



**САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ (ТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ)**

**КАФЕДРА АВТОМАТИЗАЦИИ ПРОЦЕССОВ
ХИМИЧЕСКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ**

СИСТЕМЫ КОМПЛЕКСНОЙ МЕХАНИЗАЦИИ
ИЛЛЮСТРАТИВНЫЙ МАТЕРИАЛ ПО КУРСУ ЛЕКЦИЙ

Составил к.т.н., доцент

А.А. Пешехонов

САНКТ-ПЕТЕРБУРГ
2017

ОСНОВНЫЕ ПРОИЗВОДСТВА ХИМИЧЕСКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Подотрасль	Примеры производимых продуктов
<u>Неорганическая химия</u>	<u>производство аммиака, содовые производства, серная кислота</u>
<u>Органическая химия</u>	<u>акрилонитрил, фенол, окись этилена, карбамид</u>
<u>Химия силикатов</u>	<u>Керамика, стекло, огнеупоры</u>
<u>Нефтехимия</u>	<u>бензол, этилен, стирол</u>
<u>Агрохимия</u>	<u>удобрения, пестициды (инсектициды, гербициды)</u>
<u>Полимеры</u>	<u>полиэтилен, бакелит, полиэстер</u>
<u>Эластомеры</u>	<u>резина, неопрен, полиуретаны</u>
<u>Взрывчатые вещества</u>	<u>нитроглицерин, нитрат аммония, нитроцеллюлоза</u>
<u>Химфарм</u>	<u>лекарственные препараты, медикаменты</u>
<u>Парфюмерия и косметика</u>	<u>кумарин, ванилин, камфара</u>
<u>Бытовая химия</u>	<u>лаки и краски, моющие средства, клеи</u>

ОСНОВНЫЕ ОПРЕДЕЛЕНИЯ

Механизм — искусственно созданное устройство, предназначенное для преобразования энергии, траекторий и характеристик материалов.

Машина — механизмы, объединенные для выполнения общей технологической операции.

ВИДЫ МАШИН В ПРОМЫШЛЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССАХ

- 1) Машины для преобразования энергии: электро-, гидро- и пневмодвигатели, двигатели внутреннего сгорания,
- 2) Технологические машины для изменения свойств объектов переработки: дробилки, мельницы, мешалки, прессы, обрабатывающие станки и др.
- 3) Транспортные машины для перемещения материалов и изделий: транспортеры, экскаваторы, автомобили, вагоны, пневмотранспорт.
- 4) Исполнительные элементы систем автоматического управления (клапаны, вентили, заслонки, дозаторы и питатели).
- 5) Управляющие машины: гидравлические, пневматические, механические и комбинированные регуляторы, измерительные преобразователи (!).

НЕ СОВСЕМ ОЧЕВИДНЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ МАШИН И МЕХАНИЗМОВ

Преобразование информации

Любой физический процесс кроме изменения физических переменных генерирует информацию, Потребляемая при этом энергия рассеивается, информация – нет.

Технологические машины и механизмы как датчики систем контроля и управления

(сепараторы, вертикальные пневмоподъёмники, дозаторы, фильтры, мельницы и др.)

