следующем порядке. В бункер загружается сыпучий материал (либо он засыпан). Груз, заполняя емкость бункера, вытекает через щелевое отверстие на его дно по всему периметру под углом естественного откоса. После этого устанавливается величина вертикального перемещения кольцевого затвора, который размещается с зазором над торцами отвалов-скребков по периметру бункера. При пуске приводной станции штанга совершает возвратно-поступательное движение с величиной хода, предусмотренной конструкцией привода. Рабочие органы побудителя сбрасывают разуплотненный сыпучий груз со дна «косвенной заслонки» на разгрузочный транспортер, стимулируя дальнейшее истечение его из полости емкости. Направление перемещения груза скребком обусловлено установкой упоров на штанге.

Исследование этого явления выявило, что высота насыпи не влияет на качественные и энергетические показатели функционирования бункерных устройств. Это обусловлено тем, что гравитационное истечение на последней стадии дополнено принудительным. Рабочие органы побудителя работают в благоприятных условиях – вне полости бункера - и счищают разуплотненный сыпучий груз. При этом пусковой и рабочий моменты на приводе побудителя близки по своему значению. Частицы груза опускаются к щелевому отверстию вдоль стенок, а не по центру бункера, с заменой трения внутреннего на внешнее. Сочетанием гравитационного и принудительного выноса сыпучего груза можно добиться оптимального режима функционирования как по качественным, так и по энергетическим показателям.

К существенному критерию оценки бункерно-силосных устройств следует отнести наличие остатков сыпучих грузов в их полости после завершения процесса опорожнения.

На выпуске органических и химических веществ их остаток в бункере может служить очагом гниения, порчи для первых и химической реакции для вторых, особенно при смене груза. Эти явления в конеч-



ном итоге приводят к зарождению и возникновению сводов. Поэтому указанный критерий оценки особенно важен на выпуске компонентов комбикорма. В связи с этим предлагается использовать рабочий орган, доходящий до середины емкости (см. рис.3.3). Исходя из минимальных энергетических затрат на выпуск груза из бункера, высота рабочего органа должна быть переменной (возрастающей от центра к периферии бункера).

Оснащение дна цилиндрического бункера конусом со сводообрушителем значительно расширяет возможности конструктивно-технологической схемы на связных грузах путем селективного включения сводоразрушителя от рабочих органов питателя (рис. 3.4).

Бункерное устройство (см. рис.3.4) состоит из рамы 1, оснащенной неподвижной вертикальной осью 2, на которой в подшипниковом узле размещен вращающийся диск 3 с установленными на нем с определенным шагом рабочими органами 4, дна бункера 5, кольцевого затвора 6, корпуса бункера 7, конуса 8, рыхлителя 9, причем лопасти рыхлителя закреплены на вертикальном валу, проходящем через вершину конуса. В случае вертикального перемещения в крайнее верхнее положение при помощи рычага 10 лопатки рыхлителя выходят из зацепления с рабочими органами питателя. Кольцевой затвор 6 выполнен с возможностью вертикального перемещения по внешнему периметру корпуса бункера на высоту, необходимую для обеспечения заданной производительности, и имеет автономный привод для его перемещения. Рабочие органы 4 вращаются над горизонтальной частью дна бункера и не входят в его полость.

Процесс выгрузки из данного бункерного устройства, заполненного компонентом комбикорма, происходит следующим образом. Кольцевой затвор 6 выставляется на определенную высоту в соответствии с необходимой величиной подачи сыпучих грузов. Во время открытия кольцевого затвора частицы груза высыпаются из щелевого отверстия под углом естественного откоса на горизонтальную часть дна 5, с которой сбрасываются рабочими органами 4.

Образование сводов происходит в зоне выпускного отверстия. Образовавшийся свод опирается на конус и на ограждающие конструкции (стенки емкости). Для того, чтобы лишить свод опоры предлагается использовать кольцевой затвор с возможностью движения его по вертикали.

Одно из таких устройств изображено на рис. 3.5. Оно содержит корпус 1 и днище 2 с установленным на нем сверху конусом 3. Днище 2 емкости расположено со щелевым зазором 4 между ним и конусом. Под днищем 2 емкости расположен диск 5 с лопастями 6, проходящими через зазор в полость емкости. Снаружи корпуса 1 емкости установлен кольцевой затвор 7 с боковым отверстием, перекрываемым боковой заслонкой 8. Диск и затвор снабжены автономно работающими

ми приводами. В днище емкости выполнен вырез 9, расположенный под боковым отверстием кольцевого затвора.

Устройство работает следующим образом. Заполнение емкости трудносыпучим грузом производится при опущенном кольцевом затворе 7 до лопастей 6. При выгрузке с помощью привода поднимают кольцевой затвор 7 и вращением диска 5 осуществляют инициирование высыпания груза из емкости. При этом лопасти 6 разрыхляют слежавшийся груз и выносят его через щелевой зазор за пределы корпуса, а дальше по днищу 2 перемещают в вырез 9, через который он выгружается в транспортное средство.

При образовании в емкости сводов вследствие слеживания груза и дестабилизации его истечения производят дополнительное инициирование высыпания за счет регулируемого открытия заслонки 8 на боковом отверстии в кольцевом затворе 7. При этом разгружаемый из емкости материал, стимулируемый вращающимися лопастями 6, высыпается из отверстия (отверстий) в кольцевом затворе 7 непосредственно в вырез (вырезы) 9 в днище 2 и падает в соответствующее транспортное средство.

Бункеры с такими конструктивными элементами могут работать в режиме загрузчика или дозатора. В последнем случае для расширения диапазона расхода размер щелевого отверстия между дном и кольцевым затвором следует увеличить.

Практика свидетельствует, что даже хорошосыпучие грузы при длительном хранении приобретают определенную слеживаемость. Для восстановления их сыпучести достаточно определенного импульса при выпуске. Как правило, для этой цели используются ударные нагрузки по корпусу бункера или его конусной воронке. Для щадящего режима работы бункеров (силосов) при длительном хранении малосвязных грузов может быть использован рыхлитель на кольцевом затворе (рис. 3.6), который устанавливается в бункере, состоящем из корпуса бункера 1, закрепленного на раме 8, по внешней поверхности которого имеет возможность ограниченного перемещения в вертикальной плоскости кольцевой затвор 2. В нижней части последнего при помощи шариковой обоймы 5 установлено, с возможностью вращения, кольцо 4, с закрепленными на его внутренней поверхности рабочими органами рыхлителя 6. Кольцо 4 имеет автономный привод 3 для вращения независимо от подъема кольцевого затвора, чем достигается селективность рыхления выпускаемого груза.

Процесс разгрузки представленного бункера протекает следующим образом. В соответствии с необходимостью выбирается расход груза в единицу времени при помощи фиксации кольцевого затвора 2 на определенной высоте. Под давлением столба содержимого бункера груз начинает истекать из выгрузного отверстия, конус дна 7 при этом обеспечивает равномерное распределение потока по всему периметру емкости.

Исследованиями отечественных и зарубежных ученых установлено, что стабильность выпуска сыпучих грузов во многом определяется напряженным состоянием содержимого бункера, силоса. На сыпучий груз в полости емкости действуют горизонтальные и вертикальные силы, обусловленные силой тяжести насыпи. Для снижения нагрузки на зоны, примыкающие к выпускному отверстию, используются различные средства и методы, однако для связных грузов они мало пригодны.

Отличительные особенности семейства щелевых бункеров состоят в отсутствии выпускной воронки и наличии приспособлений формирования изменения направления потока для его концентрации; в использовании регулируемого бокового щелевого отверстия по периметру бункера, которым разделяется корпус и дно, а также в оснащении косвенной заслонкой по периметру емкости. На плоском дне размещаются рабочие органы побудителя с приводом, расположенным под его дном. Регулирование щелевого выпускного отверстия может осуществляться кольцевым затвором, а сводообразование и слеживаемость сыпучих грузов в полости бункера устраняться массивным сводообрушителем селективного включения от привода рабочих органов побудителя. Рассматриваемое семейство бункеров обеспечивает более полное использование потенциальной энергии насыпи сыпучего груза для стимулирования истечения. При этом достигается управляемое сочетание гравитационного и принудительного выноса

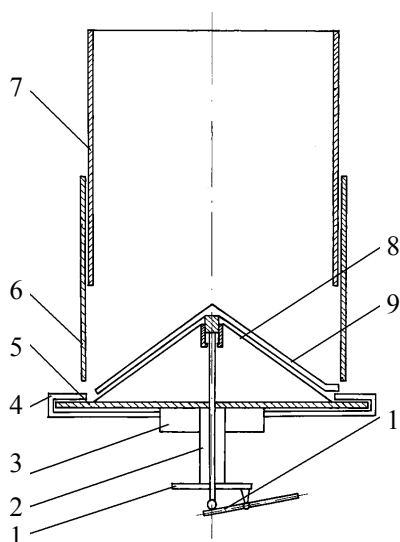


Рис.3.4. Цилиндрическое бункерное устройство с кольцевым затвором и сводообрушителем селективного действия

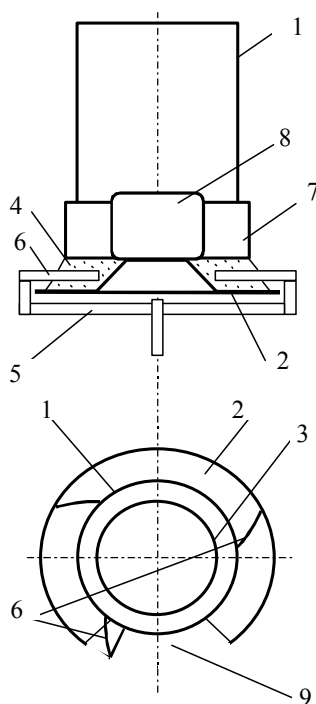


Рис. 3.5. Устройство для выпуска слеживающихся трудносыпучих грузов

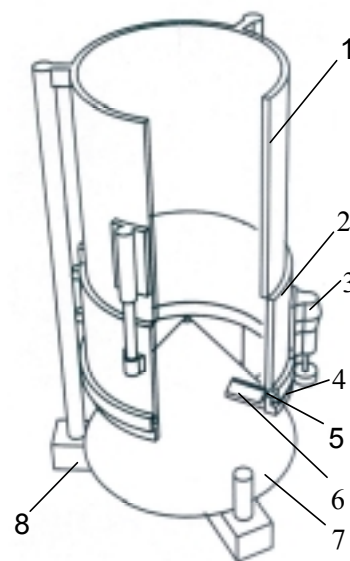


Рис. 3.6. Схема бункера с рыхлителем на кольцевом затворе

груза из полости бункера, что позволяет значительно расширить возможности функционирования бункерно-силосных систем, в том числе и на трудносыпучих грузах.

Проанализировав форму истечения рассмотренного семейства щелевых бункеров и бункерных устройств, можно отметить, что она во многих случаях приближается к гидравлической форме движения потока. Это характеризуется, прежде всего, движением частиц груза по отношению к стенкам емкости, внешним трением частиц о поверхность стенок и сохранением формы поверхности насыпи в емкости на протяжении почти всего выпуска. При таком выпуске груз, обладающий большой связностью частиц между собой, имеет более существенные изменения поверхности насыпи по сравнению с исходным.

Значительным стимулирующим приемом процесса выпуска из рассматриваемых типов бункеров является перемещение кольцевого затвора. Импульс, полученный сыпучим грузом при манипуляции с кольцевым затвором, обеспечивает исключение образования статических сводов. Перемещением кольцевого затвора достигается получение большой площади выпускного отверстия – один из базовых признаков гидравлической формы движения потока груза в полости емкости. Особенно эффективным оказалось сочетание гравитационного и принудительного выноса сыпучего груза из полости емкости, что может быть достигнуто путем ввода в щелевое выпускное отверстие перемещающихся по точной траектории рабочих органов. Такое конструктивное исполнение механизмов, стимулирующих выпуск, существенно снижает порог расхода сыпучих грузов по сравнению с бункерами, в которых используется только гравитационное истечение, и позволяет достичь режимов работы дозирующих систем.

В рассматриваемом семействе щелевых бункеров, силосов и бункерных устройств появилась возможность решения важной проблемы - доступа к рабочим органам побудителя, транспортера-питателя независимо от высоты насыпи в емкости, а локальное и внутриволостное искусственное сводообразование позволило достичь минимальных энергозатрат (в пределах 0,010...0,012 кВтч/т) на организацию выпуска сыпучих материалов. Это в 4...5 раз лучше показателей энергопотребления зарубежных аналогов.

Появилась возможность установки в зоне выгрузки бесприводного сводоразрушителя, который включается путем соединения его с рабочими органами побудителя селективно, а работа его с учетом периода сводообразования может быть ориентирована на режим дозирования.

Таким образом, созданное семейство бункеров и бункерных устройств с боковым и донным выпуском, позволяет обеспечить ресурсосбережение в широком диапазоне физико-механических свойств сыпучих грузов от хорошо- до трудносыпучих, от свеженасыпанных до слежавшихся с возможностью восстановления сыпучести.

### 3.2. Устройства для снижения вертикального давления

Образование статических сводов, устойчивых перемычек насыпного груза зависит от его уплотнения. В свою очередь уплотнение является результатом давления внутри его столба. Поэтому важно знать, как распределяется давление по всей высоте хранилища.

Устройства и методы снижения вертикального давления насыпи не отвечают современным требованиям производства. Имеют место завалы в силосах, образование верховых сводов, что ведет к разрушению хранилищ и, как следствие, к нарушению техники безопасности при восстановлении функциональной пригодности.

Основываясь на представлении о том, что образование статических сводов и висячих перемычек насыпного груза зависит от его уплотнения, а уплотнение, в свою очередь, определяется давлением внутри его столба, нами предложены устройства снятия нагрузок для грузов различных по своим физико-механическим свойствам.

Для предупреждения образования сводов в силосных хранилищах необходимо устранить устойчивое равновесие сил. Этого можно добиться путем установки в полости бункера статических элементов в виде воронок. Благодаря этому достигается три основополагающих эффекта.

1. За счет повышения трения о стенку часть усилий, вызванных массой груза, «изымается» из столба насыпного груза и передается на стенку. Это приводит к уменьшению вертикального давления, столб груза облегчается, происходит снятие нагрузки с нижележащих слоев груза.
2. Уменьшение вертикального давления влечет за собой соответствующее уменьшение горизонтальной составляющей усилий на всех уровнях в высотных емкостях. Эти усилия могут быть уменьшены настолько, чтобы их было недостаточно для образования внутри столба груза статически замкнутых несущих систем. Благодаря этому, находящиеся в стадии образования своды и купола периодически обрушиваются.
3. Повышенное трение между сыпучим грузом и стенкой силоса приводит к более высокой скорости перемещения масс в его центральной части по сравнению с пристенной зоной. Возникающее опережение приводит к тому, что своды и купола, имеющие куполообразную форму, превращаются в висячие перемычки, разрушающиеся под давлением вышележащего груза.

Известно разрушающее действие от падения висячих перемычек. Иногда в высотных емкостях возникают зависания груза массой до нескольких тонн. При нарушении равновесия весь этот объем устремляется вниз с большой высоты. При достижении основания силоса он обладает значительной кинетической энергией, достаточной для разрушения конструкции хранилища. Размещение в полости силоса

статических элементов в виде воронок (рис.3.7) позволит достичь некоторых положительных эффектов.

После потери равновесия объем груза, зависший в верхнем положении, устремляется в направлении выпускной воронки. При достижении воронки-стабилизатора груз, находящийся в пристенной зоне силоса, после соударения с ней приостанавливается, в то время как в центральной зоне часть груза под действием инерции продолжает двигаться. Таким образом, происходит разрушение монолитного объема. Достигая выпускной воронки, он уже не обладает никаким разрушающим действием.

Грузы малой связности при условии, что диаметр выпускного отверстия больше диаметра наибольшего сводообразования, истекают свободно центральным каналом с обрушением откосов в образующую воронку. Тем не менее, при перераспределении давлений внутри полости емкости возникает вероятность образования сводов, размеры которого будут превышать диаметр выпускного отверстия. Размещение по высоте хранилища воронок-стабилизаторов исключит перерывы в выпуске грузов.

Технологический процесс работы бункера с воронками-стабилизаторами (рис.3.8), установленными ярусно по высоте хранилища, основан на гравитационном истечении из выпускного отверстия.

Бункерное устройство с системой снятия нагрузок в виде воронок-стабилизаторов работает следующим образом. После открытия выпускного отверстия груз будет истекать центральным каналом, увлекая за собой определенную его часть из-под стабилизаторов. При этом за счет снятия давления на нижние слои, груз станет подвижнее, и его остатков в зоне выпускной воронки наблюдаться не будет. Выпуск будет стабильным, без образования застойных зон и с полным отсутствием сегрегации.

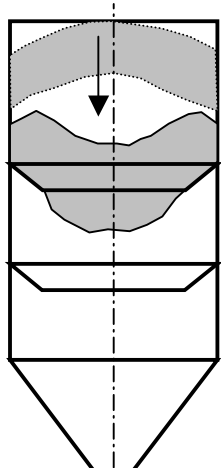


Рис. 3.7. Схема разрушения висячих перемычек о воронку-стабилизатор

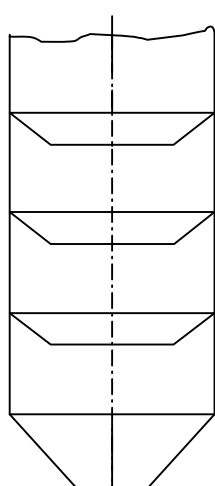


Рис. 3.8. Схема бункера для малосвязных грузов

Следует также отметить еще один положительный момент в процессе функционирования высотных емкостей с воронками-стабилизаторами. Под действием собственной силы тяжести, а также давления от вышележащего груза свободный объем заполняется уже разуплотненным грузом. Благодаря изменению положения части объема груза меняется вся структура вышележащего материала. После прохождения воронки-стабилизатора сыпучий груз, будучи разуплотненным, попадает в выпускную воронку.

В свою очередь возникновение сводов носит вероятностный характер. Поэтому режим воздействия стимуляторов истечения для ликвидации сводов должен быть избирательным. Исследованиями отечественных и зарубежных ученых установлено, что наиболее эффективным является разрушение сводов в зоне их контакта с опорной поверхностью или воздействием на вершину свода. Движение рабочего органа по периметру опоры свода подрезает его основание. Под действием давления столба груза на вершину свода происходит разрушение последнего и истечение груза возобновляется.

Для достижения такого значительного эффекта было разработано устройство, включающее пассивную воронку с активным сводообрушающим механизмом, устанавливаемым по высоте емкости. В ее полости равномерно расположены одна над другой воронки (рис.3.9). Каждая воронка оснащена кольцом, с жестко закрепленными на нем равномерно по периметру с заданным шагом рабочими элементами. Воронка установлена нижней частью внутри соответствующего кольца, рабочие элементы которого охватывают воронку по периметру. Каждое кольцо вращается вокруг соответствующего привода, выполненного в виде силового цилиндра, например, пневмоцилиндра, закрепленного одним концом на корпусе бункера, а другим на кольце. Ход штока силового цилиндра больше шага рабочих элементов. Кольца установлены в направляющих роликах, связанных с корпусом.

Технологическая схема работы бункерного устройства для грузов повышенной связности заключается в следующем. После открытия заслонки выгрузного отверстия груз самостоятельно выгружается из силоса. После окончательного выпуска груза включается привод рабочих органов для удаления остатков груза со стенок воронки-стабилизатора. Счищенный груз удаляется гравитационным способом через выпускное отверстие.

Как уже указывалось выше, периоды длительного хранения, а также изменение влажности и температуры окружающей среды негативно влияют на свойства хранящегося груза. Для влажных грузов с высокой связностью было бы продуктивнее использовать воронку-стабилизатор с возможностью изменения геометрии последней для обеспечения стабильного выпуска. Основное отличие предложенной конструкции воронки-стабилизатора от рассмотренной ранее в том, что она может деформироваться приводными механизмами. Путем перемещения ее элементов можно варьировать размер выпускного отверстия.

После загрузки силоса сыпучий груз займет не весь подвороночный объем. При прохождении через воронку канал заполнения сыпучего груза сужается и достигает размеров выпускного отверстия воронки. Поэтому верхняя часть подвороночного объема груза будет выглядеть в виде конуса, а пространство между стенкой воронки и стенкой корпуса бункера останется незаполненным. Отсутствие груза в

этой зоне позволит манипулировать элементами воронки.

Бункерное устройство для высокосвязных грузов (рис.3.10) состоит из корпуса круглого сечения, в котором расположено кольцо, прикрепленное к стенкам бункера.

К нижней кромке кольца на шарнирах прикреплены четыре одинаковых сектора, в составном положении образующие воронку. К нижнему краю каждого сектора с одной стороны и к стенке бункера с другой стороны прикреплен силовой цилиндр. Каждый сектор обладает возможностью перемещения относительно шарнирного крепления при помощи силового цилиндра. Шток каждого силового цилиндра снабжен датчиком перемещения.

Бункерное устройство работает по следующей схеме. После открытия заслонки выпускного отверстия часть хранящегося груза истекает из бункера без применения побудителей. По мере прекращения подачи бункером сыпучего груза на технологическую линию включают силовой привод воронки. Далее происходит следующее. Створки, образующие воронку, раздвигаются в направлении стенки корпуса (рис. 3.11). Угол наклона створок к горизонтальной плоскости возрастает. Груз, находящийся на стенках створок, теряет равновесие и под действием собственного веса осыпается в направлении выгрузного отверстия. Раздвижение створок производится до полного истечения продукта. После окончания выгрузки, также посредством включения привода, створки воронки с изменением геометрии возвращаются в исходное положение.

Очень важным моментом для выпуска груза из этого бункерного устройства является соотношение диаметров отверстий воронки с изменением геометрии и выпускной воронки. Если размер отверстия

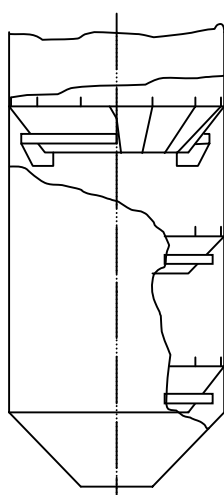


Рис. 3.9. Схема бункера для материалов высокой связности

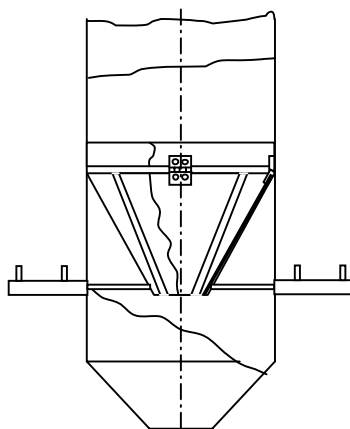


Рис. 3.10. Схема бункера со стабилизатором-воронкой с изменяемой геометрией

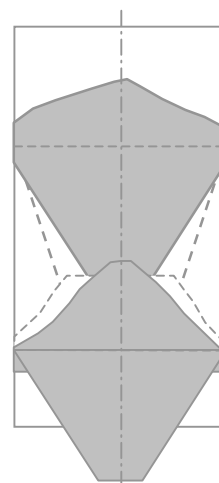


Рис. 3.11. Схема работы воронки изменяемой геометрии



первой воронки будет преобладать над размером выпускного отверстия, то через какой-то промежуток времени выпускное отверстие будет «захлебываться». Это объясняется тем, что поступающий в подвороночное пространство объем груза будет больше, нежели покинувший его. В этом случае производительность бункерного устройства заметно снизится.

Приведенные конструкции с воронками-стабилизаторами в разном исполнении могут располагаться автономно и в смешанной комбинации.

Следует также отметить, что имеют место высотные емкости кратковременного хранения среднесыпучих грузов (отруби, травяная мука), имеющие высоту до 15 м и срок хранения в них груза до 3-х суток. В них существует проблема отсутствия истечения вследствие сводообразования. Для организации выпуска груза применяют, как правило, ударные воздействия на ограждающие конструкции емкости. Результат такой деятельности чреват разрушением выпускной воронки. Для исключения возникновения подобных ситуаций и обеспечения целенаправленного воздействия на груз с возможностью сохранения поверхности воронки нами разработано следующее устройство (рис.3.12).

Бункер содержит корпус 1 и выпускную часть 2 с выпускной воронкой 3. Выпускная часть 2 снабжена дополнительной воронкой 4, соединенной с ней гибкими связями 5, например цепями или тросами.

Дополнительная воронка 4 охватывает с радиальным зазором  $h$  нижнюю часть выпускной воронки 3. Выпускное отверстие 6 воронки 4 расположено ниже выпускного отверстия 7 воронки 3. Верхняя часть 8 дополнительной воронки 4 и нижняя часть 9 выпускной воронки 3 (в зоне выпускного отверстия) выполнены скошенными в одном направлении.

При загрузке бункера материал из корпуса 1 перемещается в выпускную часть 2, через выпускную воронку 3 поступает в дополнительную воронку 4. При открытии выпускного отверстия 6 материал удаляется из бункера.

В случае образования свода часть опорной зоны находится на воронке 3, а часть – на воронке 4. За счет ударов воронка 4 радиально смещается относительно воронки 3, в результате чего образовавшийся свод разрушается.

Выполнение воронки 3 и 4 со скосами вынуждает материал в процессе истечения формировать опоры свода на каждой из упомянутых воронок. Смещение последних вы-

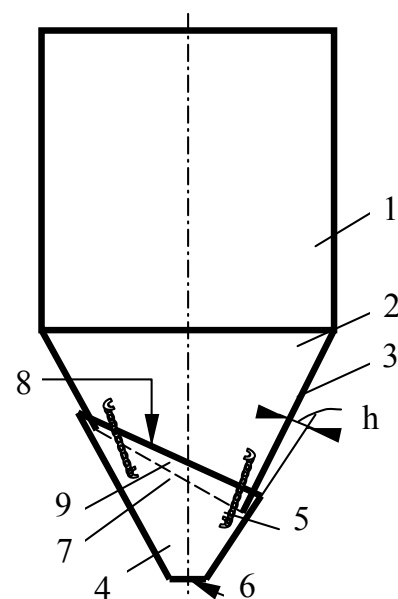


Рис.3.12. Бункер с составной подвижной воронкой

зывает сводоразрушение и стабилизирует выпуск.