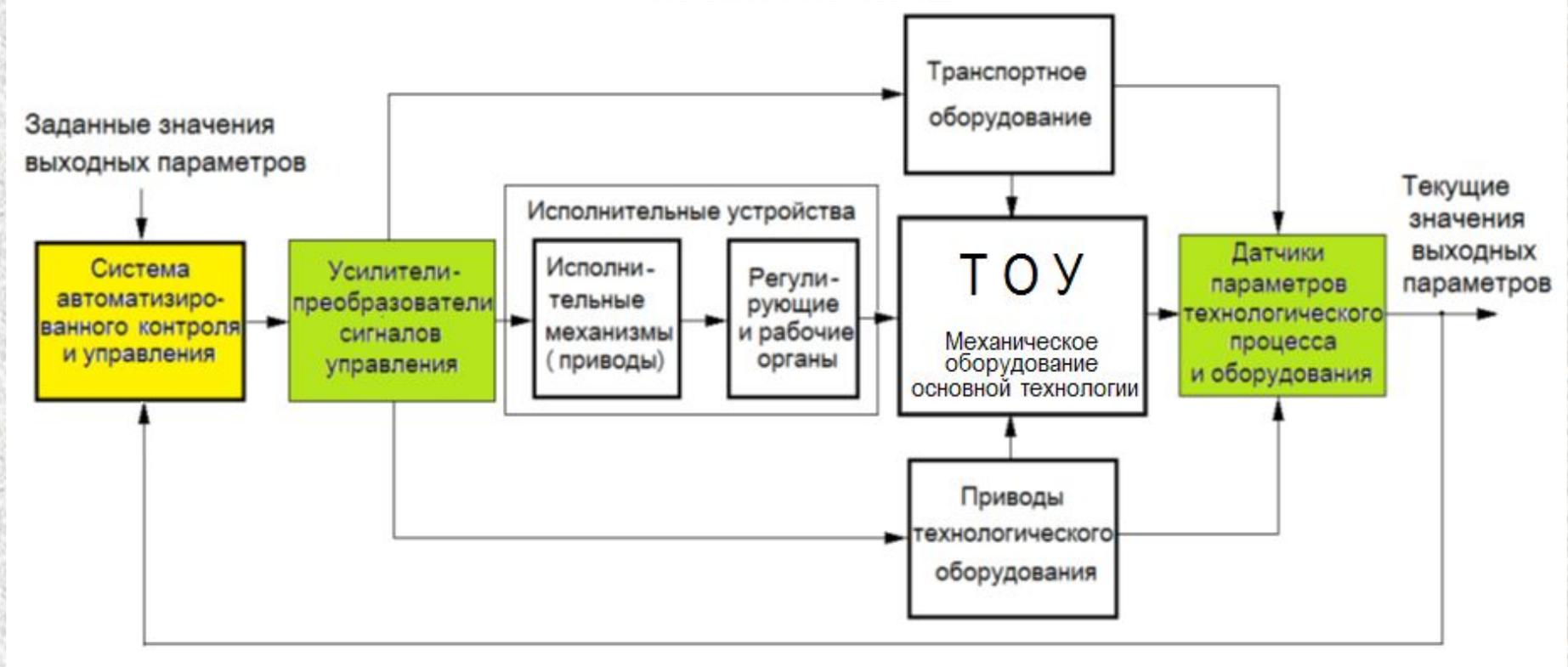
Технологические аппараты с функциями управляющих систем

(пневматические подъёмники, сушилки ПОЖС, дозаторы жидкостей и сыпучих материалов)



Механизация — оснащение технологических процессов механическими устройствами (механизмами), заменяющими физические функции человека при выполнении им необходимых технологических операций.

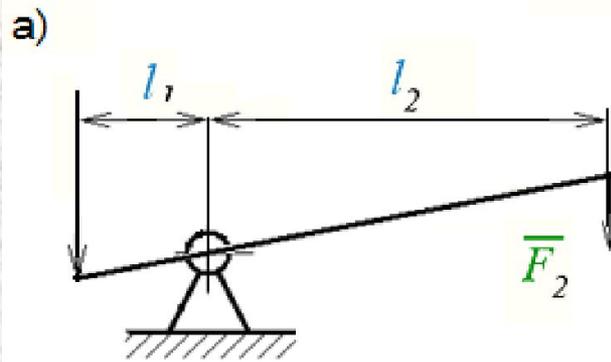
СТРУКТУРА АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА



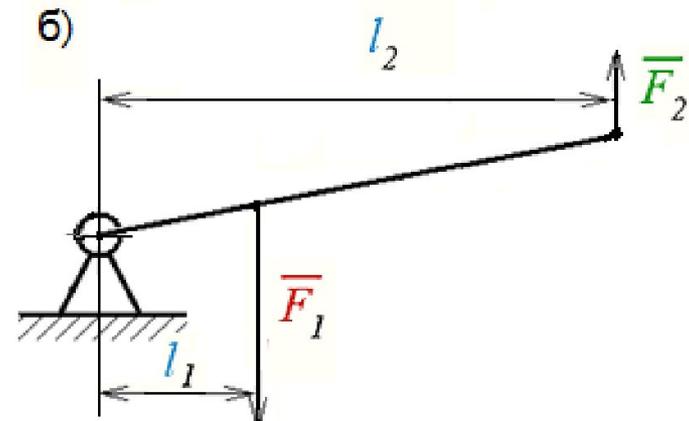
МЕХАНИЧЕСКИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ И ОПЕРАЦИИ