Таким образом, применение рассмотренных устройств обеспечивает реализацию возможности управления процессами выпуска трудносыпучих грузов в существующих классических бункерах, силосах путем установки по их высоте приводных воронок, которые позволяют регулировать вертикальное давление в полости емкости вплоть до полной изоляции и разделения бункера на независимые секции. Привод воронок предусматривает селективное их включение в зависимости от связности сыпучего груза и других производственных ситуаций.

### **3.3. Переносные сводообрушители-очистители**

Складирование и хранение трудносыпучих грузов может сопровождаться особыми ситуациями: невыполнением регламента последовательности операций, нарушением технологии погрузо-разгрузочных и транспортно-складских (ПРТС) операций, несоответствием параметров и физико-механических свойств содержимого хранилищ техническим условиям, ГОСТ и др. Так, влажность, превышающая нормы даже у относительно хорошосыпучих грузов, способствует их слеживаемости и налипанию на стенки хранилищ. Результатом становится вынужденное продление сроков хранения и увеличивающееся с каждым опорожнением количество остатков, что в целом крайне отрицательно сказывается на качестве грузов (особенно органического происхождения). Известны случаи полного нарушения функционирования значительного количества емкостей транспортно-складских комплексов, комбикормовых заводов, элеваторов и т.п. Это вынуждает проводить мероприятия, которые, как правило, осуществляются вручную и сопровождаются опасностью для здоровья.

Для механизации операций выгрузки и очистки хранилищ используются устройства с рабочими органами, стационарно закрепленными в полости емкости или переносными, с возможностью их вывода и локальностью применения. Устройства располагаются в местах очевидного залегания сыпучего груза в существующих емкостях.

Одно из устройств первого типа, изображенное на рис. 3.13, располагается стационарно в полости бункера и состоит из штанги 2 с рабочими органами 4, выполненными в виде ножей, установленной в герметичном кожухе 1. Штанга 2 посредством гидроцилиндра, закрепленного на стенке бункера, перемещается по направляющей 3 в продольном направлении. В поперечном же направлении перемещение устройства осуществляется при помощи пневмоцилиндра, установленного на самой штанге. Такое движение позволяет разрушать своды по всему периметру.

Для использования устройства, изображенного на рис. 3.14, в днище бункера должна быть выполнена полость, которая перекрывается основанием 2. Устройство устанавливается на этом основании и

включает в себя штангу 3 с рабочими элементами в виде ножей 1, заключенную в кожухе 6. В случае образования сводов или для очистки днища от налипшего материала за счет направляющих винтов 4 основание перемещают в полость бункера. Затем, предварительно включив привод вращения вала 5, с помощью пневмоцилиндра 7 штанга с ножами приводится в движение и производится обрушение сводов и очистка примыкающей к ним поверхности от налипшего груза. По окончании операции очистки устройство убирается обратно в полость.

К средствам сводаобрушения и очистки поверхностей полостей бункеров относят так же устройство, показанное на рис. 3.15. Оно состоит из двух коромысел 2, расположенных на плите 1, прикрепляемой к стенке бункера. К концам коромысел прикреплены при помощи шарниров две тяги 3, вместе образующие параллелограмм. На каждой тяге закреплены ножи 4, являющиеся рабочими органами сводаобрушителя-очистителя, выполненные с боковыми и торцевыми режущими кромками. Одно из двух коромысел является ведущим, его привод расположен вне полости бункера. При работе устройства движущееся коромысло передает движение ножам, обеспечивая разрушение сводов в полости бункера и очистку внутренней поверхности от налипшего груза.

Таким образом, перечисленные стационарные устройства нацелены на сводаобрушение и очистку внутренних поверхностей емкостей. Тем не менее, использование устройств на постоянной основе, с привязкой к конкретному месту, в полости емкости сопровождается перекрытием сечения емкости рабочими органами, созданием дополнительных опор для образования устойчивых сводов и дополнительных поверхностей для налипания грузов, что оказывает неблагоприятное действие на процесс выпуска.

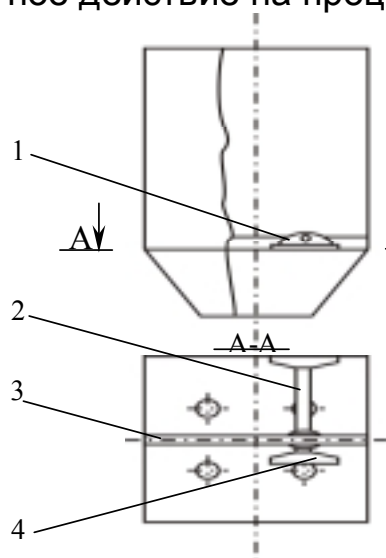


Рис.3.13. Устройство для сводаобрушения и очистки стационарного типа со штанговым рабочим органом

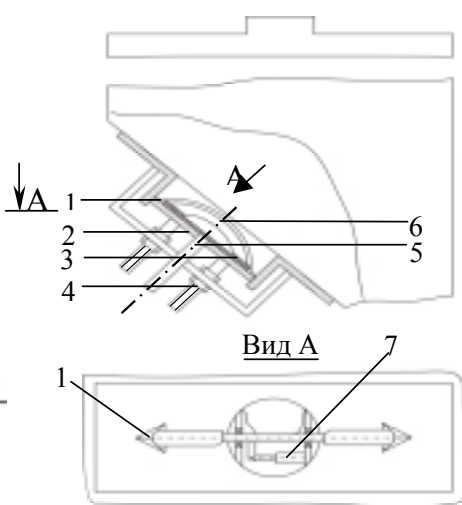


Рис. 3.14. Стационарное устройство для сводаобрушения и очистки с выводом рабочих органов из полости емкости

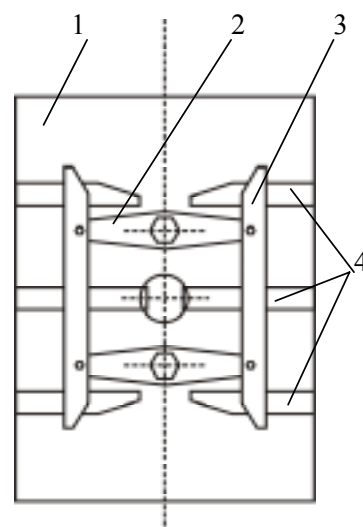


Рис. 3.15. Стационарный сводаобрушитель-очиститель с рабочими органами в виде ножей

К устройствам второго типа относятся переносные сводообрушители-очистители, которые оснащаются сменными рабочими органами (насадками различной длины), что позволяет регулировать зону обслуживания. На рис. 3.16,а представлено устройство с двумя рабочими органами, каждый из которых состоит из сочлененных при помощи шарнира 3 планок 1 и 9. После закрепления переносного сводообрушителя-очистителя в одном из технологических отверстий включают привод вращения полого вала 6, с которым связаны при помощи шарнира 4 планки 9, и производят подачу рабочих органов в глубь слежавшегося груза, рассверливая первоначальный проходной канал. Винт 5 находится в резьбовом соединении с полым приводным валом и вращается заодно с ним. Останавливая при помощи рычагов 7 вращение гайки 8, винт заставляют вывертываться из полого вала в направлении, указанном стрелкой. Навинченная на резьбовой конец винта гайка 2 давит на шарнир 10, соединяющий винт с планками 1, и приводит их к отклонению от горизонтального положения до соприкосновения со стенками бункера. При этом достигается разрыхление слежавшегося груза и очистка стенок.

После окончания сводообрушения и проведения зачистки стенок емкости от налипшего груза привод полого вала выключают и осуществляют возвращение рабочих органов в первоначальное соосное положение. Затем рабочие органы извлекаются из отверстия.

На рис. 3.16,б представлена модернизированная схема лопастного устройства, состоящего из полого вала 1, внутри которого установлена вилка 2, соединенная с помощью шарнира 3 с рабочими органами 4, вставляемыми в отверстие 5, выполненное в стенке бункера 6. Шток вилки 7 находится в резьбовом контакте с гайкой 8. Полый вал соединен с червячным колесом 9, находящимся в зацеплении с червяком 10, вращаемым от вала электродвигателя. Прилагая усилие к рычагу 11, прекращают вращение гайки 8, заставляя вращающуюся вилку двигаться поступательно, а вращающиеся рабочие органы при этом отклоняются в разные стороны, увеличивая зону рыхления. Процесс

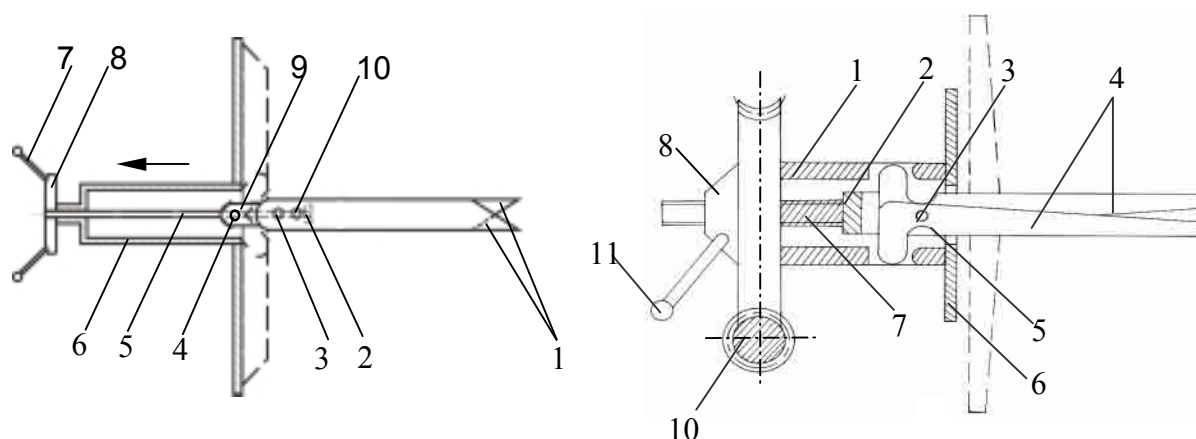


Рис. 3.16. Переносные сводообрушители-очистители с лопастными рабочими органами

продолжается до соприкосновения рабочих органов со стенками бункера.

Для обслуживания цилиндрических емкостей успешно можно использовать переносные сводоразрушители-очистители типа «змейка» (рис. 3.17). Рабочий орган такого устройства состоит из последовательно соединенных звеньев 3, связанных при помощи шарнирных соединений друг с другом. Все звенья 3 имеют отверстия 4, в которые вставляется стержень 1, таким образом в сложенном состоянии звенья и стержень образуют четырехгранный штырь. Штырь зафиксирован внутри приводного вала 5 без возможности вращения относительно него. Вставляя в отверстие, выполненное в стенке бункера 2, рабочий орган устройства, включают привод вращения полого вала, и изъятием стержня последовательно освобождают звенья. При этом они, занимая вертикальное положение, производят разрыхление груза и очистку поверхности емкости. По окончании процесса привод вращения полого вала выключают и вращают его вручную до положения, при котором звенья рабочего органа под действием собственного веса опустятся и займут горизонтальное положение. Затем в полость звеньев вставляется стержень и переносной сводообрушитель-очиститель демонтируется.

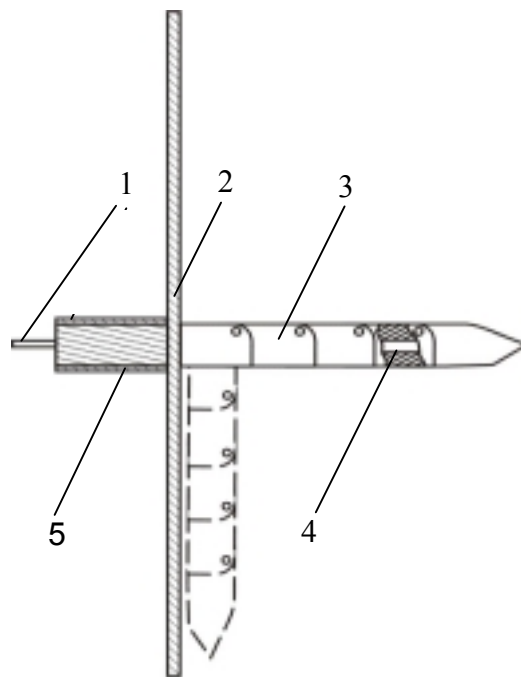


Рис. 3.17. Переносной сводообрушитель-очиститель типа «змейка»

На рис. 3.18 изображен переносной сводообрушитель-очиститель, рабочий орган которого выполнен в виде скребка с зубчатой рабочей стороной и заостренным передним торцом. Скребок прикрепляется при помощи шарнира 2 к приводному валу 7. Соосность рабочего органа приводному валу достигается за счет наличия скоса 5 на заднем торце рейки с тем же углом наклона, что и у выступа 6, расположенного под выемкой 4 приводного вала.

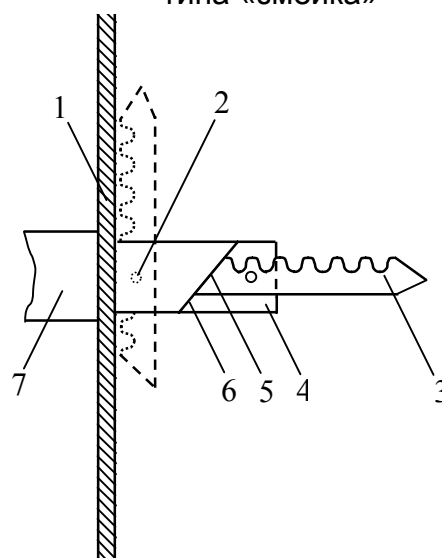


Рис. 3.18. Переносной сводообрушитель-очиститель с рабочим органом, выполненным в виде скребка

В случае образования сводов через отверстия, выполненные в стенках бункера 1, вводят рабочий орган устройства, включают привод вращения вала и осуществляют прохождение ра-

бочего органа в массу слежавшегося груза, рассверливая его зубчатой рабочей стороной.

При увеличении скорости вращения приводного вала канал, образованный в слежавшемся сводообразующем грузе, расширяется за счет поворота рабочих органов вокруг шарнира. При этом груз интенсивно разрыхляется. Отклонение рабочего органа от оси приводного вала продолжается до соприкосновения его со стенкой емкости. Результатом становится очистка поверхности стенки от налипшего груза.

На рис. 3.19 изображено устройство для обрушения сводов с рабочими органами 3, выполненными в виде двух гибких элементов, к концам которых прикреплены тросы 2. Рабочие органы вставляются в технологическое отверстие бункера в прямолинейном положении. Включая привод вращения вала 4 рабочих органов и выворачивая винты 1, осуществляют натяжение тросов, которые постепенно разводят упругие элементы рабочих органов в разные стороны, увеличивая зону разрыхления груза. Вращение рабочих органов осуществляется одновременно с их разведением в разные стороны и сопровождается интенсивным разрыхлением содержимого емкости.

После произведения сводоразрушения в зоне данного отверстия выключают привод вращения вала 1, поворачивают винты в обратном направлении, ослабляют натяжение тросов, в результате чего упругие элементы рабочих органов принимают прямолинейное положение и их можно беспрепятственно извлечь из отверстия.

На рис. 3.20 изображен переносной сводообрушитель-очиститель с рабочим органом, выполненным в виде роликовой цепи 4, закрепленной шарнирно на полом вала 3, расположенном в гильзе 2. После установки устройства в одно из отверстий, выполненное в стенке бункера 1, включают привод полого вала и производят разрыхление слежавшегося груза. Сводообрушение происходит за счет хао-

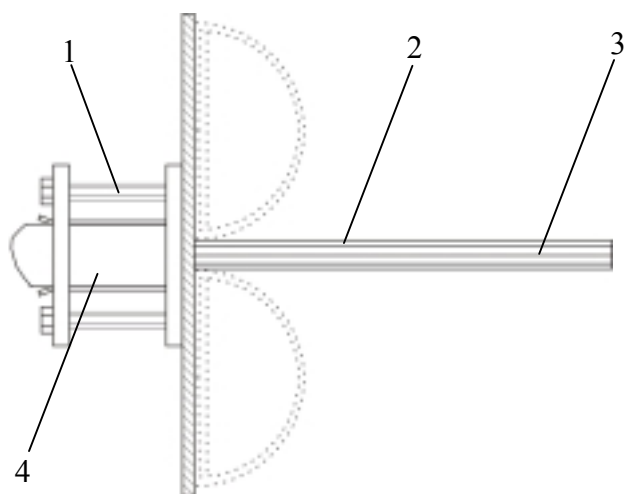


Рис. 3.19. Переносной сводообрушитель-очиститель с рабочими органами в виде гибких пластин

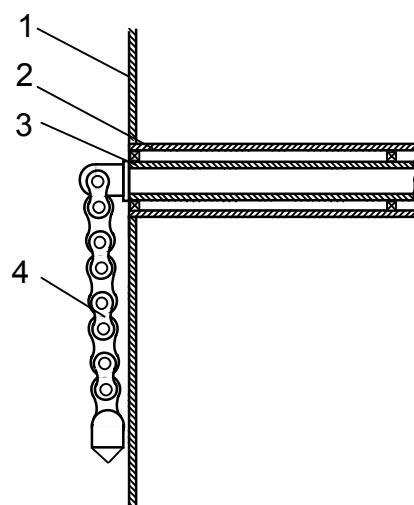


Рис.3.20. Переносной сводообрушитель-очиститель с цепным рабочим органом

тичного движения цепи в толще материала. Для выполнения функций очистки и сводоразрушения переносными устройствами ограждающие конструкции емкостей должны иметь на определенном расстоянии (с гарантированным перекрытием) отверстия диаметром 45...50 мм, которые закрываются лючками.

Таким образом, созданное семейство локальных сводообрушителей-очистителей способно эффективно функционировать в полости емкости. Однако предпочтение следует отдать устройствам с выводом рабочих органов из полости хранилища, что предотвращает их негативное воздействие на процесс выпуска груза. Фактором, ограничивающим применение данных устройств, является отсутствие доступа ко всей поверхности емкости на предприятии вследствие соприкосновения стенок соседних хранилищ. Т. е. использование переносных устройств может найти применение только для обслуживания отдельно стоящих хранилищ, так как отверстия для ввода рабочих органов в полость емкости должны располагаться по всему его периметру.

### **Контрольные вопросы по 3 главе**

1. В чем заключается преимущество емкостей с боковым щелевым выпуском?
2. При помощи каких устройств производится сброс груза с «косвенной заслонки»?
3. Какой эффект достигается при установке стабилизаторов давления в емкостях?
4. В чем заключаются различия между воронками-стабилизаторами давления?
5. Какие имеются конструктивные схемы переносных очистителей?
6. Как осуществляется технологический процесс очистки внутренних полостей бункерно-силосных устройств?



## 4. МЕТОДИКА ОЦЕНКИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ЕМКостей ДЛЯ СЫПУЧИХ ГРУЗОВ

### 4.1. Факторы эффективности функционирования процессов загрузки, хранения и выпуска сыпучих грузов из емкостей

Современные склады для приема сыпучих грузов представляют собой достаточно сложную систему взаимодействия транспорта, приемных устройств и непосредственно субъекта хранилища (напольного, стеллажного, контейнерного, силосов и бункеров). Динамический характер взаимодействия перечисленных элементов складской системы хранения сырья требует детального разложения на составляющие факторы, влияющие на систематизированную и бесперебойную работу данного объекта.

Оценка эффективности функционирования складов сыпучих грузов должна осуществляться по обобщенному критерию, включающему в себя три группы взаимосвязанных факторов: экономических, технологических и эколого-эпидемиологических (рис.4.1). В этой системе все изложенные факторы могут быть удовлетворены путем выбора и рационального сочетания наиболее эффективных конструктивных и объемно-планировочных решений складов, технологических комплексов и средств механизации, соответствующих оптимальной производительности и заданным условиям эксплуатации. Из представленной структуры факторов очевидна сложность и неоднозначность сравнительной оценки эффективности складов по обобщенному критерию, поскольку из большого числа факторов часть имеет качественную природу и трудно поддается количественной оценке.

Параметрическая модель функционирования приемного устройства с элементами технических систем складирования, хранения и подачи в основное производство создана с учетом вышеприведенных факторов и включает в себя три основных этапа (рис. 4.2).

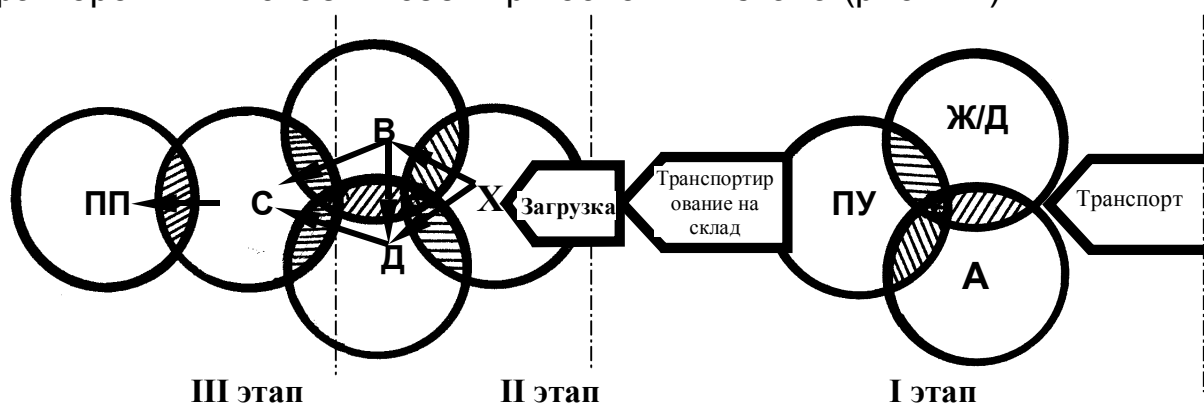


Рис.4.2. Схема параметрической модели функционирования систем приема, складирования, хранения и выпуска сыпучих грузов в производство: А – автотранспорт; Ж/Д – железнодорожный подвижной состав; ПУ – приемное устройство; Х – хранилища; В – процесс выпуска из хранилищ; Д – процесс дозирования при выпуске из хранилищ; С – процесс смешивания; ПП – производственный процесс



Технологическое решение первого этапа заключается в использовании приемного устройства (ПУ), способного осуществлять взаимосвязанный прием грузов с автомобильного (А) и железнодорожного (Ж/Д) транспорта, а также полную и бесперебойную выгрузку из транспортных средств трудносыпучих грузов. Второй этап содержит систему взаимовлияния процессов загрузки, хранения и выпуска грузов, в том числе их дозирование. Третий этап, производственный процесс, попадая под общее деление, не рассматривается детально, а является выходящим параметром из второго этапа.

На первом этапе разработанной параметрической модели функции входных и выходных параметров (см. рис.4.2) представлены следующими обозначениями:

- вектор-функция возмущения внешней среды  $X_{пп}$ , влияющая на работу приемного устройства со стороны разноименного подвижного состава, характеризующая состояние грузопотока и свойства принимаемых грузов:

$$X_{пп} = \bar{X}\{X_1, X_2, X_3, X_4, X_5, X_6, X_7, X_8, X_9\}, \quad (4.1)$$

где  $X_1$  – среднесуточное поступление подвижного состава;  
 $X_2$  – вместимость подвижного состава;  
 $X_3$  – параметры разгрузочных люков подвижного состава;  
 $X_4$  – пропускная способность разгрузочных люков;  
 $X_5$  – номенклатура сыпучих грузов;  
 $X_6, X_7, X_8, X_9$  – физико-механические и химико-биологические свойства грузов (целостность частиц, влажность, сегрегация);

- вектор-функция влияния работы приемного устройства  $Y_{пп}$ , характеризующая параметры приемного устройства с учетом его мобильности:

$$Y_{пп} = \bar{Y}\{Y_1, Y_2, Y_3, Y_4, Y_5, Y_6\}, \quad (4.2)$$

где  $Y_1$  – производительность отгрузки сыпучих грузов;  
 $Y_2$  – затраты на средства механизации приемного устройства;  
 $Y_3$  – фронт одновременной разгрузки подвижного состава;  
 $Y_4$  – затраты живого труда при настроечных операциях;  
 $Y_5$  – мобильность приемного устройства;  
 $Y_6$  – вместимость приемного бункера;

- вектор-функция выходных параметров приемного устройства  $Z_{пп}$ :

$$Z_{пп} = \bar{Z}\{Z_1, Z_2, Z_3, Z_4\}, \quad (4.3)$$

где  $Z_1$  – пропускная способность транспортирующего органа;  
 $Z_2$  – энергозатраты на выгрузку и подачу грузов в зону хранения;  
 $Z_3$  – затраты живого труда на поддержание стабильности истечения.

**Рис. 4.1. Система факторов эффективности функционирования транспортно-складских комплексов**

Сумма величин векторов модели первого этапа функционирования приемного устройства будет иметь вид:

$$\sum M_{\text{в}} = \overline{\Phi}\{\overline{X}, \overline{Y}, \overline{Z}\}. \quad (4.4)$$

Для второго этапа вектор-функция выходных параметров приемного устройства  $Z_{\text{пп}}$  является входящей, но преобразовывается в связи с условиями загрузки в емкости и приобретает вид вектора-функции возмущения внешней среды  $Z'_{\text{пп}}$ , влияющей на хранение сыпучих грузов, со стороны подающего транспортирующего устройства, характеризующего состояние грузопотока и свойства принимаемых грузов.

В свою очередь для второго этапа каждый вектор функции можно разложить на более детальные элементы, такие как фактор возмущения внешней и внутренней среды рассматриваемого параметра.

Рассмотрим определенный объект из второго этапа – бункерное хранилище. Процесс функционирования бункерного хранилища сыпучих грузов в упрощенном виде включает в себя три взаимосвязанных функциональных блока: загрузка бункера сыпучим грузом (ПЗ), хранение его (ПХ), выпуск продукта (ПВ). В параметрической модели бункера (силоса) функции состояния внешних и внутренних воздействий представлены следующими обозначениями (рис. 4.3):

$\overline{X}_{\text{пз}}$  – вектор-функция, характеризующая условия загрузки (характеристики средств загрузки);

$\overline{Y}_{\text{пз}}$  – вектор-функция влияния параметров загрузки на процесс хранения и выпуска продукта;

$\overline{X}_{\text{пх}}$  – вектор-функция влияния окружающей среды и параметров емкости на процесс хранения;

$\overline{Y}_{\text{пх}}$  – вектор-функция влияния параметров хранения на процесс выпуска (характеристики хранения, изменение свойств груза);

$\overline{X}_{\text{пв}}$  – вектор-функция, характеризующая параметры бункера и свойства груза;

$\overline{Y}_{\text{пв}}$  – вектор-функция влияния параметров выпуска на результат работы бункера.