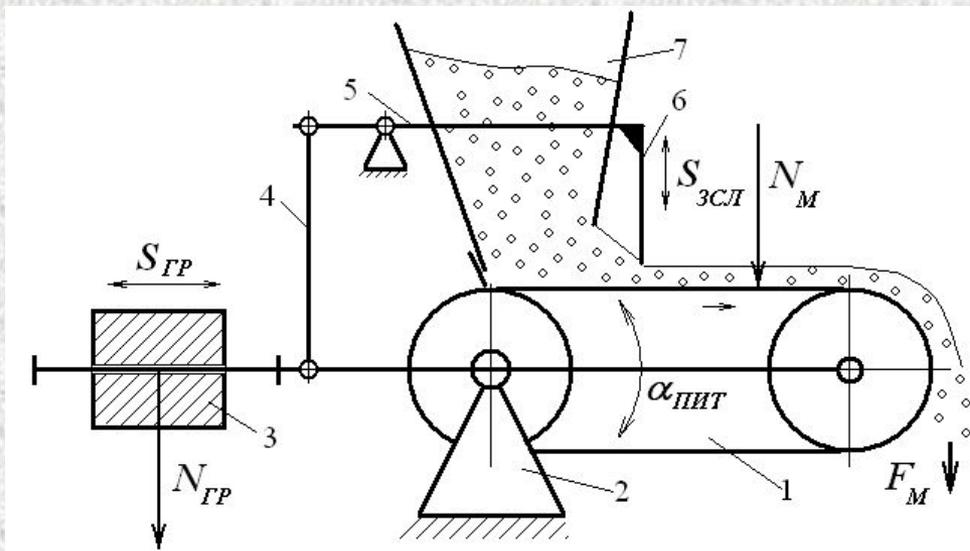
РЫЧАЖНЫЕ МЕХАНИЗМЫ



Рычаг первого рода



Рычаг второго рода

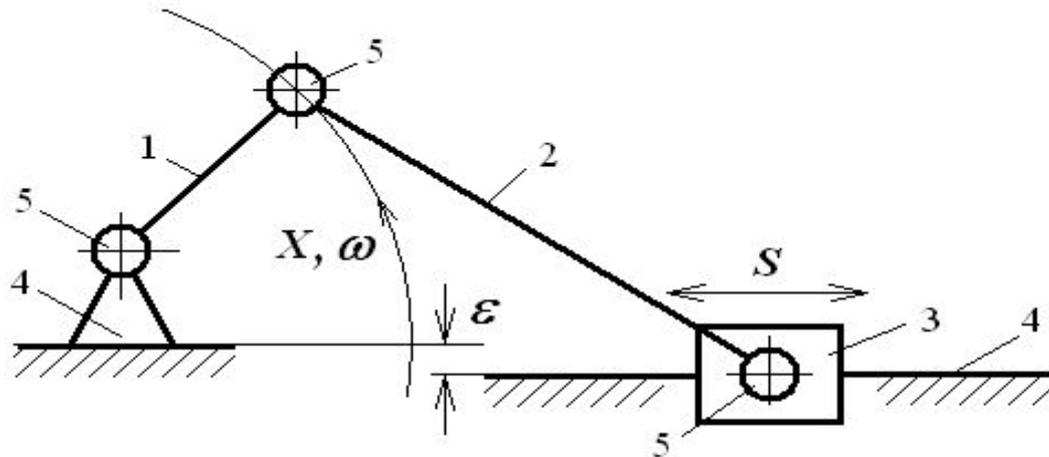


- 1 – ленточный питатель;
- 2 – стойка;
- 3 – груз;
- 4 – тяга;
- 5 – рычаг;
- 6 – заслонка