Вектор-функция возмущения процесса загрузки может быть представлена в виде функционала:

$$\overline{X}_{\text{пз}} = \overline{X}\{x_{13}, x_{23}, x_{33}, x_{43}, x_{53}, x_{63}, x_{73}, x_{83}, x_{93}\}, \quad (4.5)$$

где  $x_{13}$  – высота падения материала;  
 $x_{23}$  – производительность загрузочных устройств;  
 $x_{33}$  – способ загрузки;  
 $x_{43}$  – влажность груза;

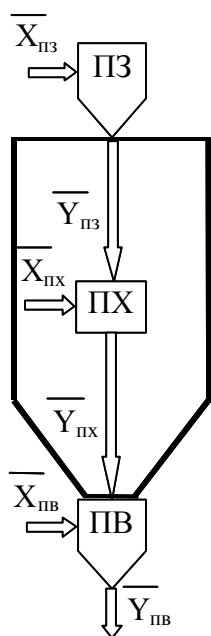


Рис. 4.3.  
Параметрическая  
модель  
функционирования  
бункера

$x_{53}$  – объемная плотность;  
 $x_{63}$  – угол естественного откоса;  
 $x_{73}$  – степень размола;  
 $x_{83}$  – коэффициент уплотнения;  
 $x_{93}$  – скорость витания.

Вектор-функция возмущения параметров окружающей среды, параметров емкости и свойств сыпучего груза, влияющая на процесс хранения:

$$\bar{X}_{пх} = \bar{X} \{x_{1x}, x_{2x}, x_{3x}, x_{4x}, x_{5x}, x_{6x}, x_{7x}, x_{8x}, x_{9x}\}, \quad (4.6)$$

где  $x_{1x}$  – качественные параметры емкости;  
 $x_{2x}$  – количественные параметры емкости;  
 $x_{3x}$  – свойства внутренней поверхности емкости (распределение коэффициента трения по высоте емкости);  
 $x_{4x}$  – температурный режим;  
 $x_{5x}$  – влажность окружающей среды;  
 $x_{6x}$  – влияние вибрации;  
 $x_{7x}$  – физико-механические свойства (гранулометрический состав, влажность, коэффициент уплотнения);  
 $x_{8x}$  – способ загрузки;  
 $x_{9x}$  – время хранения.

Вектор-функция возмущения процесса выпуска может быть представлена в виде функционала:

$$\bar{X}_{пв} = \bar{X} \{x_{1в}, x_{2в}, x_{3в}, x_{4в}, x_{5в}, x_{6в}, x_{7в}, x_{8в}, x_{9в}, x_{10в}, x_{11в}, x_{12в}\}, \quad (4.7)$$

где  $x_{1в}$  – показатель конфигурации емкости;  
 $x_{2в}$  – показатель конфигурации выпускной воронки;  
 $x_{3в}$  – параметры конфигурации выпускного отверстия;  
 $x_{4в}$  – место расположения выпускного отверстия;  
 $x_{5в}$  – угол наклона стенок выпускной воронки;  
 $x_{6в}$  – соотношение площадей выпускного отверстия и емкости;  
 $x_{7в}$  – высота хранилища;  
 $x_{8в}$  – показатель угла обрушения груза;  
 $x_{9в}$  – коэффициент внутреннего трения груза;  
 $x_{10в}$  – показатель коэффициента уплотнения груза;  
 $x_{11в}$  – показатель начального сопротивления сдвигу груза;  
 $x_{12в}$  – коэффициент неоднородности фракционного состава груза.

В каждой модели соответствующего этапа функционирования складских систем для переработки сыпучих грузов имеются параметры свойств грузов – физико-механических и химико-биологических (см. рис.1.1). Как известно, среди указанных грузов имеется определенное различие по степени сыпучести: хорошо-, средне- и плохосыпучие.

Эти состояния также можно представить в виде параметрических уравнений.

Вектор-функция, характеризующая химико-биологические свойства, согласно классификации (см. рис. 1.1), примет вид

$$Y' = \overline{Y} \{Y'_1, Y'_2, Y'_3, Y'_4, Y'_5\} \rightarrow \min, \quad (4.8)$$

где  $Y'_1$  – присутствие жировых компонентов;  
 $Y'_2$  – наличие кислотности в массе сыпучего груза;  
 $Y'_3$  – содержание клетчатки;  
 $Y'_4$  – содержание примесей;  
 $Y'_5$  – присутствие дыхания в сыпучем грузе.

Химико-биологические показатели, как правило, свойственны только грузам органического происхождения. Некоторые из этих компонентов могут вызывать активизацию окислительных процессов при контакте с ограждающими поверхностями. В целом, стремление к минимальному содержанию каждого из этих составляющих способствует обладанию грузом свойства хорошосыпучего.

Выражение вектора-функции физико-механических параметров груза не будет так однозначно стремиться к минимизации его элементов:

$$Y'' = \left\{ \begin{array}{l} \{Y''_2; Y''_3\} \rightarrow \max \\ \{Y''_1; Y''_4; Y''_5; Y''_6; Y''_7; Y''_8; Y''_9; Y''_{10}\} \rightarrow \min \end{array} \right\}, \quad (4.9)$$

где  $Y''_1$  – присутствие влаги;  
 $Y''_2$  – объемная плотность сыпучего груза;  
 $Y''_3$  – коэффициент однородности гранулометрического состава;  
 $Y''_4$  – угол естественного откоса;  
 $Y''_5$  – начальное сопротивление сдвигу;  
 $Y''_6$  – коэффициент внешнего трения;  
 $Y''_7$  – коэффициент внутреннего трения;  
 $Y''_8$  – присутствие сегрегации;  
 $Y''_9$  – присутствие свойств гигроскопичности груза;  
 $Y''_{10}$  – коэффициент уплотнения насыпного груза.

На основании этого получим параметрическое уравнение состояния, характеризующего хорошосыпучий груз:

$$Y_{XCF} = \left\{ \begin{array}{l} \overline{Y'} \{Y'_1, Y'_2, Y'_3, Y'_4, Y'_5\} \rightarrow \min, \\ \overline{Y''}_{\max} \{Y''_2; Y''_3\} \rightarrow \max \\ \overline{Y''}_{\min} \{Y''_1; Y''_4; Y''_5; Y''_6; Y''_7; Y''_8; Y''_9; Y''_{10}\} \rightarrow \min \end{array} \right\}. \quad (4.10)$$

В свою очередь, состояние трудносыпучего груза можно выразить следующим параметрическим уравнением:

$$Y_{ПСТ} = \left\{ \begin{array}{l} \overline{Y'} \{Y'_1, Y'_2, Y'_3, Y'_4, Y'_5\} \rightarrow \max, \\ \overline{Y''} \{Y''_1; Y''_2; Y''_3; Y''_4; Y''_5; Y''_6; Y''_7; Y''_8; Y''_9; Y''_{10}\} \rightarrow \max \end{array} \right\}. (4.11)$$

Все сыпучие грузы, не удовлетворяющие условиям представленных выражений, являются среднесыпучими и могут располагаться в ограниченном интервале по ухудшению степени сыпучести.

## 4.2. Оценка качества функционирования емкостей для сыпучих грузов

Анализ факторов эффективности и параметрической модели функционирования системы поставок сыпучих грузов показывает, что рассматриваемый объект относится к сложной системе, а задача оценки качества его работы в обобщенном виде является многокритериальной. Решение ее возможно путем расчленения системы на конечное число звеньев, однако существующий математический аппарат не позволяет это осуществить. Несмотря на трудность синтеза, нами была предпринята попытка их оценки одним комплексным показателем при помощи единичных параметров качества<sup>4</sup> функционирования объекта исследований. Разнородность исходных показателей качества не представляет в этом случае практической сложности, а решается на основе использования номинальных и предельно допустимых показателей качества с применением экспертно-статистических методов оценки.

Необходимость подобной оценки качества функционирования бестарного хранилища обычно возникает при разработке, производстве и их эксплуатации с достижением следующих целей:

- планирования и прогнозирования уровня качества функционирования бункера;
- выбора оптимального варианта при создании нового устройства и разработки нормативно-технической документации на него;
- реконструкция существующего оборудования для улучшения его функционирования;
- аттестация качества функционирования бункерно-силосных систем;
- обоснования технологического процесса хранения и выпуска сыпучих грузов.

На основании исследований нами создана математическая модель комплексного показателя качества оцениваемого бункерного оборудования, выбраны единичные критерии конструктивных параметров хранилищ бункерного типа и физико-механических свойств

<sup>4</sup> Понятие качества здесь рассматривается как некоторая совокупность свойств, оказывающих влияние на результат функционирования продукции.

сыпучих компонентов комбикорма, и разработана методика комплексной оценки работы бункеров.

Расчет осуществлялся в два этапа:

1. Оценка качественных и количественных характеристик конструкций бункеров, исходя из условий обеспечения ими стабильного выпуска сыпучих грузов, экспертно-статистическим методом.
2. Комплексная оценка физико-механических свойств грузов по способности к истечению (степени сыпучести).

Для реализации 1-го этапа конструкция хранилища была разложена на элементы – корпус и выпускную воронку. Им даны комплексные оценки, учитывающие совокупность качественных конструктивных характеристик (геометрическая форма стенок, вид и место расположения выгрузного отверстия), не поддающихся численному выражению. Критериями оценки послужили:

- отсутствие невыгруженных остатков;
- бесперебойное истечение;
- качественное хранение сыпучего материала;
- обеспечение эффективной формы истечения.

В результате были получены экспертно-статистические оценки 45 различных составных частей бункеров (табл. 4.1). Схемы бункеров и воронок представлены в прил. 3.

При этом на основании анализа экспериментальной информации и практического опыта выбирается эталон каждого свойства по вышеперечисленным условиям. За него, например, приняты: криволинейное продольное сечение емкости (в соответствии с табл. 4.1 – 1.1), улучшающее технологию производства и увеличивающее полезный объем емкости; трапеция вершиной вверх (3.1), их оценка составляет 0,95 от идеала<sup>5</sup>. Далее оценка распределялась следующим образом. Из вариантов емкости – прямоугольное (4.1) и трапеция вершиной вниз (2.1), по понятным причинам более предпочтительным является первое, оценка соответственно составляет 0,75 и 0,5. Наилучшее поперечное сечение – круглое (1.2), форма близка к форме потока сыпучего груза; многоугольные сечения (2.2 и 3.2) имеют одинаковую оценку.

Количественные характеристики бункера также были оценены статистическим методом, результаты представлены в табл. 4.2. В качестве эталона по вышеуказанным причинам были выбраны параметры с оценкой 0,95. Соотношение площадей выпускного отверстия и сечения емкости равное 1 является оптимальным решением с точки зрения ликвидации сводообразования. Действие сил внешнего трения по стенкам на частицы груза обуславливает наилучший угол их накло-

---

<sup>5</sup> Идеалом являются недостижимые практически условия – отсутствие трения при истечении, уплотнения – при хранении и прочее.

на –  $90^0$ . Высота емкости  $H \leq 5$  м как наилучшая принята исходя из отсутствия сегрегации частиц при загрузке.

Таблица 4.1

Экспертно-статистические оценки качественных показателей составных частей бункеров

| № п/п | Конфигурация емкости               |                      | Конфигурация выпускной воронки |                      |                      | Место расположения выпускного отверстия |                     |
|-------|------------------------------------|----------------------|--------------------------------|----------------------|----------------------|-----------------------------------------|---------------------|
|       | Продольное сечение (форма емкости) | Поперечное сечение   | Продольное сечение             | Поперечное сечение   |                      | Дно бункера                             | Боковая стенка      |
|       |                                    |                      |                                | Верхняя часть        | Выпускное отверстие  |                                         |                     |
|       | 1                                  | 2                    | 3                              | 4                    | 5                    | 6                                       | 7                   |
| 1     | Криволинейное (0,95)               | Круглое (0,95)       | Криволинейное (0,75)           | Круглое (0,95)       | Щелевое (0,95)       | Осесимметричное (0,5)                   | По периметру (0,95) |
| 2     | Трапеция вершиной вниз (0,5)       | Многоугольное (0,75) | Трапеция вершиной вниз (0,5)   | Многоугольное (0,75) | Круглое (0,75)       | Несимметричное (0,75)                   | Локальное (0,5)     |
| 3     | Трапеция вершиной вверх (0,95)     | Прямоугольное (0,75) | Нет воронки (0,95)             | Прямоугольное (0,75) | Многоугольное (0,75) |                                         |                     |
| 4     | Прямоугольное (0,75)               |                      |                                |                      | Прямоугольное (0,25) |                                         |                     |

Таблица 4.2

Экспертные оценки количественных параметров бункеров

| Соотношение площадей $S_{\text{емк}}/S_{\text{отв}}$ | Угол наклона выпускной воронки $\alpha$ , град | Высота хранилища $H$ , м |
|------------------------------------------------------|------------------------------------------------|--------------------------|
| 100% (0,95)                                          | 90 (0,95)                                      | $H \leq 5$ (0,95)        |
| 75% (0,75)                                           | 70 (0,75)                                      | $H > 5$ (0,5)            |
| 50% (0,5)                                            | 50 (0,5)                                       |                          |
| 25% (0,25)                                           | 30 (0,25)                                      |                          |

Покажем применение указанной методики на примере расчета комплексной оценки физико-механических свойств сыпучих материалов по действительным значениям единичных критериев отдельных свойств на втором этапе.

Многочисленными отечественными и зарубежными исследователями предложены разнообразные классификации сыпучих материалов по степени их подвижности, способности к истечению. В их основу



положен один из показателей физико-механических свойств (начальное сопротивление сдвигу, размер частиц, коэффициенты трения) без учета влияния других. Подобное разделение является однозначным и, очевидно, не всегда правомерно вследствие изменения свойств грузов в процессе хранения.

Целью классификации компонентов комбикорма по физико-механическим свойствам явилось определение комплексной оценки ( $K_{\phi}$ ) нижеприведенных свойств на основе относительных единичных критериев ( $K_i$ ) с учетом соответствующих коэффициентов весомости ( $g_i$ ) конкретного показателя:

$$K_{\phi} = \sum_{i=1}^n K_i g_i = \sum_{i=1}^n \frac{x_i^{\max} - x_i^{\Delta}}{x_i^{\max} - x_i^{\min}} \frac{\frac{1}{K_i^{\max} - K_i^{\min}}}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{K_i^{\max} - K_i^{\min}}}, \text{ все } g_i \geq 0, \quad (4.12)$$

где  $i=1, 2, \dots, n$  – число отдельных свойств качества;

$x_i^{\max}$  – максимальное значение абсолютного  $i$ -го показателя, в данном случае браковочное;

$x_i^{\min}$  – минимальное значение показателя абсолютного  $i$ -го свойства (принимается за эталон);

$x_i^{\Delta}$  – действительное абсолютное значение  $i$ -го свойства.

Единичные критерии были выбраны по углу обрушения ( $K_1$ ), коэффициенту внутреннего трения ( $K_2$ ), коэффициенту уплотнения ( $K_3$ ), начальному сопротивлению сдвигу ( $K_4$ ), коэффициенту неоднородности фракционного состава ( $K_5$ ). Результаты расчетов представлены в табл. 4.3. Комплексные оценки свойств позволяют дать объективную оценку сыпучих материалов с учетом взаимовлияния основных физико-механических характеристик и процесса истечения из емкости хранения.

Сыпучие грузы в зависимости от комплексных оценок разделяются на четыре группы, включающие материалы, близкие по своим свойствам и степени сыпучести. При этом, чем больше комплексная оценка, тем выше сыпучесть исследуемых грузов.

Приведенные данные послужили основой для создания компьютерной программы расчета комплексной оценки функционирования бестарных хранилищ сыпучих материалов (рис. 4.4).

Программа работает следующим образом. Вводится значение комплексной оценки физико-механических свойств груза, предполагаемого к хранению. Далее на экран выводятся результаты расчета комплексной оценки возможных вариантов бункеров на выпуске сыпучих материалов выбранной группы. Пользователь производит сравнение конструкции бестарного хранилища с максимальной оценкой, вариант выводится на печать. При необходимости расчет можно повторить с другими значениями показателя физико-механических свойств.

Например, вводится значение  $0 < K_{\phi} \leq 0.1$ , присущее грузам 1<sup>ой</sup>

группы сыпучести (см. табл. 4.3). По результатам расчета наилучшим вариантом является 3.1-1.2-3.3-1.4-1.5-1.7 (см. табл. 4.1). Качественные характеристики следующие: конфигурация емкости – трапеция вершиной вверх круглого сечения; выпускная воронка отсутствует; выгрузное отверстие – щелевое по периметру дна. Данный бункер имеет следующие количественные параметры: соотношение площадей выпускного отверстия и сечения емкости – 100 %, угол наклона образующей выпускной воронки –  $90^0$ , что соответствует ее отсутствию. Высота стенок бункера не должна превышать пяти метров, или его необходимо оснащать загрузочными устройствами, обеспечивающими выполнение данного требования.

Комплексная оценка работы такого устройства определяется на основе используемого математического аппарата из значений оценок составляющих элементов и равна 0.95.

Таблица 4.3

Результат расчета единичных и комплексных показателей физико-механических свойств сыпучих грузов

| Номер группы | НАИМЕНОВАНИЕ ГРУЗА | Единичные критерии |       |       |       |       | Комплексная оценка $K_{\Phi}$ |
|--------------|--------------------|--------------------|-------|-------|-------|-------|-------------------------------|
|              |                    | $K_1$              | $K_2$ | $K_3$ | $K_4$ | $K_5$ |                               |
| I            | Мел                | 0,156              | 0,417 | 0,013 | 0,4   | 0,304 | 0,069                         |
|              | ОТРУБИ             | 0,311              | 0,625 | 0,02  | 0,133 | 0,433 | 0,076                         |
| II           | Мука мясокостная   | 0,189              | 0,417 | 0,046 | 0,433 | 0,262 | 0,102                         |
| III          | Мука травяная      | 0,389              | 0,333 | 0,15  | 0,233 | 0,307 | 0,205                         |
|              | Шрот подсолнечный  | 0,289              | 0,458 | 0,178 | 0,567 | 0,274 | 0,233                         |
| IV           | Ячмень             | 0,64               | 0,583 | 0,25  | 0,567 | 0,5   | 0,306                         |
|              | Цеолит             | 0,589              | 0,208 | 0,296 | 0,267 | 0,3   | 0,351                         |

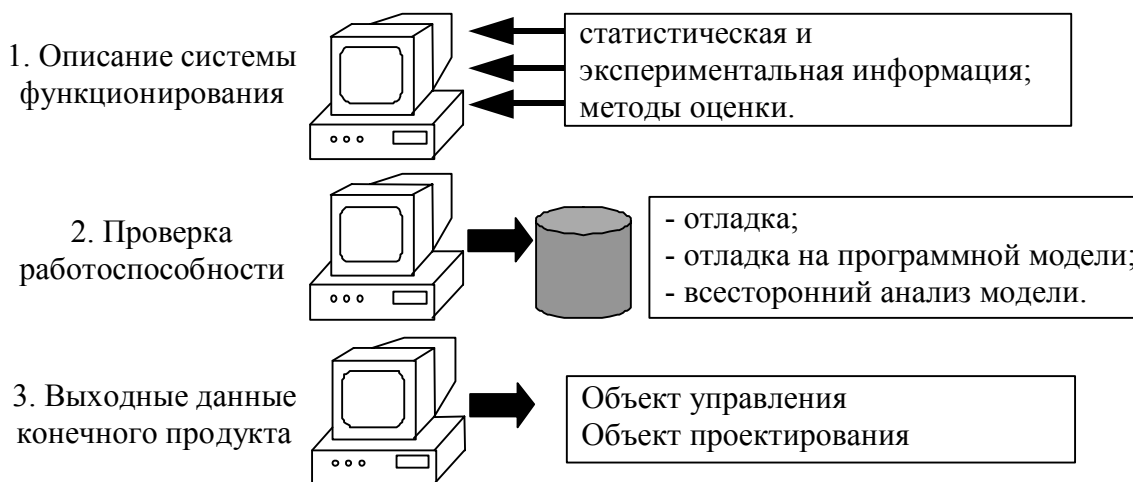


Рис.4.4. Укрупненная схема аппаратного решения задачи качественного функционирования объектов исследования

В настоящее время проводится совершенствование данной программы с целью полного охвата операций технологического процесса функционирования устройств бестарного хранения. Предполагается экономически обосновать возможные варианты бункеров и силосов по критерию минимизации инвестиций на их возведение и эксплуатационных расходов.

Приведенная методика применялась для оценки бункеров с гравитационным выпуском, однако складские системы для переработки названных грузов предусматривают использование значительного количества трудносыпучего сырья. Для осуществления транспортно-складских операций с ним требуются бункерные устройства. В арсенале технических средств, разработанных нами, имеются устройства для активного и пассивного воздействия на сыпучий материал, позволяющие избежать образования сводов и повышающие надежность и качество разгрузки (см. гл. 3). Например, оснащение бункера механическим рыхлителем, сводоразрушителем, питателем, что будет учитываться при расчетах, позволяет достичь высоких качественных и количественных показателей выпуска. Установка по высоте емкости на внутренней ее поверхности воронок-разделителей позволяет стабилизировать давление груза по всей высоте хранилища, что соответственно влечет стабилизацию выгрузки даже при длительных сроках складирования.

Таким образом, созданная программа расчета комплексной оценки работы бестарных хранилищ сыпучих материалов позволяет получить адекватный результат пользователю, не обладающему познаниями в области механики сыпучих сред и теории бункеров. Полученные результаты могут применяться при проектировании бункерных хранилищ хорошо- и среднесыпучих грузов, реконструкции существующих устройств с целью улучшения процесса разгрузки при незначительных капитальных затратах. Это позволит наиболее полно и квалифицированно осуществлять управление процессами производства, даст возможность получить идеальный пример функционирования данного производства.

### **Контрольные вопросы по 4 главе**

1. По каким критериям возможно определить эффективность работы складов?
2. В чем заключается сущность параметрической модели функционирования технических систем складирования?
3. Из каких параметров складывается соответствующее состояние сыпучих грузов (хорошо- и плохосыпучее)?
4. Для каких целей необходима оценка качества бункерных систем?
5. Каким образом производится расчет комплексной оценки?

## **5. МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ОБЪЕКТА ТРАНСПОРТНО-ГРУЗОВЫХ СИСТЕМ**

### **5.1. Экономические показатели и их особенности**

Расчет приведенных ниже технико-экономических показателей функционирования объекта транспортно-грузовых систем необходим для своевременного и полного отражения соотношения расходов и доходов, связанных с его деятельностью. Экономическая оценка является заключительным этапом комплексной оценки работы рассматриваемого объекта.

Все технико-экономические показатели можно условно разделить на две группы, отражающие расходы и доходы от деятельности объекта. Каждый из этих показателей, в свою очередь, подразделяется на подгруппы.

К группе расходных показателей относятся:

- капитальные затраты на строительство (они представляют собой совокупность затрат на строительство, оснащение, механизацию и автоматизацию рассматриваемого объекта для ввода его в эксплуатацию). Капитальные затраты рассчитываются в два этапа: первый этап - определение необходимой суммы инвестиций на строительство объекта; второй – определение капитальных вложений с учетом их распределения по периодам и упущенной выгоды. Таким образом, расчет этого показателя необходим для реализации проекта и обоснования его эффективности;
- эксплуатационные расходы деятельности рассматриваемого объекта. Они обычно рассчитываются за год и представляют собой совокупность расходов, необходимых для нормальной деятельности предприятия. В эту подгруппу входят расходы: на заработную плату (совокупность заработной платы работников, а также отчисления на зарплату); на амортизацию; на ремонт, обслуживание и сооружение объекта; на освещение; на энергоносители (силовая энергия, топливо, сжатый воздух, смазочные материалы); на уплату налогов (на имущество, НДС, на землю и т.д.).

К показателям эффективности деятельности рассматриваемого объекта относятся:

- экономический эффект (прибыль) в текущем году - абсолютный показатель целесообразности функционирования рассматриваемого объекта;
- эколого-экономический эффект. Показывает экономию за счет внедрения экологически чистых технологий;

- число высвобождаемых рабочих за счет увеличения производительности труда - важный показатель, отражающий эффективность работы рассматриваемого объекта и служащий основанием для расчета экономии фонда заработной платы;
- производительность труда – это показатель эффективности работы обслуживающего персонала, который может быть определен как выработка одним работником или трудоемкость;
- показатель качества продукции. Характеризуется двумя свойствами - безотказность и ремонтпригодность;
- фондоотдача (сколько рублей, выручки получено на рубль вложенных средств), фондоемкость (величина обратная фондоотдаче), фондорентабельность (величина прибыли, приходящаяся на рубль вложенных средств), фондовооруженность (оборотные средства, приходящиеся на одного работника рассматриваемого объекта).

При расчетах технико-экономических показателей объекта транспортно-грузовых систем необходимо также учитывать деление на основе прав собственности, так как он может находиться в собственности как частного предпринимателя, который использует его для получения прибыли, так и принадлежать предприятию, являясь непосредственным звеном технологической цепи. Главной задачей рассматриваемого объекта в последнем случае становится обеспечение безотказного функционирования.

При первом варианте (когда рассматриваемый объект принадлежит частному лицу) клиентам оказываются различные виды сервисных услуг, но в этом случае предприниматель должен производить налоговые выплаты. Первая группа услуг включает в себя доставку товара с предприятия-поставщика на объект (склад) в железнодорожном подвижном составе, перегрузку груза на территорию склада с использованием средств механизации и дальнейшее хранение груза сроком, определяемым заказчиком. Вторая группа услуг включает отправку пустой тары предприятию-поставщику по железной дороге, доставку груза в подвижном составе на территорию рассматриваемого объекта, перегрузку груза на место хранения и последующее хранение груза в сроки, предусматриваемые контрактом. В этом случае в стоимость услуг входит доставка по железной дороге тары предприятию-поставщику, а также стоимость самой тары. Возможен еще вариант, по которому предоставляются только услуги по перегрузке груза в складское помещение и последующее хранение, тогда все затраты на доставку к месту складирования берет на себя заказчик.

В случае включения рассматриваемого объекта в производственную линию все выплаты производит предприятие, им владеющее. В свою очередь предприятие-производитель может оказывать услуги по отправке сырья со склада (рассматриваемого объекта). Предприятие оплачивает доставку груза, отправку пустой тары предпри-

ятию-поставщику, а также осуществляет оплату эксплуатационных расходов.

## 5.2. Расчет капитальных затрат на строительство

При проектировании механизированного склада бестарного хранения насыпных грузов, поступающих и убывающих с его территории, составляют смету затрат или сметный расчет стоимости (СРС).

Капитальные затраты, необходимые для строительства механизированного склада для хранения насыпных грузов и оснащения его оборудованием, определяют по формуле

$$C = \sum_{i=1}^n C_i \times r_i + C_{всп} + C_c + C_{п} + C_{л} + C_{AB} \text{ тыс.р.}, \quad (5.1)$$

где  $n$  – количество видов различного оборудования на складе;

$C_i$  – стоимость единицы оборудования  $i$ -го вида, тыс.р.;

$r_i$  – число единиц оборудования  $i$ -го вида;

$C_{всп}$  – стоимость вспомогательного оборудования, тыс.р.;

$C_c$  – стоимость складского здания, подземных сооружений, конвейерных галерей и других закрытых строительных конструкций, исчисляемая в зависимости от их объема, тыс.р.;

$C_{п}$  – стоимость площадок, автодорог и других строительных сооружений, исчисляемая в зависимости от их площади, тыс.р.;

$C_{л}$  – стоимость линейных строительных сооружений (железнодорожного пути, подкрановых путей, эстакад и т.п.), исчисляемая в зависимости от их длины, тыс.р.;

$C_{AB}$  – затраты на средства автоматизации (если они не были предусмотрены при выборе средств комплексной механизации работ).

В расчетах при определении капиталовложений на оборудование и сооружение к преysкурантной стоимости оборудования следует добавлять расходы на доставку погрузочно-разгрузочных машин с заводов-изготовителей к местам работы (можно принять от 2 до 7% на хранение и монтаж, на окраску от 7 до 15% от их первоначальной стоимости. Полученная сумма в % и составит  $C_{AB}$ ).

Капитальные вложения с учетом упущенной выгоды по годам и направление инвестиций на банковский депозит можно рассчитать по следующей формуле

$$C = \sum_{t=t_n}^{t_k} C_t \alpha_t, \quad (5.2)$$

где  $C_t$  – капитальные вложения на  $t$ -м шаге;

$\alpha_t$  – коэффициент дисконтирования.

Коэффициент дисконтирования устанавливает минимальное значение коммерческой нормы дисконта, соответствует банковскому депозитному проценту. В случае, когда средства являются полностью заемными, норма дисконта должна быть не ниже процентной ставки, определяемой условиями процентных выплат и погашения по займам.

### 5.3. Расчет годовых эксплуатационных расходов

Годовые эксплуатационные расходы включают следующие основные составляющие:

$$\mathcal{E} = \mathcal{E}_{з.п} + \mathcal{E}_a + \mathcal{E}_{осв} + \mathcal{E}_{с.э} + \mathcal{E}_т + \mathcal{E}_в + \mathcal{E}_{рм} \text{ тыс.р./год,} \quad (5.3)$$

где  $\mathcal{E}_{з.п}$  – расходы на заработную плату, тыс.р./год;  
 $\mathcal{E}_a$  – расходы на амортизацию, содержание и ремонт оборудования и помещений, тыс. р./год;  
 $\mathcal{E}_{осв}$  – расходы на освещение, тыс.р./год;  
 $\mathcal{E}_{с.э}$  – расходы на силовую электроэнергию, тыс.р./год;  
 $\mathcal{E}_т$  – расходы на топливо для двигателей внутреннего сгорания, тыс.р./год;  
 $\mathcal{E}_в$  – расходы на сжатый воздух для пневмотранспорта, тыс.р./год;  
 $\mathcal{E}_{рм}$  – затраты на расходные материалы (мешки, проволока, кабель, стропы и т.д.), тыс.р./год.

Кроме перечисленных показателей в эксплуатационные расходы входят еще ряд налогов и взносов, порядок их расчетов рассматривается в последующих разделах.

#### 5.3.1. Расчет расходов на заработную плату и отчислений налогов и взносов в различные фонды

Расходы на заработную плату составят:

$$\mathcal{E}_{з.п.} = \xi_{н.взн} \times 12 \times \sum_{i=1}^{n_p} P_i \times 3П_i, \quad (5.4)$$

где  $\xi_{н.взн}$  – суммарная ставка налогов и взносов в различные фонды, %;

$n_p$  – число разных категорий работников;

$3П_i$  – среднемесячная заработная плата  $i$ -й категории (с учетом премий, надбавок и других доплат), тыс.р./мес.

Суммарная ставка налогов и взносов складывается из пяти составляющих:

$$\xi_{н.взн} = \xi_{п.ф.} + \xi_{о.м.с.} + \xi_{г.с} + \xi_{ф.с} + \xi_{стр} = 42,2\% \quad (5.5)$$

где  $\xi_{п.ф.}$  – ставка взносов в Пенсионный фонд, % ( $\xi_{п.ф.} = 28\%$ );

$\xi_{о.м.с.}$  – ставка взносов в Фонд обязательного медицинского страхования, % ( $\xi_{о.м.с.} = 3,6\%$ );

$\xi_{г.с}$  – ставка взносов в Фонд государственного страхования, % ( $\xi_{г.с} = 5,4\%$ );

$\xi_{стр}$  – ставка взносов в Фонд страхового риска, % ( $\xi_{стр} = 3,7\%$ );

$\xi_{ф.с}$  – ставка взносов в Фонд занятости населения, % ( $\xi_{ф.с} = 1,5\%$ ).

### 5.3.2. Расчет расходов на амортизацию, содержание и ремонт оборудования и сооружений

Амортизация — это постепенное уменьшение стоимости основных фондов вследствие их старения и изнашивания.

Предлагается использовать два метода амортизационных отчислений. *Метод ускоренной амортизации* заключается в том, что в первые три года применяются повышенные нормы амортизации, которые переносят на себестоимость продукции  $2/3$  их первоначальной стоимости, оставшаяся стоимость распределяется равномерно по оставшемуся сроку службы. *Неравномерная амортизация* включает большую часть стоимости оборудования в издержки производства в первые годы эксплуатации: например, в первый год — 50%, во второй — 30%, третий — 20%. Это позволяет предприятию в условиях инфляции окупить понесенные затраты, а прибыль направить на расширение парка оборудования.

С 1 января 1997 г. введен следующий порядок амортизации:

1. Имущество, на которое начисляется амортизация<sup>6</sup>, объединяет следующие четыре категории:

- здания, сооружения и их структурные компоненты;
- легковой автотранспорт, легкий грузовой автотранспорт, конторское оборудование и мебель, компьютерная техника, информационные системы и системы обработки данных;
- технологическое, энергетическое, транспортное и иное оборудование и материальные активы, не включенные в первую и вторую категории;
- нематериальные активы.

2. Годовые нормы амортизации составляют: для первой категории — 5%, для второй — 25%, для третьей — 15%. Для четвертой категории амортизационные отчисления осуществляются равными долями в течение срока существования соответствующих нематериальных активов. В случае, если срок использования нематериального актива определить невозможно, срок амортизации устанавливается в десять лет.

3. Расчет амортизационных отчислений производится умножением суммарной стоимости имущества, отнесенного к соответствующей амортизационной категории, на указанную выше норму амортизации, за исключением имущества, отнесенного к первой и четвертой катего-

---

<sup>6</sup> В состав имущества, на которое начисляется амортизация для целей налогообложения, включается имущество, стоимость которого превышает 100-кратный размер установленного законодательством Российской Федерации минимального размера месячной оплаты труда, полезный срок использования которого более года. Земельные участки, участки недр и лесов, а также финансовые активы не относятся к имуществу, на которое начисляется амортизация.



риям, в отношении которого производится расчет для каждой единицы имущества в отдельности.

4. При расчете амортизационных отчислений может использоваться коэффициент, учитывающий условия эксплуатации. Он отражает особенности отдельных видов производства, режим эксплуатации машин и оборудования, естественные условия и влияние агрессивной среды, которые вызывают повышенный износ основных фондов. Тогда

$$A_a = H_A \times K_9 \times \Phi, \quad (5.6)$$

где  $H_A$  – нормы на амортизацию;

$\Phi$  – среднегодовая стоимость основных фондов, руб.;

$K_9$  – коэффициент, учитывающий условия эксплуатации.

5. Предприятия могут применять ускоренную амортизацию основных фондов. Ускоренной амортизации могут подвергаться шины, оборудование, транспортные средства, введенные в действие с 1 января 1991 г. При ускоренной амортизации годовая сумма начисленного износа рассчитывается по утвержденным нормам, увеличенным не более чем в два раза.

Расходы на амортизацию, содержание и ремонты оборудования определяют по формуле

$$\Theta_a = \sum_{i=1}^n C_i \times \alpha_i \text{ тыс.р./год}, \quad (5.7)$$

где  $n$  – число разных групп оборудования и сооружений с различными отчислениями на амортизацию и ремонты;

$C_i$  – суммарные капитальные затраты на  $i$ -ю группу оборудования и сооружений, тыс.р./год;

$\alpha_i$  – норма отчислений на амортизацию, ремонт  $i$ -го вида оборудования и сооружений, %.

Расходы на ремонт

$$I_p = C_m (K_{кр} + K_{тр}), \quad (5.8)$$

где  $C_m$  – цена машины, руб.;

$K_{кр}$  – коэффициент, учитывающий стоимость капитального ремонта от цены машины,  $K_{кр} = 8,9\%$ ;

$K_{тр}$  – коэффициент, учитывающий стоимость текущего ремонта от стоимости машины,  $K_{тр} = 2\%$ .

### 5.3.3. Расчет расходов на освещение

Годовые расходы на освещение склада, тыс.р./год:

$$\Theta_{осв} = \xi_{осв} \times T_r \times n_{см} \times T_{см} \times \eta_{осв} \times 10^{-6} \times \sum_{i=1}^n S_i \times \delta_i, \quad (5.9)$$

где  $\xi_{осв}$  – стоимость кВт·ч осветительной электроэнергии, р.;

$T_r$  – число дней работы рассматриваемого объекта в году;

$n_{см}$  – число смен работы рассматриваемого объекта в сутки

$(n_{\text{см}} = 1-3);$

$T_{\text{см}}$  – продолжительность рабочей смены, ч ( $T_{\text{см}} = 8$  или  $12$ ч);

$\eta_{\text{осв}}$  – коэффициент, учитывающий необходимость освещения в течение светлого периода года (принимают  $\eta_{\text{осв}} = 0,3 \dots 0,5$ );

$S_i$  – площадь участка рассматриваемого объекта с  $i$ -й нормой освещенности,  $\text{м}^2$ ;

$\delta_i$  – норма освещенности  $i$ -го участка склада,  $\text{Вт}/\text{м}^2$  (принимают  $\delta = 8 \dots 10 \text{ Вт}/\text{м}^2$  – для открытых складских площадок;  $\delta = 12 \dots 14 \text{ Вт}/\text{м}^2$  – для закрытых складов и погрузочно-разгрузочных участков;  $\delta = 18 \dots 20 \text{ Вт}/\text{м}^2$  – для административно-технических помещений);

$10^{-6}$  – коэффициент перевода Вт в кВт и р. в тыс.р.

#### 5.3.4. Расчет расходов на энергоносители

Годовые расходы на силовую электроэнергию

$$\Xi_{\text{с.э}} = \xi_{\text{с.э}} \times T_{\text{г}} \times n_{\text{см}} \times T_{\text{см}} \times k_i \times 10^{-3} \left( \eta_{\text{ц}} \times \sum_{i=1}^{n_{\text{м}}} N_i + \eta_{\text{н}} \times \sum_{j=1}^{m_{\text{м}}} N_j \right) \text{ тыс.р./год}, \quad (5.10)$$

где  $\xi_{\text{с.э}}$  – стоимость  $1 \text{ кВт} \cdot \text{ч}$  силовой энергии, р. ( $0,5 \text{ р./кВт} \cdot \text{ч}$ );

$k_i$  – коэффициент использования оборудования по времени (принимают  $k_i = 0,8 \dots 0,9$ );

$\eta_{\text{ц}}$  – коэффициент использования мощности машин циклического действия, учитывающий неодновременность работы механизмов машины (принимают  $\eta_{\text{ц}} = 0,4 \dots 0,5$ );

$n_{\text{м}}$  – число типов машин циклического действия;

$N_i$  – установленная мощность электродвигателей на машинах циклического действия  $i$ -го типа, кВт (принимается по расчету приводов или по технической характеристике используемого подъемно-транспортного оборудования);

$\eta_{\text{н}}$  – коэффициент использования мощности машин непрерывного действия (конвейеров); принимают  $\eta_{\text{н}} = 0,8 \dots 0,9$ ;

$m_{\text{м}}$  – число типов машин непрерывного действия;

$N_j$  – установленная мощность электродвигателей на машинах непрерывного действия  $j$ -го типа, кВт.

Годовые расходы на топливо для двигателей внутреннего сгорания, тыс.р./год.:

$$\Xi_{\text{т}} = \xi_{\text{т}} \times T_{\text{г}} \times n_{\text{см}} \times T_{\text{см}} \times k_{\text{т}} \times \eta_{\text{т}} \times 10^{-3} \sum_{i=1}^{n_{\text{м}}} N_i, \quad (5.11)$$

где  $\xi_{\text{т}}$  – стоимость  $1 \text{ кг}$  топлива, р.;

$\eta_{\text{т}}$  – норма расхода топлива в час на  $1 \text{ л.с.}$  установленной мощности машины,  $\text{кг}/\text{л.с.} \cdot \text{ч}$  (принимают по паспорту подъемно-транспортной машины; ориентировочно  $\eta_{\text{т}} = 0,15 \dots 0,22 \text{ кг}/\text{л.с.} \cdot \text{ч}$ );

$N_i$  – мощность машины  $i$ -го типа, л.с.; если в паспорте машины мощность дана в кВт, то можно выполнить пересчет с учетом того, что 1 кВт = 1,36 л.с.;

$n_m$  – число типов машин с двигателями внутреннего сгорания;

$T_{cm}$  – продолжительность работы машины в часах (1,5...8).

Годовые расходы на сжатый воздух для пневмотранспорта, тыс.р./год:

$$\Theta_B = \xi_B \times T_r \times k_t \times v_B \times 3600 \times 10^{-6}, \quad (5.12)$$

где  $\xi_B$  – стоимость 1000 м<sup>3</sup> сжатого воздуха, р. (принимают при стационарной магистрали  $\xi_B = (13...20)$  р./1000 м<sup>3</sup>);

$T_r$  – число дней работы склада в году, сут;

$v_B$  – скорость движения воздуха, м/с;

$10^{-3}$  – перевод м<sup>3</sup> в тыс.м<sup>3</sup>.

Расходы на топливо и смазку

$$I_{есм} = q_e \times N_e \times \xi_T \times K_M \times K_B \times K_{cm} \times n_{cm} \times t_{cm}, \quad (5.13)$$

где  $q_e$  – удельный расход топлива, кг/кВт×ч;

$N_e$  – мощность двигателя, кВт;

$\xi_T$  – стоимость 1кг дизельного топлива или бензина, р.;

$K_M$  – коэффициент использования двигателя по мощности,  $K_M = 0,7$ ;

$K_B$  – коэффициент использования двигателя по времени  $K_B = 0,8$ ;

$K_{cm}$  – коэффициент, учитывающий стоимость смазочных и обтирочных материалов,  $K_{cm} = 1,25$ ;

$n_{cm}$  – количество рабочих смен в году;

$t_{cm}$  – продолжительность смены, ч.

### 5.3.5. Расчет затрат на расходные материалы

$$\Theta_{pm} = \sum P_{mi} \cdot C_{mi}, \text{ тыс.р./год}, \quad (5.14)$$

где  $P_{mi}$  – потребность в  $i$  –ом расходном материале (измеряется в натуральных показателях); определяется методом прямого счета и методом экстраполяции;

$C_{mi}$  – закупочная цена за единицу расходного материала, р./т.

### 5.3.6. Расчет расходов на уплату налогов

Расчет суммы налогов осуществляется после завершения хозяйственного цикла (после определения размеров выручки, прибыли).

Расходы на уплату налогов

$$H = [\xi_{н.и.} \times C \times 4 + \mathcal{E}_{п.д.} \xi_{ндс} + \xi_3 \times S \times k_3 + \mathcal{E}_д (1 - \xi_{ндс}) (\xi_{с.ж.ф.} + \xi_{а.д.})] + 12 \times M_{от} \times \xi_{ц.с} \times \sum_{i=1}^n P_i, \quad (5.15)$$

где  $\xi_{н.и.}$  – ставка налога на имущество в %; отчисления производятся ежеквартально;  $\xi_{н.и.} = 2\%$ ;

$C$  – общие капитальные затраты на строительство и техническое оснащение рассматриваемого объекта, тыс. р., (стоимость основных производственных фондов);

$\mathcal{E}_{п.д.}$  – общие расходы на производственную деятельность рассматриваемого объекта (затраты на расходные материалы), тыс. р.;

$\xi_{ндс}$  – ставка налога на добавленную стоимость в %;  $\xi_{ндс} = 16,67\%$ ;

$\xi_3$  – ставка налога на землю, р./м<sup>2</sup> год;  $\xi_3 = 5 \dots 20$  р./м<sup>2</sup> год;

$S$  – площадь участка земли, занимаемая рассматриваемым объектом, м<sup>2</sup>;

$\mathcal{E}_д$  – доходы от деятельности рассматриваемого объекта, тыс. р.;

$k_3$  – коэффициент, учитывающий плотность застройки территории промышленного района, в котором размещается строящийся объект, благоустройство окружающей территории, размещение внешних инженерных сетей, автодорог, подходов транспорта и т.д.; принимают  $k_3 = 1,1 \dots 1,3$ ;

$\xi_{с.ж.ф.}$  – ставка налога на содержание жилищного фонда и объектов социально-культурной сферы, %;  $\xi_{с.ж.ф.} = 1,5\%$ ;

$M_{от}$  – минимальный размер оплаты труда, тыс. р./мес.;

$\sum_{i=1}^n P_i$  – общая численность работников, чел.;

$\xi_{а.д.}$  – ставка налога на пользователей автомобильных дорог, %;

$\xi_{а.д.} = 2,5\%$ ;

$\xi_{ц.с}$  – ставка целевого сбора на содержание правоохранительных органов, % ( $\xi_{ц.с} = 3\%$ ). Отчисляется ежеквартально.  $\xi_{ц.с}$

$= P_{сп} \times 3\% \times 4$ .

$$P_{сп} = \sum_{i=1}^n P_{явi} \times n_{сми} \times \varphi_{спi} \text{ чел.}, \quad (5.16)$$

где  $P_{сп}$  – списочная численность работников, чел.;

$P_{явi}$  – явочное число работников  $i$ -го вида в смену, чел.;

$n_{сми}$  – число смен работы рассматриваемого объекта в сутки работников  $i$ -го вида (устанавливается при расчетах интенсивности грузопотоков);

$\varphi_{сп.i}$  – коэффициент перехода к списочному составу, зависящий от режима работы склада (принимают  $\varphi_{сп.i} = 1,1 \dots 1,4$ ; причем  $\varphi_{сп.i} = 1,1$  – при односменной работе;  $\varphi_{сп.i} = 1,4$  – при непрерывной работе в 3 смены).

Примерный список работников склада для хранения насыпных грузов: заведующий складом, старший приемосдатчик (или кладовщик, приемосдатчики или кладовщики по сменам), весовщик, машинисты кранов, операторы специальных погрузочно-разгрузочных машин (вагоноопрокидывателя, бурорыхлительной машины и др.), водители погрузчиков, экскаваторов, операторы конвейеров, вспомогательные рабочие, слесари, электрики.

#### 5.4. Расчет доходов и прибыли от деятельности рассматриваемого объекта

Расчет доходов и прибыли от деятельности рассматриваемого объекта производится в случае принадлежности его частному лицу.

Доход от деятельности рассматриваемого объекта

$$Д = (Q_{\Gamma}^{\text{от}} \times Ц_{\text{от}} - Q_{\Gamma}^{\text{пр}} \times Ц_{\text{пр}}) \times 10^{-3} \text{ тыс.р./год}, \quad (5.17)$$

где  $Q_{\Gamma}^{\text{от}}$  - годовой грузопоток по отправлению, т/год;

$Ц_{\text{от}}$  - доходная ставка за 1 т. сырья, отправленного с рассматриваемого объекта, р/т;

$Q_{\Gamma}^{\text{пр}}$  - годовой грузопоток прибытия на рассматриваемый объект, т/год;

$Ц_{\text{пр}}$  - доходная ставка за 1 т от прибывшего на рассматриваемый объект сырья, р/т;  $Ц_{\text{пр}} < Ц_{\text{от}}$ .

На хорошо организованном объекте  $Q_{\Gamma}^{\text{от}} = Q_{\Gamma}^{\text{пр}}$ .

Доходная ставка (тариф) - это стоимость за одну тонну погруженного (разгруженного) и отправленного с рассматриваемого объекта сырья.

Прибыль за год можно рассчитать двумя способами.

Годовая прибыль:

$$1) \quad \Pi = Д - Э - Н \text{ тыс.р.}, \quad (5.18)$$

где  $Д$  - доход от производственной деятельности рассматриваемого объекта, тыс.р./год, (сортировка груза);

$Э$  - годовые эксплуатационные производственные расходы по складу, тыс.р./год;

$Н$  - налоги, выплачиваемые рассматриваемым объектом за год, тыс.р./год.

Экономический эффект (прибыль) в текущем году:

$$2) \quad \Delta_t = (R_t - 3^*_t)(1 - \gamma_n) - K_t, \quad (5.19)$$

где  $R_t$  - стоимостной результат применения инноваций в году  $t$ ;

$\gamma_n$  - ставка налоговых отчислений от прибыли (доли единицы);

$3^*_t$  - затраты на  $t$ -шаге расчета без учета единовременных затрат;

$K_t$  - капитальные вложения на  $t$ -шаге.

Чистая прибыль рассматриваемого объекта

$$\text{ЧП} = \text{П} - \text{П} \times \xi_{\Pi}^{\text{М}} \times 10^{-2} \text{ тыс.р./год} \quad (5.20)$$

где  $\xi_{\Pi}^{\text{М}}$  - ставка налога на прибыль предприятия в %; для Самары  $\xi_{\Pi}^{\text{М}} = 30\%$ .

С внедрением наиболее экологически чистых технологий можно рассчитать стоимостную оценку эколого-экономического эффекта:

$$\Theta_{\text{ср}} = ((C_{\text{б}} - C_{\text{н}}) + (K_{\text{б}} - K_{\text{ав}}) E) A_1 + (Y_{\text{н}}' - Y_{\text{б}}') A_1, \quad (5.21)$$

где  $C_{\text{б}}, C_{\text{н}}$  – сумма текущих затрат на 1 руб. выпускаемой продукции соответственно до и после внедрения инноваций, руб.;

$K_{\text{б}}, K_{\text{ав}}$  – удельные капитальные вложения по объекту до и после внедрения инновации, руб.;

$E$  – норма дисконта (нормативный коэффициент эффективности),  $E=0,2 \dots 0,5$ ;

$A_1$  – годовой объем производства продукции проектируемым объектом;

$Y_{\text{н}}', Y_{\text{б}}'$  – годовой предотвращенный эколого-экономический ущерб соответственно на проектируемом и базовом производственных объектах в расчете на 1 руб. выпускаемой продукции.

Производительность труда на складе, т/чел-год:

$$\text{ПТ} = \Sigma Q_{\Gamma} / P_{\text{сп}}, \quad (5.22)$$

где  $\Sigma Q_{\Gamma}$  – годовой грузопоток, т;

$P_{\text{сп}}$  – среднесписочная численность работников склада, чел.

Экономия фонда заработной платы высвобождаемых работников определяется по формуле

$$\Delta Z_{\text{фз}} = Z_{\text{м}} \times \text{Ч}_{\text{высв}} \times T, \quad (5.23)$$

где  $Z_{\text{м}}$  – среднемесячная заработная плата одного работника, руб.;

$T$  – срок действия внедренного мероприятия по экономике, лет;

$\text{Ч}_{\text{высв}}$  – число высвобождаемых работников за счет увеличения производительности, чел.

## 5.5. Расчет срока окупаемости части капиталовложений

Расчет окупаемости части капиталовложений в случае, включения рассматриваемого объекта в одну технологическую линию с предприятием производится по следующей формуле:

$$t = (\Sigma C_1 - \Sigma C_2) / (\Sigma \Theta_2 - \Sigma \Theta_1), \quad t \leq t_{\text{н}}, \quad (5.24)$$

где  $t$  – срок окупаемости капиталовложений, лет;

$t_{\text{н}}$  – нормативный срок окупаемости, лет.

Для расчета окупаемости части капиталовложений в случае, когда рассматриваемый объект принадлежит частному лицу, можно использовать формулу

$$t = \frac{\sum C}{\Pi}, \quad (5.25)$$

где  $\Pi$  – прибыль от деятельности склада, тыс. руб.;  
 $\sum C$  – капитальные вложения, тыс. руб.

#### 5.5.1. Определение минимизации суммы приведенных капитальных затрат и эксплуатационных расходов

$$L_{\min} = E_n \times \sum C + \sum \Xi, \quad (5.26)$$

где  $L_{\min}$  – функция, минимизирующая сумму приведенных капитальных затрат и эксплуатационных расходов;  
 $\sum C$  – капиталовложения по вариантам;  
 $E_n$  – нормативный коэффициент эффективности;  
 $\sum \Xi$  – годовые эксплуатационные расходы.

#### 5.5.2. Определение экономической эффективности от увеличения статической нагрузки подвижного состава и сокращения времени на его обработку

Эффект для железной дороги рассчитан как сумма экономии эксплуатационных расходов по содержанию подвижного состава:

$$\Xi = [(N \cdot T_6) - (Q_z \div H_P) \cdot T_P] \times P_B, \quad (5.27)$$

где  $Q_z$  – объем перевозок железной дороги за год, т;  
 $N$  – количество единиц подвижного состава, обрабатываемых за год;  
 $H_P$  – расчетная статическая нагрузка единицы подвижного состава, т;  
 $T_P$  – расчетная продолжительность обработки единицы подвижного состава, ч;  
 $T_6$  – базисная (нормативная) продолжительность обработки единицы подвижного состава, ч;  
 $P_B$  – средняя доходная ставка по содержанию единицы подвижного состава в час (нормативная), руб.

### 5.5.3. Определение удельных капиталовложений и себестоимости переработки одной тонны груза

Удельные капиталовложения – это некая сумма денег, вкладываемая в постройку рассматриваемого объекта в расчете на одну единицу грузопотока:

$$C_{y\partial} = \Sigma C / \Sigma Q_{\Gamma}. \quad (5.28)$$

Определение себестоимости переработки одной тонны - это сумма денег, в которую обходится владельцу рассматриваемого объекта обработка одной тонны груза:

$$\mathcal{E} = \Sigma \mathcal{E} / \Sigma Q_{\Gamma}. \quad (5.29)$$

### 5.5.4. Определение производительности труда (и/или выработка), трудоемкость

Трудоемкость - это количество тонн груза на одного работающего в год. В свою очередь, выработка – это количество тонн груза, переработанного за определенное время.

Выработка за год определяется согласно следующей формуле:

$$e = \frac{\sum Q_{\varepsilon}}{T_{\text{зат}}}, \quad (5.30)$$

где  $T_{\text{зат}}$  – время, затрачиваемое на погрузочно-разгрузочные работы, мин.

Трудоемкость можно определить из отношения

$$T = \frac{T_{\text{зат}}}{\sum Q_{\varepsilon}}. \quad (5.31)$$

## 5.6. Определение убытков от невозвратимых потерь при перевозке и хранении груза

Под невозвратимыми потерями подразумевается порча груза во время перевозочного (неисправность подвижного состава), погрузочно-разгрузочного процесса, а также при хранении.

Количество убытков от перечисленных процессов определяется из выражения

$$Y = \Sigma Q_{\Gamma} \times S \times K_{\text{нп}}, \quad (5.32)$$



где  $S$  – стоимость груза, тыс. руб./т;

$K_{нп}$  - коэффициент невозвратимых потерь (берется из статистических данных или рассчитывается визуально из ежедневных, ежемесячных или ежеквартальных потерь).

### **Контрольные вопросы по 5 главе**

1. Какие показатели эффективности относятся к экономическим?
2. Как производится расчет капитальных вложений?
3. Какие составляющие входят в расчетную формулу эксплуатационных расходов?
4. Что является амортизационными отчислениями?
5. В чем заключается особенность расчета экономической эффективности частных предприятий?
6. Как определяется срок окупаемости рассматриваемого объекта?

## 6. БОРЬБА С ПЫЛЕНИЕМ В ТРАНСПОРТНО-СКЛАДСКИХ КОМПЛЕКСАХ ПРИ ПЕРЕРАБОТКЕ НАСЫПНЫХ ГРУЗОВ

Процесс погрузки и транспортировки насыпных грузов сопряжен с загрязнением производственной зоны и окружающей среды мелкими и крупными пылевыми частицами. Источником данных загрязнений является производственное оборудование, при функционировании которого происходит образование пылевых облаков, что зачастую может привести к пожарам и взрывам. Последствия их могут быть катастрофическими не только для производственной зоны, но и для окружающей среды. Для предупреждения подобных явлений в местах наиболее вероятных источников пыления вывешиваются предупреждающие щиты, требующие следить за несанкционированным появлением огня, а также ставятся молниеотводы (рис.6.1).

В транспортно-складских комплексах наравне с профилактическими средствами проводятся также меры по пылеподавлению. Пылеподавление - это организация движения воздуха в зоне источника пыления с целью максимального уменьшения проникновения пылевых частиц в производственную зону и окружающую среду. Процесс пылеподавления для каждого вида пылевых частиц должен быть индивидуальным, с учетом физико-механических свойств данного груза.

Система аспирации (пылеподавления) уменьшает, но не устраняет выделение пыли в окружающую среду. Она не исключает полностью побочные последствия пыления (пожары, взрывы). Установка системы пылеподавления не означает, что окружающая среда будет полностью свободна от пыли. При транспортировке груза возможны ситуации, при которых эффективную борьбу с пылью обеспечить невозможно, а образование взрывоопасных концентраций пыли неизбежно. Например, транспортировка и хранение тарированного сыпучего груза сопряжена с потерями при нарушении целостности тары, а перевозка насыпных зерновых грузов – с истиранием небольшой части наружной поверхности каждого зерна.

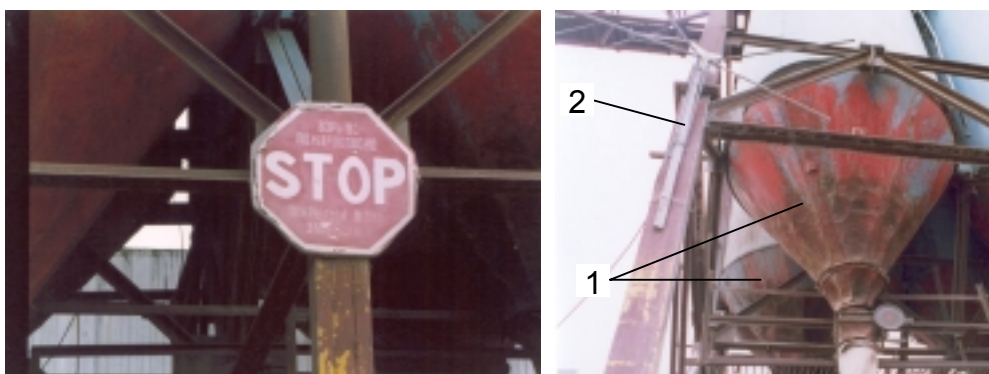


Рис.6.1. Профилактические меры для предотвращения возникновения несанкционированных источников огня: а- табличка с надписью «Взрыво-пожароопасно, открытый огонь запрещен»; б- на : илосном <орпусе (1) установлен молниеотвод (2)

Изъятие пылевых частиц из пылевоздушной смеси требует многофакторного подхода к данной проблеме, учитывающего физико-механические свойства груза, размер пылевых частиц, количество воздуха, необходимого для эффективной борьбы с пылью, технические характеристики и стоимость пылеулавливающих устройств. Производители указанного оборудования обычно следуют указаниям, приведенным в «Руководстве по промышленной вентиляции», и дают технологические характеристики, которые в дальнейшем учитываются при оснащении производственной зоны соответствующим оборудованием.

В идеальном случае система транспортирования должна быть спроектирована с учетом оптимальных мер борьбы с пылью: короткие участки свободного падения, низкая скорость ленточных конвейеров, норий и герметичное оборудование, оснащенное защитными кожухами и колпаками.

## 6.1. Виды пыли

Пыль состоит из мелких твердых частиц, возникающих при разрушении и истирании более крупных частиц в процессе транспортировки и переработки.

Вид и состав пылевых частиц зависит от вида груза и оказывает основное влияние на распространение пламени при пожаре и взрыве.

Спектр перемещаемых грузов в транспортно-складских системах достаточно широк и подразделяется на органические, минеральные и химические (рис.6.2). При этом некоторые грузы могут быть отнесены к двум и более группам.

Органическая пыль, выделяемая зерновыми грузами (пшеница, овес, кукуруза и т.д.), продуктами перемола (мясная, костная, рыбная мука) и различными биодобавками — одна из самых сложных по качественному составу групп соединений, поступающих в окружающую среду.



Рис. 6.2. Классификация видов пыли

Кукуруза считается наиболее пыльным зерном и представляет наибольшую проблему. В сравнении с кукурузой количество пыли, выделяемое пшеницей, незначительно. Кроме того, различные партии зерна содержат различное количество пыли в зависимости от условий уборки и сушки; например, уборка сырой кукурузы и последующая искусственная сушка на элеваторе вместо естественной сушки приводят к повышенному дроблению зерна и более высокому, в сравнении с обычным, количеству пыли.

Продукты перемола, в том числе компоненты комбикорма (мясная, костная, рыбная мука), относятся к менее пыльным грузам в связи с повышенным содержанием животного жира, однако его потеря в результате грузовых операций сопряжена с повышением популяционного состава грызунов и птиц. Биологические добавки способствуют повышенному развитию микробного патогенного и условно-патогенного состава, а также распространению грибов.

К химической пыли относятся пестициды (гербициды, инсектициды), различные виды удобрений (азотные, фосфорные). Повышенную пожаро- и взрывоопасность представляют азотные удобрения, например, аммиачная селитра, входящая в состав взрывчатых веществ.

Минеральная пыль представляет газопылевые выбросы тонких и более крупных частиц (до 63 мкм), строительных материалов (песка, цемента, мела), каменного угля, щебня.

Взрывоопасность пыли обычно возрастает с уменьшением размера частиц. Пыль с размерами частиц 40 мкм и меньше наиболее опасна, и ее предпочтительно не возвращать в транспортный поток, а выгружать из пылеотделителей и хранить в отдельных резервуарах, бункерах, расположенных на расстоянии от складских помещений.

Важное значение при разработке мероприятий, предотвращающих пожаро- и взрывоопасные ситуации, имеет поддержание оптимальной влажности транспортируемого груза. Более сухие частицы легко возгораются. Снижение взрывоопасности благодаря повышенной влажности происходит по двум причинам: поглощение тепла при испарении влаги во время сгорания пыли и уменьшение рассеивания, вызываемое влажностью, что способствует предотвращению равномерного распределения частиц пыли в воздухе и, следовательно, препятствует распространению пламени.

## **6.2. Значимость экологизации транспортно-технологического процесса**

В настоящее время на предприятиях железнодорожного транспорта поднимается вопрос экологической сертификации производства и технологических процессов с минимальным загрязнением производственной зоны и окружающей среды.

Целью данной программы является использование ресурсосберегающих и безотходных технологий, позволяющих обеспечить экологическую безопасность среды обитания, сохранение жизни и здоровья населения. Согласно классификации основных объектов экологической сертификации погрузочно-разгрузочные работы при перемещении пылевывделяющих грузов относятся к источникам загрязнения производственной зоны и окружающей среды, требующим обязательного введения следующих мероприятий:

- комплексная механизация и автоматизация перегрузочных процессов, а также автоматическая сигнализация о ходе отдельных работ и операций, связанных с возможностью выделения вредных веществ;
- применение унифицированных и специализированных обеспыливающих технических средств, защитных устройств, санитарно-технических установок, высокоэффективных средств очистки выбросов;
- применение устройств для измерения и постоянной регистрации количества поступающих в производственную зону и окружающую среду вредных веществ и устройств для регулирования величин выбросов за счет изменения степени очистки и технологического режима перегрузочного процесса и т. д.

Борьба с запыленностью способствует созданию более здоровой производственной зоны, уменьшению затрат на страховку здоровья работающих, эффективную борьбу с грызунами, насекомыми, микроорганизмами и грибами, снижению вероятности возникновения пожаров и взрывов, а также уменьшению потерь груза.

### **6.3. Зоны образования пыли**

К очагам скопления пылевых облаков при функционировании транспортно-технологических линий могут быть причислены:

- транспортные средства при погрузочно-разгрузочных операциях;
- места падения груза в емкость (бункер, кузов и т.п.);
- зона перегрузки с одного конвейера на другой;
- зона перемещения и смешивания груза.

Все перечисленные очаги скопления пыли имеют похожее распределение пылевого потока (рис.6.3).

Образование пыли в перегрузочном процессе обуславливается следующими причинами. При поступлении груза в самотек, первый занимает всю площадь поперечного сечения из-за относительно небольшой начальной скорости, которая с разгоном потока постоянно возрастает. В результате данного процесса происходит отделение пылевых частиц, наибольшая концентрация которых образуется в точке удара частиц груза о поверхность.

Транспортные средства (автомобили, вагоны, баржи) являются основными средствами доставки сыпучих грузов на большие расстоя-

ния. Бортовые автомобили разгружаются в основном с применением автомобилеразгрузчиков, или, в случае с самосвалом, – поднятием кузова. По мере того как автомобиль или кузов поднимают, и груз начинает высыпаться, образуется огромное количество пыли (рис.6.4). При использовании автомобилей с конусным днищем пыль образуется в момент открывания днища и выпуска груза. Вагоны разгружают таким же способом, как и автомобиль с конусным днищем, т. е. путем открытия выпускных заслонок (рис.6.5). Кроме того, если груз при выпуске дозируют с помощью выпускных заслонок или заднего откидного борта автомобиля путем открытия заслонки, то в этой точке выделяется только часть пыли, а не вся ее масса.

В большинстве случаев в технологических процессах для загрузки подвижного состава используют самотеки (рис.6.6). Транспортируемый груз имеет тенденцию достигать высокой скорости, при этом увлекается большое количество воздуха. На выходе из самотека во время падения сыпучего груза в кузов транспортного средства (автомобиля, вагона) выделяется большое количество пыли. С подобными проблемами выделения пыли, но в большом масштабе сталкиваются при разгрузке барж и судов портовых зон.

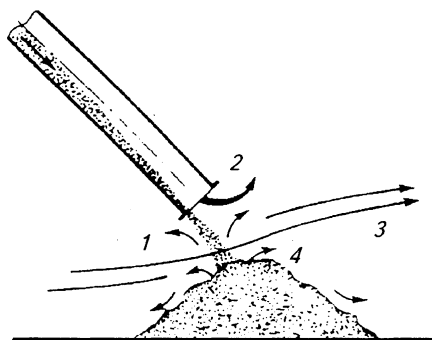


Рис.6.3. Распределения пылевого потока:

- 1– вытесняемая смесь пыли и воздуха;
- 2– пыль, увлекаемая потоком воздуха;
- 3– пыль, унесенная потоком ветра;
- 4– выделение пыли в точке удара

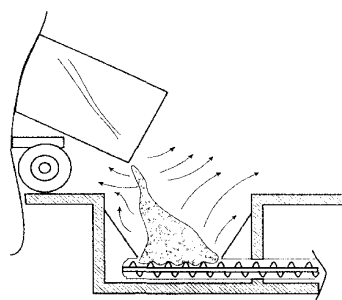


Рис.6.4. Распределение пыли при разгрузке автомобиля

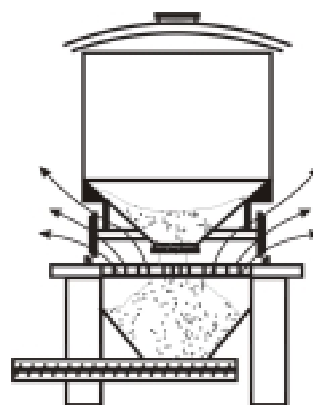


Рис.6.5. Распределение пыли при разгрузке вагона

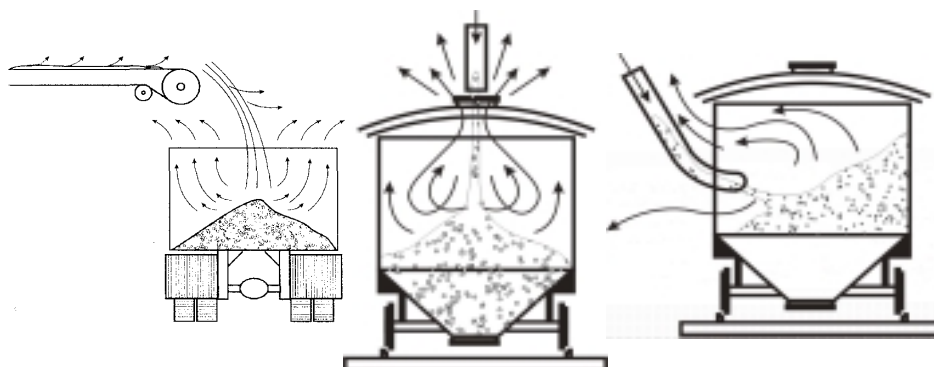


Рис.6.6. Распределение пыли при загрузке подвижного состава:  
а- автомобиля; б- вагона

Разного рода конвейеры также являются интенсивными возбудителями пыли. Работа норий обычно создает запыленность внутри норийных труб, где количество пыли значительно превышает минимальную взрывоопасную концентрацию; следовательно, этот вид оборудования требует повышенного внимания.

При перемещении груза и увлекаемого им потока воздуха нория действует аналогично вентилятору, работающему в режиме нагнетания и всасывания. Если имеются утечки и положительное давление в башмаке, головке или норийной трубе, то непременно образуется источник пыли – это груз.

Ленточные конвейеры – серьезные источники выделения пыли, особенно при их разгрузке и загрузке. Приемные устройства, разгрузочные точки и разгрузочные тележки ленточных конвейеров часто требуют дополнительных устройств для предотвращения выделения пыли в производственную зону и окружающую среду. Открытые ленточные конвейеры, перемещающиеся с высокой скоростью, являются наиболее сильными источниками пыления из-за интенсивного перемещения потока воздуха.

Самотеки и желоба, транспортирующие сыпучий груз, могут выделять много пыли за счет внутренней турбулентности, если они имеют утечки или открыты. Длинные участки самотеков, по которым перемещаются грузы с высокой скоростью и с значительным количеством увлекаемого воздуха, представляют собой больший потенциальный источник, чем короткие самотеки и желоба.

Бункера — особо опасные места, так как они представляют собой закрытые конструкции, и во время заполнения в них образуется высокая концентрация взвешенной пыли (рис. 6.7).

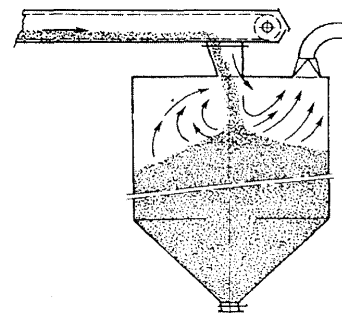


Рис.6.7. Концентрация находящейся в воздухе пыли в аспирируемом бункере

Недостаточная аспирация при технологических процессах приводит к превышению в несколько раз предельно допустимых показателей запыленности производственной зоны, что вызывает профессиональные заболевания дыхательных путей.

#### 6.4. Общие принципы вентилирования и очистки воздуха от пылевых частиц

Перемещение воздушного потока между двумя зонами — результат различия в давлении между ними.

Количество воздуха и его скорость связаны между собой уравнением

$$Q_{\text{в}} = S_{\text{п}} \cdot v, \quad (6.1)$$

где  $Q_{\text{в}}$  — расход воздуха, м<sup>3</sup>/с;

$S_n$  — площадь поперечного сечения желоба,  $\text{м}^2$ ;

$u$  — скорость воздуха,  $\text{м/с}$ .

Разница в давлении, необходимая для перемещения воздуха к отверстию, должна быть достаточной для ускорения потока воздуха от состояния покоя до необходимой скорости (энергия ускорения) и преодоления потерь, обусловленных турбулентностью в отверстии укрытия (потери на входе), которые изменяются с размером отверстия. В теоретически совершенном укрытии потеря турбулентности равна единице.

Воздух, проходящий по воздуховоду, преодолевает сопротивление потоку, обусловленное трением и динамической турбулентностью. Потери на трение — результат контакта между воздухом и поверхностью воздуховода. Динамические потери, вызываемые турбулентностью, связаны с изменением направления или скорости, т.е. они появляются всякий раз, когда изменяется направление трубы или скорость воздуха на площади поперечного сечения.

Результат потерь — падение давления, которое требует дополнительной энергии на поддержание перепада давлений. Величина трения в круглых трубах изменяется прямо пропорционально длине, квадрату скорости и обратно пропорциональна диаметру трубы.

Падение давления, обусловленное динамическими потерями, зависит от числа и типов имеющихся отводов и частоты, с которой происходят изменения скорости воздуха.

Воздух, проходящий через небольшое отверстие под давлением, сохраняет свое направляющее воздействие на значительном расстоянии от плоскости отверстия. Однако, если поток воздуха через такое же отверстие изменил свое направление на обратное так, что отверстие можно считать всасывающим, и через него проходит такой же объем воздуха, то поток будет почти полностью ненаправленным, и сфера его влияния значительно уменьшается.

Процесс очистки газов от твердых и капельных примесей в различных аппаратах характеризуется несколькими параметрами, в частности общей эффективностью очистки:

$$\eta = \frac{(c_{BX} - c_{ВЫХ})}{c_{BX}}, \quad (6.2)$$

где  $c_{BX}$  и  $c_{ВЫХ}$  — массовые концентрации примесей в газе соответственно до и после пылеуловителя.

Очистка в системе последовательно соединенных аппаратов, может быть оценена общей эффективностью очистки:

$$\eta = 1 - (1 - \eta_1) \times (1 - \eta_2) \times \dots \times (1 - \eta_n), \quad (6.3)$$

где  $\eta_1, \eta_2, \eta_n$  — эффективность очистки 1, 2 и  $n$  аппаратов.

В ряде случаев используют понятие фракционной эффективности очистки:



$$\eta_I = \frac{(c_{BXI} - c_{БЫXI})}{c_{BXI}}, \quad (6.4)$$

где  $c_{BXI}$  и  $c_{БЫXI}$  — массовые концентрации  $i$  фракции загрязнителя до и после пылеуловителя.

Для оценки эффективности процесса очистки также используют коэффициент проскока  $K$  частиц через пылеуловитель:

$$K = \frac{c_{БЫХ}}{c_{вх}}. \quad (5.5)$$

Из формул (6.3) и (6.4) следует, что коэффициент проскока и эффективность очистки связаны соотношением:  $K = 1 - \eta$ .

При сравнительной оценке задерживающей способности пылеуловителей различных типов, кроме общей и фракционной эффективности очистки, используют понятие «медианной  $d_{50}$  тонкости очистки». Она определяется размерами частиц, для которых эффективность осаждения в пылеуловителе составляет 0,50.

## 6.5. Основные способы борьбы с пылью

Все способы борьбы с пылью схематично можно разделить на три группы:

- конструктивные решения без учета аспирации, рассматриваемые как при проектировании предприятия, так и в процессе всего периода эксплуатации;
- пассивное пылеподавление (установка кожухов, рукавов, мягких переносных ограждений, конструкций, препятствующих выходу пыли из системы);
- активное пылеподавление (установка в производственных помещениях устройств очистки воздуха).

Основным принципом конструктивных решений при установке и обслуживании оборудования является максимальное сохранение пылевых частиц в среде груза и предотвращение их распространения в воздухе производственной зоны.

Для этого ленточные конвейеры выполняются с использованием глубоких желобчатых роlikоопор, а умеренные скорости ленты позволяют контролировать воздушные потоки вокруг нее. Оптимальное натяжение ленты транспортера должно обеспечить ее минимальное провисание между роlikоопорами и устранить «подпрыгивание» сыпучего груза на каждой желобчатой роlikоопоре. Длинных участков свободного падения и крутых углов падения груза в трубах и желобах следует избегать, т.к. это приводит к турбулентности и увлекает воз-

дух, что может вызвать выделение пыли. Для уменьшения выделения пыли на неизбежно длинных участках можно эффективно использовать тормозные коробки и оборудование для подачи груза в плотном слое. Загрузчики такого типа часто обеспечивают более эффективную загрузку при меньшем объеме воздуха.

Для весов и подобного оборудования, где сыпучий груз выгружается партиями, следует использовать внутренний переток, позволяющий сохранять пылевые частицы в емкости (рис. 6.8).

При работе с пылевывделяющими грузами желательно использовать закрытые системы, к которым относятся винтовой и полностью закрытый скребковый конвейеры, а также нории. Крышки и смотровые отверстия норий должны быть закрытыми и обеспечены быстродействующими зажимами для их снятия. Крышки бункеров и смотровые отверстия оборудуются прокладками, все щели, отверстия и трещины ликвидируются, что обеспечивает пыленепроницаемость в воздух производственной зоны.

Горизонтальные поверхности и выступы в производственных зданиях, галереях и навесах, которые накапливают пыль, следует устранять путем установки наклонных поверхностей на этих элементах. Если произойдет взрыв, неподвижная пыль с плоской поверхности поднимется, и будет находиться в воздухе, что может привести к повторному взрыву.

Грубым вертикальным бетонным стенам и распоркам от боковых стен до других строительных конструкций, на которых оседает пыль, необходимо с помощью цементного раствора придать гладкую поверхность или окрасить высокоглянцевой эмалевой или эпоксидной краской.

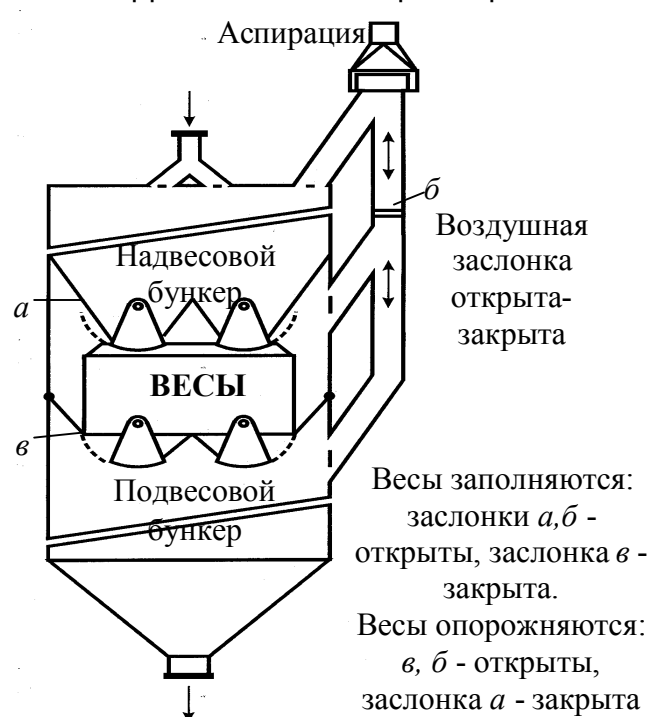


Рис.6.8. Весы с системой внутреннего вентилирования

Но даже с учетом всех конструктивных мер предотвращения пыления невозможно полностью избежать проникновения пылевых частиц в профзону и окружающую среду. Для решения данной проблемы используются пассивные методы борьбы с пылью (установка кожухов, рукавов, мягких переносных ограждений и т.д.). В производственном помещении необходимо регулярно проводить влажную уборку, препятствующую накоплению пыли более 0,3 мм на гладких поверхностях.

В местах максимального пыления устанавливается специальное пылеулавливающее оборудование, основанное на принципиальных особенностях механизма отделения твердых частиц от воздушной или газовой фазы. Пылеулавливающее оборудование весьма разнообразно и может быть разделено на 4 типа (рис.6.9).

Наиболее простыми и широко распространенными являются *аппараты сухой очистки* воздуха от крупной неслипающейся пыли. К их числу относятся разнообразные по конструкции циклоны, принцип действия которых основан на использовании центробежной силы, действующей на частицы пыли во вращающемся потоке воздуха (рис.6.10).

Газы, подвергаемые очистке, вводятся через патрубок по касательной к внутренней поверхности корпуса. За счет тангенциального подвода происходит закрутка газопылевого потока. Частицы пыли отбрасываются к стенке корпуса и по ней ссыпаются в бункер. Газ, освободившись от пыли, поворачивает на 180° и выходит из циклона через трубу. Циклон такой конструкции разработан НИИОГАЗом и предназначен для улавливания сухой пыли аспирационных систем. Его рекомендуется использовать для предварительной очистки газов и устанавливать перед фильтрами или электрофильтрами. Для очистки газа от пыли используются цилиндрические (ЦН-11, ЦН-15, ЦН-24, ЦП-2) и конические (СК-ЦН-34, СК-ЦН-34М и СДК-ЦН-33) циклоны.

Для очистки больших масс газов используются батарейные циклоны, состоящие из большого числа параллельно установленных циклонных элементов, расположенных в одном корпусе и имеющих общий подвод и отвод газов. Эффективность работы батарейных циклонов на 20-25% ниже, чем у одиночных, что объясняется перетоком газов между циклонными элементами.



Рис.6.9. Классификация пылеулавливающего оборудования

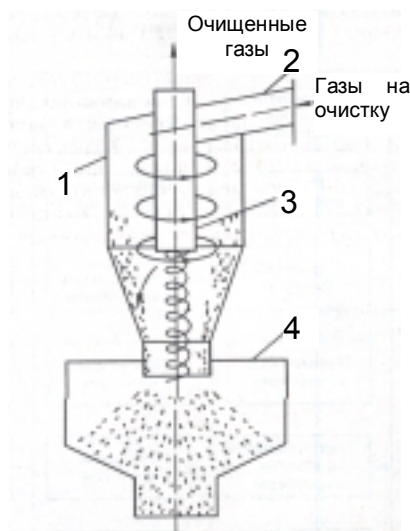


Рис.6.10. Схема работы циклона: 1-корпус; 2-патрубок; 3-труба; 4-бункер

Для разделения газового потока на очищенный и обогащенный пылью газ используются жалюзийные пылеотделители (рис.6.11).

На жалюзийной решетке поток воздуха, подаваемого на очистку, с расходом  $Q$  разделяется на два потока: очищенный с расходом  $Q_1 = (0,8-0,9)Q$  и обогащенный пылью –  $Q_2 = (0,1-0,2)Q$ . Отделение частиц пыли от основного газового потока на жалюзийной решетке происходит под действием инерционных сил, которые заставляют частицы пыли двигаться вдоль жалюзийной решетки, а также за счет отражения частиц от поверхности решетки при соударении. Очищенный от пыли поток воздуха проходит через отверстия жалюзийной решетки. Обогащенный пылью газовый поток направляется в циклон,

где очищается от пыли, и подводится в очищенный поток газа за жалюзийной решеткой. Жалюзийные пылеотделители отличаются простотой конструкции, хорошо komponуются в газоходах и обеспечивают эффективность очистки, равную 0,8 для частиц размером более 20 мкм. Они применяются для очистки дымовых газов от крупнодисперсной пыли при температуре до 450-600°C.

Ротационные пылеуловители предназначены для очистки воздуха от частиц размером более 5 мкм и относятся к аппаратам центробежного действия, которые одновременно с перемещением воздуха очищают его от пыли. Принципиальная конструкция простейшего ротационного пылеотделителя представлена на рис.6.12. Вентиляторное колесо обеспечивает подачу содержащего пыль воздуха или газа. Причем частицы пыли, обладающие большей массой, под действием центробежных сил отбрасываются к стенке спиралеобразного кожуха и движутся вдоль нее в направлении пылеприемного отверстия, через которое они отводятся в пылевой бункер, а очищенный газ поступает в

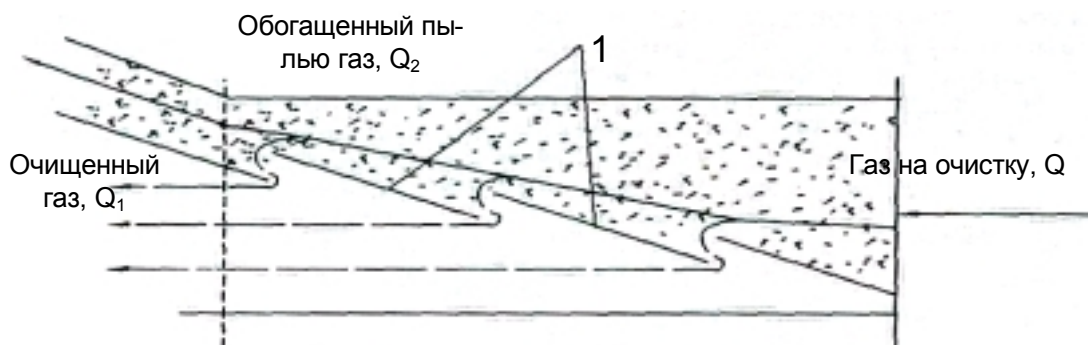


Рис.6.11. Жалюзийный пылеотделитель: 1 — решетка

отводящий патрубок. На этом же принципе действия основаны и более сложные противопоточные ротационные пылеотделители. Аппараты ротационного типа отличаются компактной конструкцией, так как вентилятор и пылеуловитель совмещены в одном корпусе, и обеспечивают достаточно высокую эффективность очистки воздуха или газа, содержащих сравнительно крупные частицы пыли размером более 20...40 мкм.

*Аппараты мокрой очистки* воздуха или скрубберы имеют широкое распространение из-за высокой эффективности очистки от частиц мелкодисперсной пыли с размером более 0,3...1,0 мкм, а также в связи с возможностью очистки от пыли горячих и взрывоопасных газов. Принцип их действия основан на осаждении частиц пыли на поверхности капель или пленки жидкости, которой может быть вода (при очистке от пыли) или химический раствор (при улавливании одновременно с пылью вредных газообразных компонентов). Такая комплексная очистка газов является важным достоинством аппаратов мокрой очистки — полых форсуночных скрубберов рис. 6.13.

Наиболее простыми по конструкции являются полые или форсуночные скрубберы, в которых запыленный газовый поток по патрубку направляется на зеркало жидкости, на котором осаждаются наиболее крупные частицы пыли. Затем запыленный газ, равномерно распределенный по сечению корпуса, поднимается навстречу потоку капель жидкости, подаваемой в скруббер через форсуночные пояса, которые образуют несколько завес из распыленной на капли

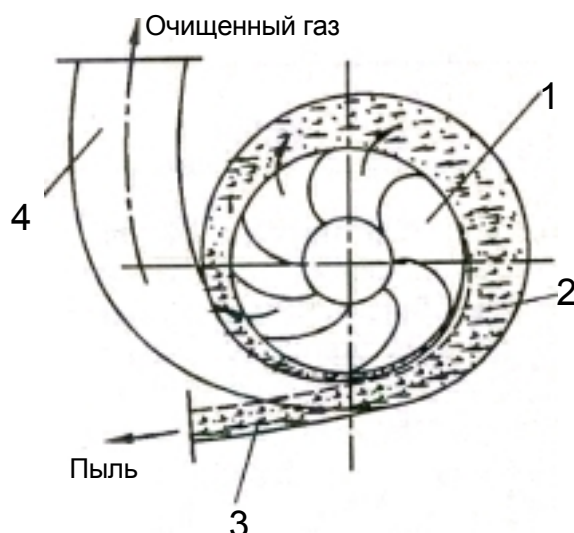


Рис.6.12. Пылеулавливатель ротационного типа:

- 1- вентиляторное колесо;
- 2- спиральный кожух;
- 3- пылеприемное отверстие;
- 4- отводящий патрубок

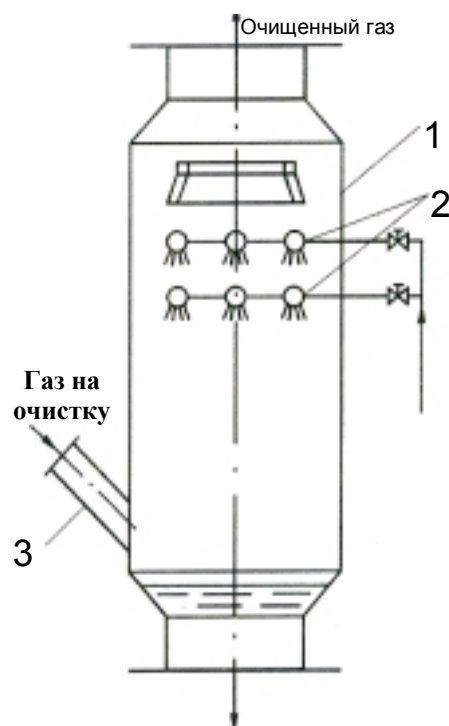


Рис.6.13. Форсуночный скруббер:

- 1- корпус;
- 2- форсуночные пояса;
- 3- патрубок

орошающей жидкости. Аппараты этого типа работают по принципу противотока.

Очищаемый газ движется навстречу распыляемой жидкости. Эффективность очистки, достигаемая в форсуночных скрубберах, невысока и составляет 0,6...0,7 для частиц с размером более 10 мкм. Одновременно с очисткой воздух, проходящий через полый форсуночный скруббер, охлаждается и увлажняется до состояния насыщения.

Наряду с полыми скрубберами широко используются насадочные скрубберы (рис.6.14), представляющие собой колонны, заполненные специальными насадками в виде колец или шариков, изготовленных из пластмассовых или керамических элементов или крупного шлака и щебня. Насадка может распределяться в виде отдельных регулярных слоев или беспорядочно.

За счет насадки скруббер обладает хорошо развитой поверхностью контакта между газом и орошающей жидкостью, пленка которой образуется на элементах насадки и постоянно разрушается, перетекая с одного элемента насадки на другой.

Элементы, используемые в качестве насадки, обладают большой удельной поверхностью, т. е. поверхностью, приходящейся на единицу объема насадки. Такими элементами часто являются кольца Рашига, представляющие собой керамические или пластмассовые полые цилиндры, или свободно перемещающиеся полые или сплошные шары из пластмассы или резины диаметром 20...40 мм. Насадочные скрубберы используются в основном для предварительного охлаждения газа, улавливания тумана или хорошо растворимой пыли, например, сульфата натрия, присутствующего в дымовых газах содорегенерационных котлоагрегатов.

Для мокрой очистки от пыли нетоксичных или невзрывоопасных газов применяют центробежные скрубберы (рис.6.15), в которых частицы пыли отбрасываются на пленку жидкости центробежными силами, возникающими при вращении газового потока в аппарате за счет тангенциального расположения входного патрубка в корпусе. Пленка жидкости толщиной не менее 0,3 мм создается подачей воды через распределительное устройство и непрерывно стекает вниз, увлекая в бункер частицы пыли. Эффективность очистки газа от пыли в аппаратах такого типа зависит главным образом от диаметра корпуса аппарата, скорости газа во входном патрубке и дисперсности пыли.

Наиболее распространенными аппаратами мокрой очистки газов являются скрубберы Вентури (рис.6.16), которые состоят из орошающей форсунки, трубы Вентури и каплеуловителя. Труба Вентури состоит из сужающегося участка (конфузора), в который подается очищаемый газ из расширяющегося участка (диффузора). Орошающая жидкость вводится при помощи форсунок, распыляющих ее на капли, движущиеся со скоростью 30...40 м/с. Этот поток капель увлекает

очищаемые газы. В трубе Вентури происходит осаждение частиц пыли на каплях жидкости, которое зависит от поверхности капель и относительно скорости частиц жидкости и пыли в диффузорной части. Степень очистки в значительной мере зависит от равномерности распределения капель жидкости по сечению конфузорной части трубы Вентури. В диффузорной части поток тормозится до скорости 15...20 м/с и подается в каплеуловитель. Каплеуловитель обычно представляет собой прямоточный циклон. Скрубберы Вентури обеспечивают

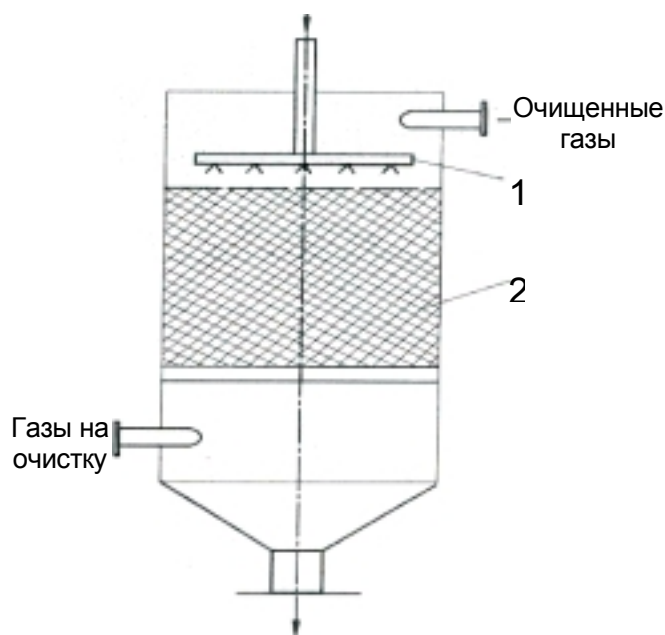


Рис.6.14. Насадочный скруббер: 1- орошающее устройство; 2- насадка

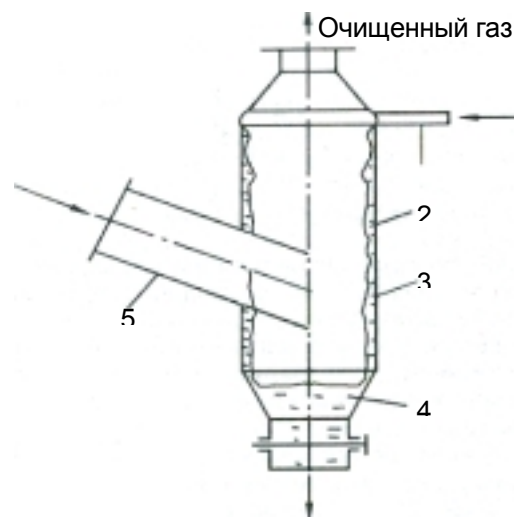


Рис.6.15. Центробежный скруббер: 1- распределительное устройство; 2- пленка жидкости; 3- корпус; 4- бункер; 5- входной патрубок



Рис.6.16. Скруббер Вентури: 1 - орошаемая фарсунка; 2 - труба Вентури; 3 - каплеуловитель

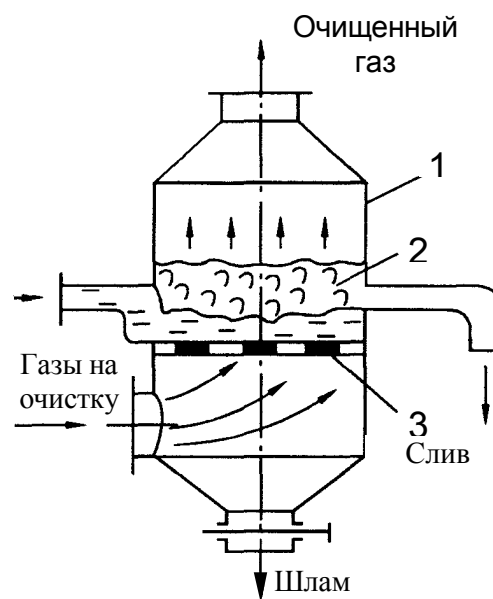


Рис.6.17. Барботажно-пенный пылеуловитель с переливной решеткой: 1- корпус; 2- слой пены; 3- переливная решетка



высокую эффективность очистки аэрозолей (до 99%), со средним размером частиц 1-2мкм при начальной концентрации примесей до 100 г/м<sup>3</sup>.

К мокрым пылеуловителям относятся барботажно-пенные пылеуловители с провальной и переливной решетками (рис.6.17). В таких аппаратах очищаемый газ подается под решетку и проходит через слой жидкости, очищаясь от частиц пыли. При малых скоростях очищаемого воздуха или газа, не превышающих 1 м/с, последний проходит через слой орошающей жидкости в виде отдельных пузырьков. Такой режим работы аппарата называется барботажным. Дальнейший рост скорости очищаемого газа в корпусе аппарата до 2...2,5м/с приводит к возникновению пенного слоя над слоем жидкости, что повышает эффективность очистки газа за счет более интенсивного перемешивания газовой и жидкой фаз. Современные барботажно-пенные пылеуловители обеспечивают эффективность очистки газа от мелкодисперсной пыли до величин 0,95...0,96.

Недостатком таких аппаратов является засорение решеток, что приводит к снижению эффективности очистки газов при их неравномерной подаче под решетку, приводящей к местному сдвигу с нее слоя жидкости.

К недостаткам работы мокрых пылеуловителей следует отнести: образование большого количества шламосодержащих стоков, для обработки которых необходимо специальное оборудование; наличие в очищенных газах капель жидкости с частицами пыли, забивающих газоходы, дымососы и вентиляторы.

Для отделения очищенного воздуха от капель и брызг жидкости все сепараторы снабжены специальными устройствами. Простейшим способом удаления влаги из очищенного воздуха является расширение его потока, в результате чего происходит снижение скорости газа, и капли под действием силы тяжести отделяются. Широко используются также жалюзийные решетки, состоящие из профилированных пластин, установленных в потоке очищенных газов, соударяясь с которыми, капли теряют энергию и оседают. Такие решетки весьма эффективны, но обладают повышенным гидравлическим сопротивлением и склонны к забиванию слипшейся пылью. В качестве каплеуловителей используются также циклоны.

*Аппараты фильтрационной очистки* предназначены для тонкой очистки газов за счет осаждения частиц пыли на поверхности пористых фильтрующих перегородок. Осаждение частиц в порах фильтрующих элементов происходит в результате совокупного действия эффекта касания, а также диффузионного, инерционного и гравитационного процессов. Классификация фильтров основана на типе фильтровальной перегородки, конструкции фильтра и его назначении, тонкости очистки и т. д.



По типу перегородки фильтры делятся на: с зернистым слоем (неподвижные свободно насыпанные зернистые материалы, псевдооживленные слои); с гибкими пористыми перегородками (ткани, войлоки, волокнистые маты, губчатая резина, пенополиуретан и др.); с полужесткими пористыми перегородками (вязаные и тканые сетки, прессованные спирали и стружка); с жесткими пористыми перегородками (пористая керамика, пористые металлы и др.).

Выбор фильтрующих материалов определяется требованиями к очистке и условиями их работы: степенью очистки, температурой, влажностью, агрессивностью газов, количеством и размером пыли. Все используемые материалы должны обладать высокой пылеемкостью (количеством пыли, оседающей на единице поверхности фильтрующего материала), стабильностью свойств в условиях действия температуры и влаги, механической и химической стойкостью, способностью легко освобождаться от уловленной пыли в процессе регенерации, невысокой стоимостью.

Большинство промышленных фильтрующих установок работает в двух режимах — фильтрации и регенерации, т. е. очистки от уловленной пыли. Регенерация повышает степень использования фильтрационных материалов и удешевляет процесс очистки. Она производится путем встряхивания, периодической продувкой или промывкой. В результате поры материалов освобождаются от уловленной пыли и они могут использоваться повторно.

В системах промышленной газоочистки широкое распространение нашли рукавные фильтры непрерывного действия с импульсной продувкой, с цилиндрическими рукавами из шерстяной или синтетической ткани (рис.6.18). Скорость прохождения газа через поры тканей, т. е. скорость фильтрации невысока и составляет от 0,02 до 0,2 м/с.

Очистка (регенерация) фильтрационной ткани, из которой изготовлен рукав, производится периодической импульсной продувкой сжатым воздухом каждого рукава по очереди. Такие фильтры могут состоять из одной или нескольких секций, в каждой из которых может быть от 4-6 до нескольких сотен рукавов. При

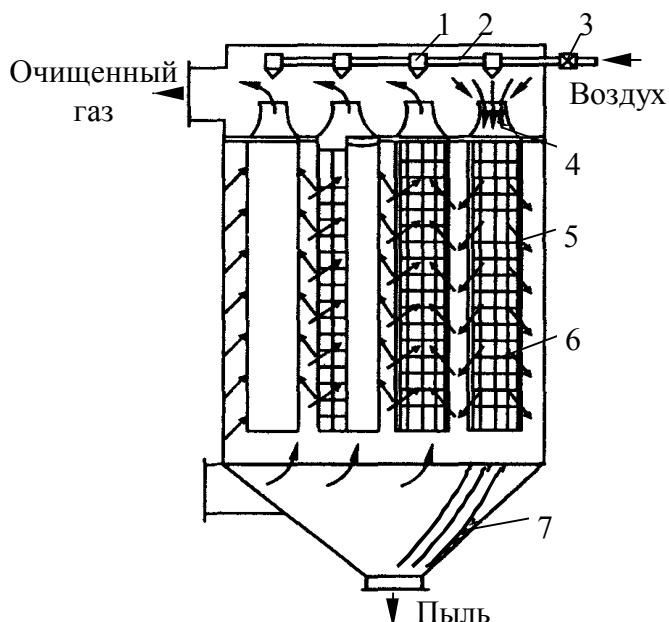


Рис.6.18. Каркасный рукавный фильтр с импульсной продувкой: 1 - сопло; 2 - подвод сжатого воздуха; 3 - соленоидный клапан; 4 - струя сжатого воздуха; 5 - рукав; 6 - каркас; 7 - бункер

очистке больших объемных расходов газов при небольших скоростях фильтрации поверхность фильтрующих рукавов достаточно велика, что приводит к большим габаритам таких фильтров.

*Аппараты электрофильтрационной очистки* предназначены для очистки больших объемных расходов газа от пыли и тумана (масляного), в частности дымовых газов содорегенерационных котлоагрегатов. Конструкция таких агрегатов отличается большим разнообразием, но принцип действия одинаков и основан на осаждении частиц пыли в электрическом поле. На рис.6.19 представлены различные типы электрофильтров.

Очищаемые газы проходят через систему коронирующих и осадительных электродов. К коронирующим электродам подведен ток высокого (до 60 кВ) напряжения, благодаря коронному разряду происходит ионизация частиц пыли, которые приобретают электрический заряд. Заряженные частицы двигаются в электрическом поле в сторону осадительных электродов и оседают на них.

Осевшая пыль удаляется из электрофильтров встряхиванием электродов в сухих электрофильтрах или промывкой в мокрых. В однокоронных электрофильтрах (см. рис.6.19 а, б) ионизация и осаждение частиц осуществляется в одной зоне. Для тонкой очистки газов наиболее эффективными являются двухзонные электрофильтры, в которых ионизация частиц происходит в специальном ионизаторе. Электрофильтры могут состоять из одной или нескольких секций, в каждой из которых создается свое электрическое поле. Аппараты с последовательным расположением таких секций называются многопольными, а с параллельным — многосекционными или многокамерными.

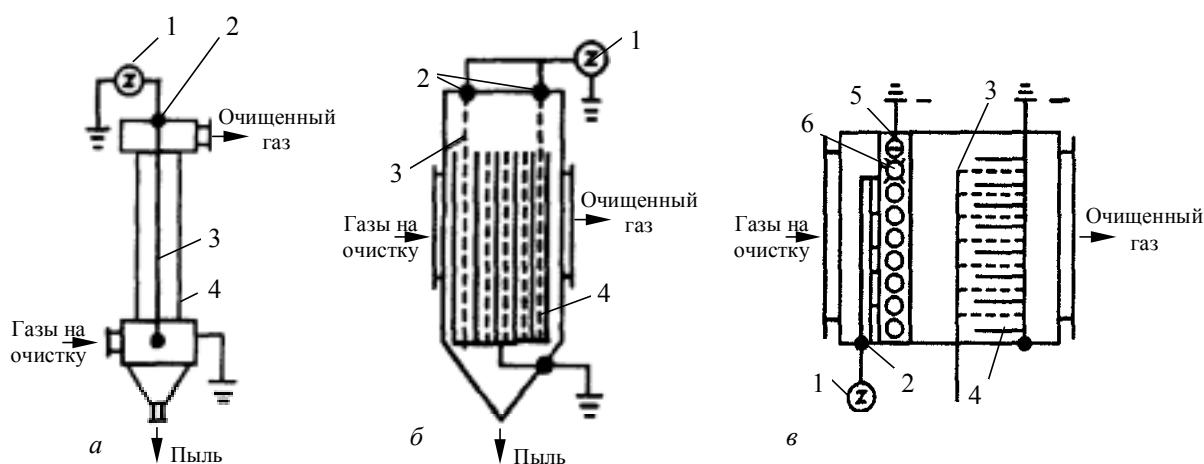


Рис.6.19. Типы электрофильтров: а - вертикального трубчатого однокоронного однопольного; б - горизонтального пластинчатого однокоронного однопольного; в - горизонтального двухзонного однопольного; 1- агрегаты электропитания; 2- изоляторы; 3- коронирующие электроды; 4 - осадительные электроды; 5 - отрицательные электроды ионизатора; 6- положительные электроды ионизатора

Для очистки вентиляционных выбросов от пыли, туманов минеральных масел, пластификаторов и т. п. разработаны электрические туманоуловители типа УУП (рис.6.20). Они состоят из корпуса, в котором установлен блок электродов типа ФЭ (двухзонный электрофильтр), который питается от источника напряжением 13 кВ.

Подвод питания к электродам осуществляется через высоковольтные электроизоляторы с клеммами. Загрязненный воздух через входной патрубок, распределительную решетку и сетку поступает к блоку электродов, очищается от примесей и, пройдя каплеуловитель, подается на выход. Примеси загрязнений, отделенные от воздуха, собираются в воронках и сливаются через гидрозатворы. Туманоуловители УУП отличаются высокой эффективностью и низким гидравлическим сопротивлением.

Условием эффективной работы электрофильтров является герметичность камер, исключая подсос воздуха, приводящий к вторичному уносу загрязнения. Достоинством электрофильтров является высокая

эффективность очистки при соблюдении оптимальных режимов работы, сравнительно низкие затраты энергии, а недостатком — большая металлоемкость и крупные габариты.

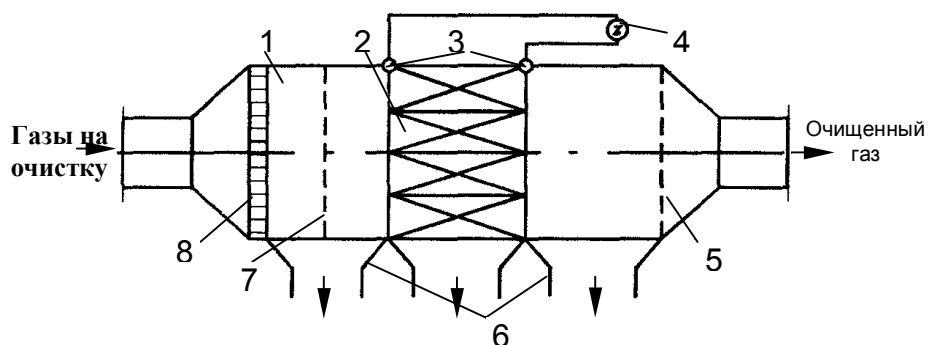


Рис.6.20. Туманоуловитель УУП: 1- корпус; 2- блок электродов; 3- высоковольтные электроизоляторы с клеммами; 4- источник напряжения; 5- каплеуловитель; 6- воронка; 7- сетка; 8- распределительная бешетка

## 6.6. Выбор оборудования

При подборе оборудования для оснащения производственной зоны необходимо учитывать следующие факторы:

- требуемую эффективность очистки;
- общий расход воздуха в  $\text{м}^3/\text{мин}$ ;
- количество и характеристики удаляемой пыли;
- атмосферные условия;
- параметры воздушного потока;
- необходимость непрерывной работы;
- потребление энергии;
- взрыво- и пожаробезопасность данного оборудования;
- габаритные характеристики;

- стоимость с установкой и эксплуатацией выбираемого оборудования.

Перечисленные факторы указываются в технологических характеристиках оборудования.

Детальное и полное изучение деятельности предприятия, всех источников и содержания пыли, схемы материалопроводов позволит выбрать оборудование, максимально выполняющее требуемые функции с учетом простого доступа для обслуживания данного оборудования.

Система пылеудаления включает ряд составных элементов, каждый из которых должен функционировать в соответствии с исходными параметрами конструкции, обеспечивающими максимальную эффективность. Неправильно выбранная конструкция или неправильное срабатывание какого-либо одного элемента может вызвать выход из строя всей системы. Рассматриваемые ниже факторы подробно анализируют эти элементы, описывая их функцию в системе и методику использования для обеспечения эффективной эксплуатации.

*Расход воздуха и производительность транспортирования.* При механическом транспортировании сыпучего груза обычной является аспирация всех точек, где изменяется направление его движения или где имеется точка удара, а также других мест возможного выделения пыли. Расход воздуха в различных системах должен соответствовать подаче сыпучего груза, длине пути его падения и т. п. Как показывает опыт, расход воздуха в местах отсоса на транспортирующем оборудовании и при заполнении силосов должен быть в 5...10 раз больше объема транспортируемого продукта.

*Скорость воздуха для захвата частиц пыли.* Этот параметр представляет собой скорость воздуха в любой точке перед точкой аспирации, необходимую для преодоления воздушных потоков противоположного направления и захвата запыленного воздуха. При наличии ленточного конвейера система обеспыливания должна иметь достаточную производительность, чтобы удалить не только вытесненный воздух, но и обеспечить разрежение во всех отверстиях. Такие скорости колеблются от 1 м/с (минимальная скорость для уноса пыли) для точек перегрузки конвейеров, перемещающихся с низкой скоростью, до 4 м/с для некоторых высокоскоростных конвейеров в условиях неупорядоченных воздушных потоков.

*Скорость воздуха.* Одним из наиболее распространенных отказов в аспирационных системах является закупорка воздухопроводов, вызываемая несбалансированностью системы и слишком низкой скоростью в ответвлениях. Сразу после забора запыленного воздуха на всем пути до фильтра необходимо поддерживать надлежащие скорости транспортирования пылевоздушной смеси, чтобы предотвратить оседание частиц пыли в воздухопроводах. Закупорка или блокировка одного или более ответвлений уменьшает общий расход в системе и со-

ответственно снижает скорости в системе воздухопроводов. Повреждение, вмятины и коррозия воздухопроводов будут увеличивать сопротивление, а подсос в них повышает скорость воздуха на последующем участке и уменьшает ее на предшествующем воздуховоде. Кроме того, прилипание пыли и условия конденсации в присутствии пыли могут вызвать дополнительное сопротивление для движения пыли и закупорку.

### **6.7. Правила техники безопасности и охрана труда при работе с сыпучими грузами**

С учетом специфики выполняемых погрузочно-разгрузочных операций с сыпучими грузами работники обязаны соблюдать требования правил техники безопасности (ЦД/ЦЛ 3116), местные инструкции по охране труда и требования при транспортировании и размещении сыпучих материалов:

1. Для бестарного транспортирования пылевидных грузов должны применяться, в основном, автомобильные и железнодорожные транспортные средства, оборудованные устройствами для загрузки и саморазгрузки. Доставка данного груза должна осуществляться специальными контейнерами.
2. Цемент, гипс и порошковая известь на небольшие расстояния и с небольшим объемом работ могут доставляться в специальных контейнерах или складах-контейнерах.
3. Автоцементовозы загружаются через загрузочные люки из складов силосного типа или через систему самозагрузки при приеме цемента из крытых железнодорожных вагонов. Разгрузка производится пневматической системой автоцементовоза.
4. Вагоны-цементовозы загружаются через загрузочные люки из складов силосного типа, люки после загрузки должны быть герметически закрыты. Разгрузка производится пневматической системой объекта, принимающего цемент.
5. Разгрузка вагонов-цементовозов бункерного типа должна производиться самотеком. Зависший в процессе разгрузки материал надлежит удалять при помощи вибраторов или специальными лопатами (шуровками) с удлиненными ручками. Запрещается для удаления остатков груза из вагона ударять по обшивке цистерны вагона (кувалдой, ломом и т.п.).
6. После разгрузки крышки люков вагона-цементовоза должны быть закрыты до фиксированного положения. Запрещается оставлять вагон с открытыми загрузочными и разгрузочными люками.
7. Контейнеры могут быть оборудованы пневматической или гравитационной системой загрузки, а для разгрузки – аэрационно-пневматической или гравитационной системой с полной или порцион-

ной выдачей. Контейнеры могут быть изготовлены из металла или из резинокордового материала (мягкие контейнеры).

8. Жесткие металлические и мягкие загруженные контейнеры могут штабелироваться при хранении в три яруса.

9. Для выгрузки цемента, известковой муки и других порошковых грузов из железнодорожных крытых вагонов должны применяться разгрузчики всасывающего или всасывающе-нагнетательного действия.

10. Для пневматического транспортирования порошкообразных грузов могут применяться пневматические винтовые, пневматические камерные, пневматические струйные насосы, аэрационный способ транспортирования.

11. Ручные работы по разгрузке цемента при его температуре 40°C и более не допускаются. Работники к работам с пылевидными материалами без спецодежды, респираторов и противопыльных очков допускаться не должны.

11.1 Спецодежда выбирается на основании ГОСТ 12.4.016-83 (костюм хлопчатобумажный, куртка брюки хлопчатобумажные на утепляющей прокладке, шапка, берет) на срок до 1,5 лет.

11.2 Специальная обувь выбирается в соответствии с требованиями ГОСТ 12.4.127-83 (ботинки, сапоги кирзовые, валенки в зимний период года).

11.3 Средства индивидуальной защиты органов дыхания (СИЗОД) должны выбираться в соответствии с требованиями ГОСТ 12.4.034-85. Респиратор газопылезащитный «Кама-А» ТУ6-17-227.0П-90 предназначен для защиты органов дыхания от паров органических соединений (бензин, керосин, толуол и др.) и пыли (растительная, минеральная, металлическая и др.).

11.4 Средства индивидуальной защиты глаз и лица должны соответствовать требованиям ГОСТ 12.4.001-80 «Защитные пыленепроницаемые очки».

11.5 Средства защиты рук должны соответствовать требованиям ГОСТ 12.4. 103-83, ГОСТ 12.4.133-83 – «ССБТ. Средства защиты рук. Рукавицы. Технические условия». Рукавицы изготавливают пяти типов:

Б - с втачным напалком;

В - с напалком, цельнокроенным с нижней частью рукавицы;

Г - с напалком, расположенным сбоку по перегибу рукавицы, предназначенной как для правой, так и для левой руки;

Д - с двумя напалками для большого и указательного пальцев;

Е - удлиненные с крагами, стягивающимися у запястья эластичной лентой, с наладонником и наставочным напалком.

Промышленность выпускает четыре номера рукавиц: 0, 1, 2, 3.

11.6. Санитарно-гигиенические средства (хозяйственное и туалетное мыло, защитные крема, пищевая сода).

12. Для открытия люков вагонов бункерного типа и дверей крытых вагонов необходимо применять специальные рычаги. Запрещается находиться в зоне возможного падения крышки люка.

13. Открывать верхний люк вагона-цементовоза с пневморазгрузкой и у автоцементовозов всех типов разрешается после проверки отсутствия давления в емкости.

14. Цистерну с порошкообразными материалами ставить на опорные стойки разрешается на ровной поверхности с твердым грунтом или с применением специальных прокладок.

15. Запрещается повышать давление в цистерне автоцементовоза более 0,15 МПа.

16. Эксплуатация компрессора без обратного клапана, без предохранительного клапана, со снятыми кожухами ограждения не допускается.

17. При погрузке на железнодорожный и автомобильный подвижной состав контейнеров с порошкообразными материалами нахождение работников на платформе не допускается.

18. В местах погрузки и выгрузки цемента и др. пылевидных материалов на эстакадах должны быть предусмотрены ограждения для безопасной работы на крыше вагона. Запрещается работникам во время разгрузки находиться внутри вагона.

19. Во время работы пневматического разгрузчика пылевидных материалов подходить к заборному устройству ближе 1 м не разрешается. Свободное пространство вокруг осадительной камеры пневморазгрузчика должно быть не менее 0,8 м. При повышении давления в смесительной камере разгрузчика всасывающе-нагнетательного действия более 0,14 МПа необходимо отключить электродвигатель привода шнека и перекрыть подачу сжатого воздуха в смесительную камеру.

20. При повышении давления в смесительной камере более 0,14 МПа для пневмовинтового подъемника и 0,2 МПа для пневмовинтового насоса необходимо отключить электродвигатель и перекрыть подачу сжатого воздуха. Затем, регулируя вентилем давления в смесительной камере (не более 0,25 МПа), продуть транспортный трубопровод сжатым воздухом до падения давления в смесительной камере до 0,03...0,05 МПа.

21. Запрещается оставлять работающие компрессоры (кроме полностью автоматизированных) без надзора обслуживающих лиц.

После выполнения работы с пылящими грузами, обеспыливание одежды осуществляют в специальных камерах или на открытом воздухе, при необходимости замачивают в мыльном растворе на 6...8 часов. После этого 2-3 раза стирают в горячем мыльном растворе. После стирки спецодежду отжимают и прополаскивают последовательно в горячей, теплой и холодной воде, а затем просушивают. Лучше всего стирать в стиральных машинах.

Лицевые части противогазов и респираторов ежедневно после работы должны быть тщательно промыты в теплой воде с мылом и продезинфицированы ватным тампоном, смоченным в спирте или в 0,5%-ном растворе марганцевокислого калия. После дезинфекции лицевой части противогазы и респираторы вновь следует промыть в чистой воде и высушить при температуре 30-35°C.

За хранением, проверкой и зарядкой респираторов, противогазов и других индивидуальных средств защиты, а также обезвреживанием, должно следить одно лицо.

На складе на видных местах должны быть вывешены плакаты, инструкции и правила о мерах предосторожности при погрузочно-разгрузочных работах, мерах пожарной безопасности и по оказанию первой помощи.

### **Контрольные вопросы по 6 главе**

1. В чем опасность образования пыли, и каковы методы борьбы с ней?
2. Какие имеются виды пылевых составов?
3. Почему необходимо проводить экологическую сертификацию производства?
4. При каких условиях происходит пылеобразование в транспортно-технологических системах?
5. В чем заключаются способы борьбы с пылью?
6. Какие типы оборудования используются при пылеподавлении?
7. Чем руководствуются при оснащении предприятия устройствами пылепоглощения?
8. Каковы основные положения техники безопасности при работе с сыпучими грузами?



## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В транспортной системе страны одно из важнейших мест отводится складам, использующимся для приема, аккумулярования, подготовки груза к перевозке, а также как пункты перевалки. Работа транспортно-складских комплексов оказывает непосредственное воздействие на сохранность грузов и качество перевозок в целом. Нарушение бесперебойной работы отпускных устройств хранилища увеличивает нормативное время погрузо-разгрузочных и транспортно-складских операций, приводит к необходимости использования ручного труда, осложняет санитарно-эпидемиологическую обстановку в рабочей зоне.

Существенное повышение эффективности переработки сыпучих грузов может быть достигнуто путем одновременного развития транспортной и складской составляющей перевозочного процесса. Совершенствование отпускных элементов транспортно-складского комплекса позволит значительно улучшить операции по загрузке подвижного состава сыпучими грузами. Аналогичные задачи имеются не только в транспортно-складской системе, но и в большой степени во внутризаводских производственных пунктах.

Для получения необходимой эффективности от использования бункеров и силосов новой конструкции при их конструировании следует всесторонне изучить и учесть физико-механические свойства той или иной группы сыпучих грузов, для которой предназначено данное устройство.

Одним из основополагающих принципов создания ресурсосберегающих бункерно-силосных систем является максимальное использование при выпуске потенциальной энергии, которой обладает столб материала, загруженного в емкость. У бункеров с боковым щелевым выпускным отверстием до конца не использованы резервы улучшения конструкции. Однако они позволяют наиболее полно реализовать возможности оптимизации качественных и энергетических показателей выгрузки сыпучих грузов.

Непременным условием эффективного функционирования бункерно-силосных устройств является синхронизация гравитационного истечения материала с принудительным выпуском за счет рабочих органов питателя. Гравитационное истечение грузов достигается в бункерах, стенки которых имеют гладкую поверхность и установлены под большим углом ( $60^\circ$  и более) к горизонту. Необходимым элементом этого вида истечения является также большое выпускное отверстие, что не всегда выполняется в производственных условиях, так как не соблюдается конфигурация бункера в угоду планировочных решений.

Создание предприятий, способных производить конкурентоспособную продукцию и модернизация существующего производства должны отражаться на технологии и оборудовании, отличающимся

высокой надежностью при оптимальных энергозатратах. Себестоимость продукции, качество изготовления, ремонтпригодность технических средств следует учитывать как критерии, имеющие определяющее значение при выборе вариантов технического обеспечения технологических линий переработки насыпных грузов.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Башкин Л.В., Буренин П.Д., Краюшкин Б.А., Румянцев Г.М. Бестарное хранение муки, отрубей и комбикормов / Под ред. П.Д. Буренина. – М.: Колос, 1974. – 224 с.
  2. Богомяких В.А. Теория и расчет бункеров для зернистых материалов. – Ростов-на-Дону: Изд-во Ростовского университета, 1973. – 150 с.
  3. Боуманс Г. Эффективная обработка и хранение зерна. Перевод с английского В. И. Дашевского. – М.: Агропромиздат, 1991. – 608 с.
  4. Рогинский Г.А. Дозирование сыпучих материалов. – М.: Химия, 1978. – 172 с.
  5. Гячев А.В. Теория бункеров. – Новосибирск: Изд. Новосибирского университета, 1968. – 148 с.
  6. Гячев Л.В. Движение сыпучих материалов в трубах и бункерах. – М.: Машиностроение, 1968. – 184 с.
  7. Дженике Э.В. Складирование и выпуск сыпучих материалов. Пер. с англ. – М.: Мир, 1968. – 164 с.
  8. Зенков Р.Л. и др. Бункерные устройства / Р.Л. Зенков, Г.П. Гриневич, В.С. Исаев. – М.: Машиностроение, 1977. – 223 с.
  9. Зенков Р.Л. Механика насыпных грузов. Обоснование расчета погрузочно-разгрузочных и транспортных устройств. – М.: Машиностроение, 1964. – 251 с.
  10. Зимон А.А., Андрианов Е.И. Аутогезия сыпучих материалов. – М.: Металлургия, 1978. – 288 с.
  11. Зимон А.Д. Адгезия пыли и порошков. – Изд. 2-е. – М.: Химия, 1976. – 432 с.
  12. Инструкция по проектированию элеваторов, зерноскладов и других предприятий, зданий и сооружений по обработке и хранению зерна СН 261-77. – М.: Стройиздат, 1977.
  13. Кандауров И.И. Механика зернистых сред и ее применение в строительстве. – Л.: Стройиздат, 1988. – 280 с.
  14. Квапил Р. Движение сыпучих материалов в бункерах. – М.: Государственное научно-техническое издательство литературы по горному делу, 1961. – 80 с.
  15. Липницкий М.Е., Абрамович Ж.Р. Проектирование железобетонных бункеров и силосов. – М.: Государственное издательство литературы по строительству, архитектуре и строительным материалам. 1960. – 288 с.
  16. Лойко Л.М. и др. Погрузка и выгрузка цемента в таре и навалом. – М. Издательство литературы по строительству, 1971. – 129 с.
  17. Методика определения экономической эффективности технологий и сельскохозяйственной техники. – М.: МСХ. 1998. – 220 с.
  18. Платонов П.Н. и др. Элеваторы и склады / П.Н. Платонов, В.Г. Лебединский, В.Б. Фасман. – 2-е изд., пераб. и дополн. – М.: Агропромиздат, 1987. – 316 с.
  19. Погрузочно-разгрузочные работы с насыпными грузами: Справочник / Д.С. Плюхин, Е.Г. Угодин, Е.А. Иконников, Л.И. Алькинская; Под редакцией Д.С. Плюхина. – М.: Транспорт, 1989. – 303 с.
  20. Рогинский Г.А. Дозирование сыпучих материалов. – М.: Химия, 1978. – 174 с.
  21. Степанов А.Л. Портовое перегрузочное оборудование: Учебное пособие для вузов. – М.: Транспорт, 1996. – 328 с.
  22. Степанов А.Л. Экологический инжиниринг портовых технологий: Порт как природопользователь в системе судоходства и региональных техноантропогенных нагрузок. – СПб.: Элмор, 1994. – 136 с.
  23. Строкин И.И. Перевозка и складирование строительных материалов / Справочник. – М.: Стройиздат, 1991. – 460 с.
  24. Черняев М.П. Технология комбикормового производства – М.: Колос, 1992. – 340 с.
  25. Чурков Н.А., Эстлинг А.А. Общее устройство вагонов и их взаимодействие с техническими средствами железных дорог: Учеб. пособие. – СПб.: ПГУПС, 1997. – 126 с.
- Шилкин В.И., Кузьмюков В.Р., Любченко В.Б. Типаж и структура средств механизации погрузочно-разгрузочных и складских работ. – Рязань: ГНУ ВНИМС, 2001. – 128 с.

## ПРИЛОЖЕНИЕ 1

Таблица 1

Фракционно-гранулометрический состав сыпучих материалов по крупности

| Группа материалов | Фракции         | Размер частиц, мм |
|-------------------|-----------------|-------------------|
| Кусковые          | Крупнокусовые   | >130              |
|                   | Среднекусовые   | от 60 до 160      |
|                   | Мелкокусовые    | от 10 до 60       |
| Мелкофракционные  | Крупнозернистые | от 2 до 10        |
|                   | Мелкозернистые  | от 0,5 до 2       |
|                   | Порошкообразные | от 0,05 до 0,5    |
|                   | Пылевидные      | <0,05             |

Таблица 2

## Физико-механические свойства зерновых грузов

| Наименование груза | Объемная масса, т/м <sup>3</sup> | Коэффициент внутреннего трения | Коэффициент внешнего трения по |             |             | Угол естественного откоса | Влажность   |
|--------------------|----------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|-------------|-------------|---------------------------|-------------|
|                    |                                  |                                | стали                          | дереву      | резине      |                           |             |
| Бобы               | 0,59...0,80                      | ---                            | 0,58...0,65                    | 0,49        | 1,04        | 31                        | 7,8         |
| Вика               | 0,75...0,83                      | ---                            | 0,36                           | 0,42        | 0,45...0,60 | 35                        | ---         |
| Горох              | 0,78...0,83                      | 0,44...0,55                    | 0,42                           | 0,35        | 0,47        | 25...27                   | 10,1...18,4 |
| Гречиха            | 0,65...0,7                       | 0,52                           | 0,53                           | 0,57        | 0,60        | 45                        | ---         |
| Кукуруза (зерно)   | 0,70...0,75                      | 0,53                           | 0,36...0,58                    | 0,30...0,62 | 0,60...0,80 | 35                        | ---         |
| Подсолнечник       | 0,36...0,40                      | 0,60                           | 0,60...0,75                    | 0,39        | 0,68...0,75 | 45                        | ---         |
| Просо              | 0,85                             | 0,54                           | 0,42...0,44                    | 0,43        | 0,47...0,60 | 29                        | ---         |
| Пшеница            | 0,70...0,83                      | 0,50...0,56                    | 0,36...0,58                    | 0,53        | 0,47...0,60 | 26...31                   | 12          |
| Рожь               | 0,65...0,70                      | 0,49                           | 0,58                           | 0,78        | 0,60        | 32                        | ---         |
| Рис                | 0,67...0,75                      | 0,75...0,78                    | 0,53                           |             |             | 34...38                   | 14          |
| Семя льняное       | 0,55...0,67                      | 0,43                           | 0,34                           | 0,37        | 0,60        | 35                        | ---         |
| --- конопляное     | 0,48...0,56                      | 0,65...1,00                    | 0,25...0,45                    | 0,31...0,48 | ---         | 27                        | ---         |
| Овес               | 0,42...0,55                      | 0,51                           | 0,40...0,60                    | 0,37...0,73 | 0,55        | 35                        | 15          |
| Чечевица           | 0,75...0,85                      | 0,46...0,70                    | ---                            | 0,44        | ---         | 27,5...35                 | ---         |
| Фасоль             | 0,53...0,58                      | ---                            | ---                            | ---         | ---         | 30...35                   | 16,1        |
| Ячмень             | 0,65...0,75                      | 0,51                           | 0,37...0,60                    | 0,33...0,62 | 0,47...0,66 | 35...39                   | ---         |

Таблица 3

## Физико-механические свойства сырья и комбикормов

| Наименование материала                     | Влажность, % | Плотность, т/м <sup>3</sup> | Угол естественного откоса, град. | Угол обрушения, град | Коэффициент истечения | Коэффициент внутреннего трения | Коэффициент внешнего трения |              |                    | Начальное сопротивление сдвигу, Па | Сопротивление разрушению, 10 <sup>6</sup> Па | Коэффициент поглощения влаги |
|--------------------------------------------|--------------|-----------------------------|----------------------------------|----------------------|-----------------------|--------------------------------|-----------------------------|--------------|--------------------|------------------------------------|----------------------------------------------|------------------------------|
|                                            |              |                             |                                  |                      |                       |                                | бетон                       | сталь черная | сталь оцинкованная |                                    |                                              |                              |
| 1                                          | 2            | 3                           | 4                                | 5                    | 6                     | 7                              | 8                           | 9            | 10                 | 11                                 | 12                                           | 13                           |
| <b>1. Зерновые компоненты</b>              |              |                             |                                  |                      |                       |                                |                             |              |                    |                                    |                                              |                              |
| Зерносмесь                                 | 10,88        | 0,59                        | 41                               | 180                  | 0,39                  | 0,62                           | 0,50                        | 0,37         | 0,21               | 140,0                              | 0,051                                        | 0,032                        |
| Овес измельченный                          | 12,03        | 0,54                        | 50                               | 85                   | 0,39                  | 0,70                           | 0,53                        | 0,37         | 0,22               | 290,0                              | 0,102                                        | 0,027                        |
| Ячмень измельченный                        | 9,87         | 0,60                        | 40                               | 75                   | 0,49                  | 0,63                           | 0,40                        | 0,19         | 0,17               | 130,0                              | 0,128                                        | 0,043                        |
| Кукуруза измельченная                      | 13,10        | 0,69                        | 45                               | 95                   | 0,53                  | 0,65                           | 0,47                        | 0,25         | 0,13               | 50,0                               |                                              | 0,026                        |
| Пшеница измельченная                       | 9,83         | 0,69                        | 40                               | 60                   | 0,77                  | 0,74                           | 0,40                        | 0,27         | 0,12               | 110,0                              | 0,077                                        | 0,031                        |
| Отруби пшеничные                           | 11,80        | 0,34                        | 43                               | 110                  | 0,43                  | 0,45                           | 0,49                        | 0,40         | 0,25               | 260,0                              | 2,050                                        | 0,035                        |
| Мука                                       | ---          | 0,45...0,70                 | 55                               | ---                  | ---                   | 0,57...1,16                    | 0,60                        | 0,59...0,65  | ---                | 50                                 | ---                                          | ---                          |
| <b>2. Белково-витаминные добавки (БВД)</b> |              |                             |                                  |                      |                       |                                |                             |              |                    |                                    |                                              |                              |
| Мука травяная                              | 11,25        | 0,302                       | 40                               | 135                  | 0,74                  | 0,80                           | 0,55                        | 0,35         | 0,34               | 230,0                              | 1,170                                        | 0,037                        |
| Мука хвойная                               | 6,32         | 0,232                       | 50                               | 180                  | 0,27                  | 0,86                           | 0,57                        | 0,30         | 0,25               | 250,0                              | 0,030                                        | 0,044                        |
| Шрот подсолнечный (жир-1,5%)               | 8,95         | 0,458                       | 41                               | 70                   | 0,53                  | 0,65                           | 0,54                        | 0,30         | 0,19               | 130,0                              | 0,204                                        | 0,035                        |
| Жмых подсолнечный (жир-7%)                 | 6,73         | 0,584                       | 40                               | 90                   | 0,44                  | 0,63                           | 0,45                        | 0,36         | 0,18               | 125,0                              | 0,130                                        | 0,033                        |
| Жмых соевый (жир-7%)                       | 4,19         | 0,703                       | 47                               | 130                  | 0,32                  | 0,77                           | 0,40                        | 0,33         | 0,17               | 180,0                              | 0,204                                        | 0,034                        |
| Дрожжи кормовые                            | 8,20         | 0,669                       | 32                               | 60                   | 0,16                  | 0,51                           | 0,53                        | 0,37         | 0,24               | 20,0                               | 0,230                                        | 0,033                        |
| Кормовой концентрат лизин                  | 6,00         | 0,531                       | 42                               | 115                  | 0,26                  | 0,78                           | 0,40                        | 0,30         | 0,20               | 220,8                              | 3,570                                        | 0,075                        |

Продолжение таблицы 3

| 1                                                      | 2     | 3     | 4  | 5   | 6    | 7    | 8    | 9    | 10   | 11    | 12    | 13    |
|--------------------------------------------------------|-------|-------|----|-----|------|------|------|------|------|-------|-------|-------|
| <b>3.орма животного происхождения</b>                  |       |       |    |     |      |      |      |      |      |       |       |       |
| Мука мясная (жир.-11%)                                 | 9,83  | 0,630 | 50 | 180 | 0,38 | 0,82 | 0,52 | 0,40 | 0,5  | 270,0 | 0,250 | 0,421 |
| Мука мясокостная (жир-13%)                             | 4,96  | 0,682 | 45 | 180 | 0,43 | 0,70 | 0,50 | 0,25 | 0,3  | 170,0 | 0,130 | 0,033 |
| Мука рыбная (жир-10%)                                  | 10,08 | 0,682 | 48 | 110 | 0,35 | 0,76 | 0,42 | 0,33 | 0,1  | 175,0 | 0,130 | 0,032 |
| Молоко сухое обезжиренное                              | 7,66  | 0,397 | 30 | 120 | 0,20 | 0,67 | 0,56 | 0,40 | 0,1  | 40,0  | 0,204 | 0,037 |
| <b>4. Минеральные кормовые добавки</b>                 |       |       |    |     |      |      |      |      |      |       |       |       |
| Мел                                                    | 4,98  | 1,023 | 45 | 180 | 0,46 | 0,70 | 0,65 | 0,59 | 0,40 | 180,0 | 3,100 | 0,053 |
| Соль поваренная                                        | 1,22  | 1,114 | 43 | 115 | 0,60 | 0,57 | 0,38 | 0,40 | 0,34 | 185,0 | 6,020 | 0,049 |
| Карбамид                                               | 9,10  | 0,549 | 35 | 45  | 0,68 | 0,53 | 0,35 | 0,25 | 0,33 | 90,0  | 0,360 | 0,030 |
| <b>5. Готовая продукция комбикормового предприятия</b> |       |       |    |     |      |      |      |      |      |       |       |       |
| Комбикорм КК-55, 116-74 (3% мелассы)                   | 12,20 | 0,528 | 35 | 90  | 0,47 | 0,73 | 0,54 | 0,45 | 0,24 | 250,0 | 1,450 | 0,040 |
| Комбикорм КК-55, 116-74 (3% мелассы)                   | 12,20 | 0,523 | 35 | 90  | 0,47 | 0,75 | 0,55 | 0,45 | 0,26 | 110,0 | 3,080 | 0,040 |
| Комбикорм ПК-1 ВРЖ 193-296 (3% жира)                   | 11,20 | 0,647 | 40 | 50  | 0,50 | 0,67 | 0,55 | 0,32 | 0,17 | 200,0 | 0,052 | 0,040 |
| Комбикорм ПК-1 ВРЖ 193-296 (6% жира)                   | 11,20 | 0,656 | 40 | 60  | 0,50 | 0,67 | 0,52 | 0,33 | 0,18 | 120,0 | 0,052 | 0,040 |

Таблица 4

## Некоторые физико-механические свойства минеральных удобрений

| Наименование удобрений                   | Сыпучесть удобрений по 12-и балльной шкале | Высота вертикальной стоящей стенки удобрений (в Примм) |               | Пределный диаметр сводов образующего отверстия удобрения |               | Кoeffициент уплотнения, $k_y$ | Влажность, $W$ , % | Среднее сопротивление разрушению, кгс/см <sup>2</sup> | Степень слеживаемости | Плотность груза, т/м |              | Кoeffициент внутреннего трения, $k_{\text{вн}}$ | Угол естественного откоса в движении, $\alpha$ | Начальное сопротивление прогибу, Па |
|------------------------------------------|--------------------------------------------|--------------------------------------------------------|---------------|----------------------------------------------------------|---------------|-------------------------------|--------------------|-------------------------------------------------------|-----------------------|----------------------|--------------|-------------------------------------------------|------------------------------------------------|-------------------------------------|
|                                          |                                            | С свободном насыпании                                  | С уплотнением | При свободном насыпании                                  | С уплотнением |                               |                    |                                                       |                       | Свободно насыпанного | Нижнего слоя |                                                 |                                                |                                     |
|                                          |                                            |                                                        |               |                                                          |               |                               |                    |                                                       |                       |                      |              |                                                 |                                                |                                     |
| Фосфорные удобрения                      |                                            |                                                        |               |                                                          |               |                               |                    |                                                       |                       |                      |              |                                                 |                                                |                                     |
| 1                                        | 2                                          | 3                                                      | 4             | 5                                                        | 6             | 7                             | 8                  | 9                                                     | 10                    | 11                   | 12           | 13                                              | 14                                             | 15                                  |
| Суперфосфат порошкообразный (из апатита) | 9,5                                        | 30                                                     | >250          | 75                                                       | >200          | 1,09                          | 12,0               | До 1                                                  | Слегка слеживается    | 1,19                 | 1,26         | 0,72                                            | 26                                             | 200                                 |
| Суперфосфат гранулированный (из апатита) | 11                                         | 0                                                      | 0             | 15                                                       | ---           | 1,04                          | 4,60               | ---                                                   | Не слеживается        | 1,10                 | 1,21         | 0,93 ... 1,05                                   | 34                                             | 100                                 |
| Двойной суперфосфат гранулированный      | 11                                         | 0                                                      | 0             | <15                                                      | ---           | 1,05                          | 2,90               | ---                                                   | То же                 | ---                  | ---          | 0,93 ... 1,05                                   | 34                                             | ---                                 |
| Двойной суперфосфат                      | 9,5                                        | 0                                                      | 20            | 50                                                       | 75            | ---                           | 2,92               | ---                                                   | ---                   | ---                  | ---          | 0,72                                            | 34                                             | ---                                 |



[illegible]

|                             |    |   |   |   |     |     |      |      |      |                    |      |      |      |    |     |
|-----------------------------|----|---|---|---|-----|-----|------|------|------|--------------------|------|------|------|----|-----|
| Диаммо-фос                  | 11 | 0 | 0 | 0 | <10 | --- | 1,06 | 2,87 | 2,1  | Слеживается        | 0,89 | 0,93 | 0,55 | 28 | 200 |
| Нитрофоска сульфатная №1    | -- | 0 | 0 | 0 | <10 | --- | 1,50 | 3,58 | До 1 | Слегка слеживается | ---  | ---  | 0,81 | 33 | --- |
| Нитрофоска «выможенная» №43 | -- | 0 | 0 | 0 | <10 | --- | 1,00 | 2    | До 1 | То же              | ---  | ---  | ---  | 30 | --- |

Таблица 5

## Физико-механические свойства тукосмесей

| Наименование удобрений и туко-<br>смесей                                                        | Влаж-<br>ность,<br>% | Гранулометрический состав |    |                             | Слеживаемость                                       | Объем-<br>ная<br>масса,<br>т/м <sup>3</sup> | Угол естест-<br>венного откоса                    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------|---------------------------|----|-----------------------------|-----------------------------------------------------|---------------------------------------------|---------------------------------------------------|
|                                                                                                 |                      | Основная масса            |    | Частицы<br>менее 1<br>мм, % |                                                     |                                             |                                                   |
|                                                                                                 |                      | размер,<br>мм             | %  |                             |                                                     |                                             |                                                   |
|                                                                                                 |                      |                           |    |                             |                                                     |                                             |                                                   |
| Туко-смесь марки 1:1:1 (аммиачная<br>селитра+двойной гранул. супер-<br>фосфат+ хлористый калий) | 4..6                 | 1 – 4                     | 85 | 7                           | Начала слеживаться<br>после 30 суток хране-<br>ния  | 1,1                                         | 35 <sup>0</sup> (до начала<br>слеживаемо-<br>сти) |
| Туко-смесь марки 1:1:1 (карба-<br>мид+двойной гранул. суперфосфат+<br>хлористый калий           | 5..8                 | 1 – 4                     | 85 | 7                           | Начала слеживаться<br>после 45 суток хране-<br>ния  | 1,1                                         | 37 <sup>0</sup> (до начала<br>слеживаемо-<br>сти) |
| Туко-смесь марки 1:0:1 (сульфат ам-<br>мония+ хлористый калий)                                  | 4..6                 | 1 – 4                     | 90 | 6                           | Начала слеживаться<br>после 90 суток хране-<br>ния  | 1,1                                         | 39 <sup>0</sup> (до начала<br>слеживаемо-<br>сти) |
| Туко-смесь марки 0:1:1 (двойной гра-<br>нул. суперфосфат+ хлористый ка-<br>лий)                 | 4..5                 | 1 – 4                     | 87 | 6                           | Начала слеживаться<br>после 180 суток хране-<br>ния | 1,2                                         | 33 <sup>0</sup>                                   |

Таблица 6

Гранулометрический состав удобрений (в % к массе навески)

| Наименование удобрений                               | Размер частиц, мм |      |     |      |      |      |       |          |      |
|------------------------------------------------------|-------------------|------|-----|------|------|------|-------|----------|------|
|                                                      | 10                | 10-7 | 7-5 | 5-3  | 3-2  | 2-1  | 1-0,5 | 0,5-0,25 | 0,25 |
| Фосфорные удобрения                                  |                   |      |     |      |      |      |       |          |      |
| Суперфосфат порошкообразный (из апатита)             | ---               | 0,4  | 3   | 7,4  | 8,0  | 2,4  | 13,9  | 64,2     | 0,7  |
| Суперфосфат гранулированный (из апатита)             | 0,1               | 0,1  | 0,3 | 19,1 | 49   | 10,6 | 18,2  | 2,4      | 0,2  |
| Двойной суперфосфат                                  | ---               | ---  | --- | 4,4  | 12,8 | 64,2 | 17,2  | 0,9      | 0,4  |
| Азотные удобрения                                    |                   |      |     |      |      |      |       |          |      |
| Аммиачная селитра                                    | ---               | ---  | 1,4 | 6,9  | 60,8 | 23,1 | 7,8   | ---      | ---  |
| Аммиачная селитра с добавкой апатитового концентрата | ---               | 0,7  | 0,4 | 1,4  | 46,3 | 15,7 | 29,9  | 4,0      | 1,6  |
| Карбамид                                             | ---               | ---  | --- | 0,8  | 1,8  | 2,9  | 54,0  | 39,0     | 1,5  |
| Калийные удобрения                                   |                   |      |     |      |      |      |       |          |      |
| Калий хлористый                                      | ---               | 1,6  | 3,8 | 6,1  | 4,0  | 0,9  | 5,5   | 50,7     | 27,4 |
| Калий хлористый флотационный                         | ---               | 0,3  | 0,4 | 1,0  | 0,9  | 0,4  | 14,1  | 51,7     | 31,2 |
| Сложные удобрения                                    |                   |      |     |      |      |      |       |          |      |
| Аммофос гранулированный (из фосфоритов Каратау)      | ---               | 0,1  | 0,1 | 16,9 | 49,6 | 29,0 | 3,9   | 0,2      | 0,2  |
| Диаммофос                                            | ---               | ---  | --- | 28,8 | 50,6 | 19,3 | 1,0   | 0,2      | 0,1  |
| Нитрофоска сульфатная №1                             | ---               | 0,1  | 0,5 | 39,4 | 58,0 | 0,8  | 0,8   | 0,2      | 0,2  |
| Нитрофоска «вымороженная» №43                        | ---               | ---  | --- | 30,4 | 58,7 | 1,3  | 1,6   | 1,8      | 6,2  |

Таблица 7

## Физико-механические свойства строительных грузов

| Наименование груза                                      | Объемная масса, т/м <sup>3</sup>          | Коэффициент внутреннего трения | Коэффициент внешнего трения по |             |                    | Коэффициент динамического уплотнения | Начальное сопротивление сдвигу, Па |
|---------------------------------------------------------|-------------------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|-------------|--------------------|--------------------------------------|------------------------------------|
|                                                         |                                           |                                | стали                          | дереву      | резине             |                                      |                                    |
| Гипс крупнокусовый;<br>мелкокусовой;<br>порошкообразный | 1,43...1,60<br>1,20...1,40<br>0,81...1,80 | 0,58...0,82                    | 0,61...0,78                    | ---         | 0,70...0,82        | 1,14...1,52                          | ---                                |
| Глина сухая,<br>порошкообразная                         | 0,40...1,28                               | 0,84...1,00                    | 0,75...1,00                    | 0,75...1,00 | ---                | ---                                  | ---                                |
| Гравий                                                  | 1,50...2,00                               | 0,49...1,00                    | 0,58...1,00                    | ---         | ---                | ---                                  | ---                                |
| Известняк<br>среднекусовой                              | 1,47...1,50                               | 0,57...1,26                    | 0,56...1,00                    | 0,70        | 0,66               | 1,09...1,18                          | До 100                             |
| Известь<br>гашеная;<br>шламовая                         | 0,32...0,63<br>0,64                       | ---                            | 0,35<br>0,6                    | ---         | ---                | ---                                  | ---                                |
| Камень<br>средне и мелкокусовой                         | 1,31...1,50                               | 0,75                           | 0,58...0,84                    | ---         | ---                | ---                                  | ---                                |
| Песок<br>крупный;<br>мелкий                             | 1,40...1,90<br>1,23...1,65                | 0,57...0,84<br>1,00...1,20     | 0,32...0,80<br>---             | ---         | 0,46...0,56<br>--- | 1,16...1,29<br>---                   | ---                                |
| Цемент<br>портландский<br>шламовый                      | 0,96...1,60<br>0,90...1,20                | ---                            | ---                            | ---         | ---                | ---                                  | ---                                |
| Шлак<br>угольный                                        | 0,66...0,90                               | 0,56...1,19                    | 0,40...1,19                    | 0,30        | 0,46...0,65        | 1,15...1,19<br>1,2...1,28            | до 150<br>---                      |
| Щебень                                                  | 1,32...2,00                               | 0,57...1,00                    | 0,47...0,73                    | 0,30...0,60 | ---                | ---                                  | ---                                |

Таблица 8

## Физико-механические свойства сыпучих грузов

| Наименование груза       | Объемная масса, т/м <sup>3</sup> | Коэффициент внутреннего трения | Коэффициент |             |           | Коэффициент внешнего трения по |         |  | Коэффициент динамического уплотнения | Начальное сопротивление сдвигу, Па |
|--------------------------|----------------------------------|--------------------------------|-------------|-------------|-----------|--------------------------------|---------|--|--------------------------------------|------------------------------------|
|                          |                                  |                                | стали       | дереву      | резине    |                                |         |  |                                      |                                    |
| 1                        | 2                                | 3                              | 4           | 5           | 6         | 7                              | 8       |  |                                      |                                    |
| Картофель                | 0,60-0,77                        | -                              | 0,45...0,79 | 0,42...0,59 | ---       | -                              | -       |  |                                      |                                    |
| Клинкер                  | 1,28-1,52                        | 0,55-0,66                      | -           | -           | -         | -                              | -       |  |                                      |                                    |
| Кокс                     | 0,38-0,63                        | 0,52-1,19                      | 0,47-0,63   | 0,83-1,00   | -         | -                              | -       |  |                                      |                                    |
| Нефелиновый концентрат   | 1,10-1,26                        | 0,60-0,85                      | 0,30-0,68   | 0,58-0,60   | 0,60-0,62 | 1,12-1,19                      | 100-200 |  |                                      |                                    |
| Криолит                  | -                                | 0,52-1,12                      | 0,55-0,95   | 0,59-0,68   | 0,60-0,65 | 1,17-1,23                      | 60-150  |  |                                      |                                    |
| Опилки древесные         | 0,16-0,30                        | 0,60-1,50                      | 0,39-0,83   | -           | 0,51-0,65 | 1,29-1,40                      | 30-360  |  |                                      |                                    |
| Поташ                    | 0,66-0,85                        | 0,41-0,43                      | 0,31        | 0,3-0,35    | 0,36-0,40 | 1,08                           | -       |  |                                      |                                    |
| Руда железная            | 2,10-2,40                        | 0,57-0,85                      | 0,57-0,84   | -           | -         | -                              | -       |  |                                      |                                    |
| Агломерат железной руды  | 1,70-2,00                        | 2,00                           | -           | -           | -         | -                              | -       |  |                                      |                                    |
| Апатит порошкообразный   | 1,58-1,70                        | 0,60-0,65                      | 0,58        | 0,60        | 0,63      | 1,20                           | 50      |  |                                      |                                    |
| Глинозем порошкообразный | 1,02-1,07                        | 0,54-0,56                      | 0,42-0,54   | 0,45-0,53   | 0,46-0,48 | 1,13-1,20                      | 10-80   |  |                                      |                                    |
| Зола сухая               | 0,40-0,90                        | 0,84-1,20                      | 0,60-0,85   | 1,0         | -         | 1,05-1,08                      | -       |  |                                      |                                    |
| Карбид кальция           | 1,16-1,80                        | 0,75                           | 0,30-0,55   | -           | -         | -                              | -       |  |                                      |                                    |
| Пыль угольная            | -                                | -                              | 0,32-0,77   | -           | -         | -                              | -       |  |                                      |                                    |
| Солод                    | -                                | 0,41-1,2                       | 0,49-1,2    | -           | -         | -                              | -       |  |                                      |                                    |
| Спек дробленый           | -                                | 0,93-1,14                      | 0,51-0,69   | 0,6-0,74    | 0,58-0,79 | 1,07-1,20                      | До 70   |  |                                      |                                    |
| Руда марганцевая         | 1,70-2,00                        | -                              | 0,57...0,84 | -           | -         | -                              | -       |  |                                      |                                    |
| Сахар                    | 0,70-0,88                        | 1,19                           | 0,85-1,00   | -           | -         | -                              | -       |  |                                      |                                    |
| Сода кальцинированная    | 0,40-1,25                        | 0,71-1,02                      | 0,30-0,70   | 0,48        | 0,44-0,68 | 1,08-1,17                      | До 100  |  |                                      |                                    |
| Соль поваренная          | 0,72-1,85                        | 0,57-1,20                      | -           | -           | 0,63      | 1,11-1,14                      | -       |  |                                      |                                    |
| Сульфат аммония          | 0,71-1,02                        | 0,84                           | -           | -           | -         | -                              | -       |  |                                      |                                    |

| Наименование груза                 | Объемная масса, т/м <sup>3</sup> | Коэффициент внутреннего трения | Коэффициент внешнего трения по |           |             | Коэффициент динамического уплотнения | Начальное сопротивление сдвигу, Па |
|------------------------------------|----------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|-----------|-------------|--------------------------------------|------------------------------------|
|                                    |                                  |                                | стали                          | дереву    | резине      |                                      |                                    |
| Торф                               | 0,29-0,80                        | 0,62-1,19                      | 0,45-0,75                      | 0,35-0,80 | -           | -                                    | -                                  |
| Уголь каменный антрацит            | 0,80-0,95                        | 0,51-1,00                      | 0,29-0,84                      | 0,84-1,00 | 0,55-0,70   | 1,20-1,21                            | До100                              |
| Фосфогипс обожженный               | 0,90                             | 0,7-0,88                       | 0,71                           | 0,76      | 0,77        | 1,05                                 | 170                                |
| Фосфорит порошкообразный           | 1,10-1,80                        | -                              | 0,30                           | -         | -           | 1,21                                 | -                                  |
| Фтористый алюминий порошкообразный | 0,78-0,9                         | 0,51-0,73                      | 0,58-0,60                      | 0,52-0,55 | 0,53-0,61   | 1,14-1,5                             | 50-170                             |
| Штыб                               | 0,84-0,89                        | 0,68...0,98                    | 0,40...0,74                    | -         | -           | -                                    | -                                  |
| Шлак                               | 0,6                              | 0,56...1,19                    | 0,40...1,19                    | 0,30      | 0,46...0,66 | 1,20...1,28                          |                                    |

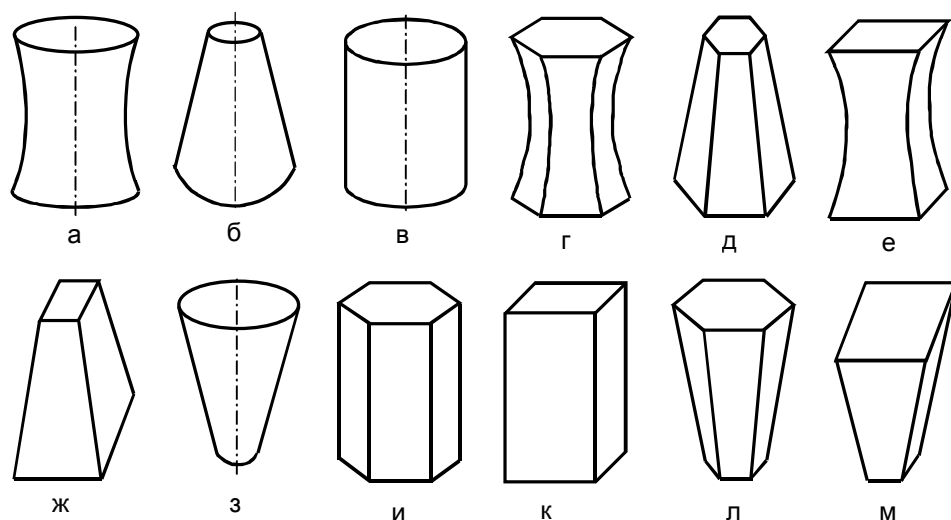


Рис.1. Виды конструкций основной части бункерного хранилища

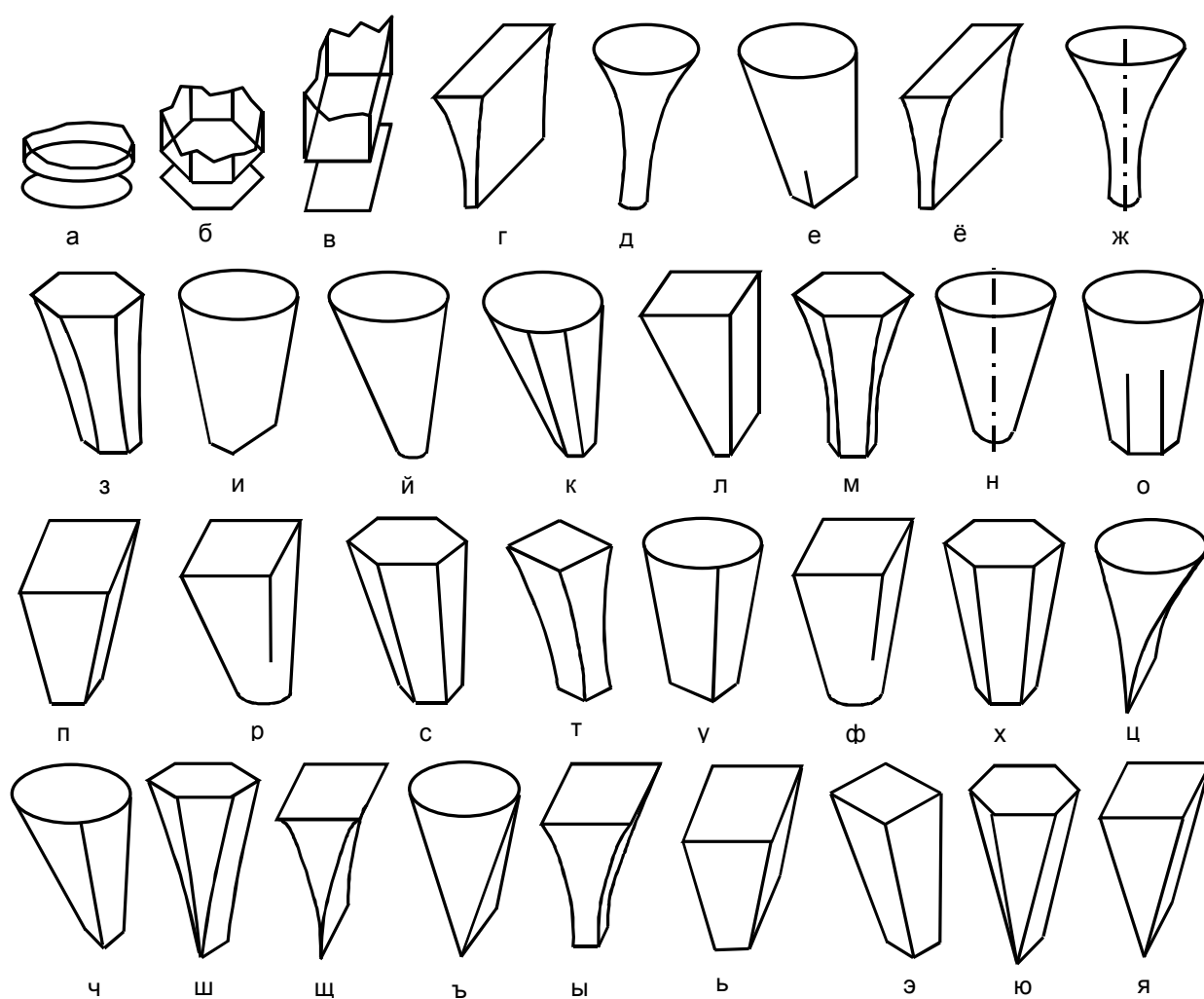


Рис.2. Виды конструкций выпускных воронок

Учебное издание

И.В. Горюшинский  
И.И. Кононов  
В.В. Денисов  
Е.В. Горюшинская  
Н.В. Петрушкин

**Емкости для сыпучих грузов  
в транспортно-грузовых системах**

Учебное пособие

Редакторы: Шими́на И.А., Красно́ва Е.А.  
Компьютерная верстка: Чертыковцева Н.В.

Подписано в печать 30.12.2003г. Формат 60 x 90 1/16.  
Бумага офсетная. Печать оперативная. Усл. п.л. 7,4. Уч. изд. л. 5,1.  
Тираж 350 экз. Заказ № 211.

Отпечатано в Рекламном агенстве «ДСМ»  
г. Самара, ул. Верхне-карьерная, 3 «А»