Ленточный автоматический весовой дозатор

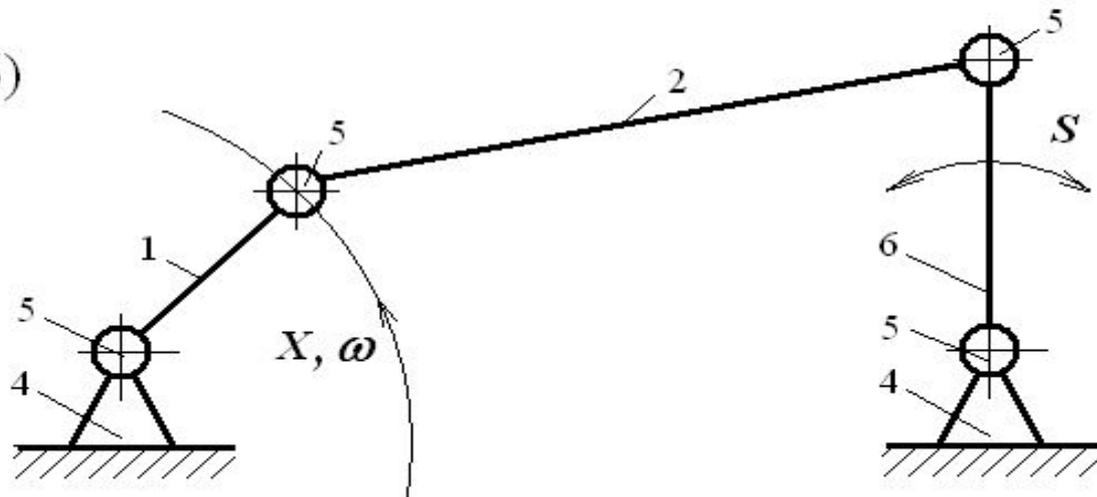
КРИВОШИПНО-ШАТУННЫЕ МЕХАНИЗМЫ

а)



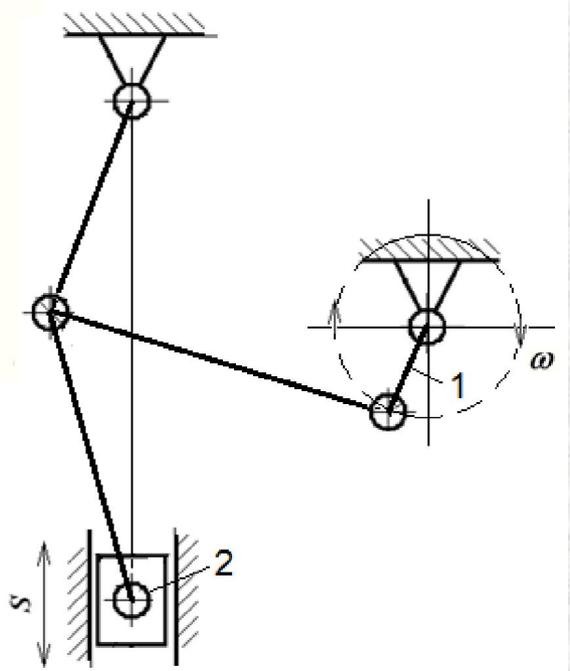
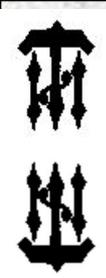
Кривошипно – ползунный механизм

б)



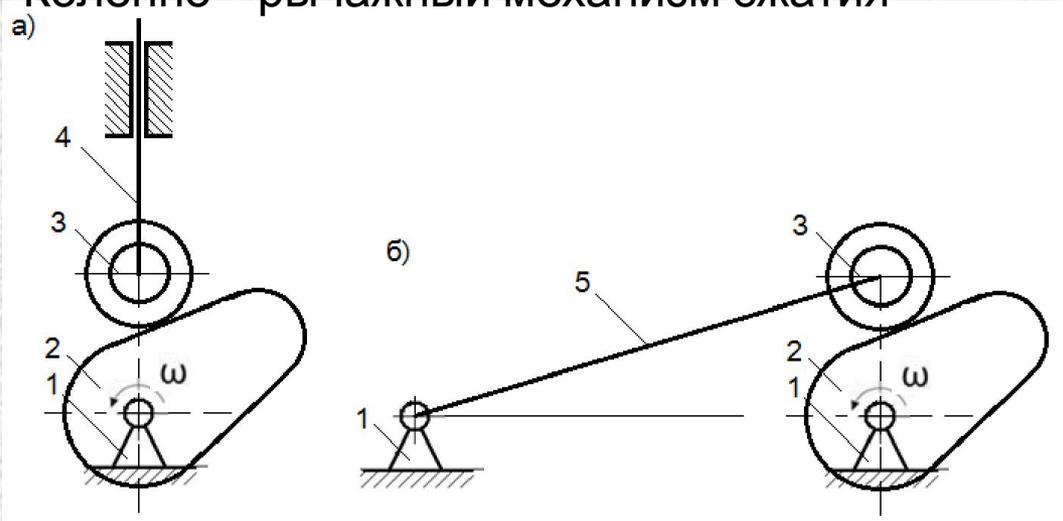
Кривошипно – коромысловый механизм

- 1 – КРИВОШИП;
- 2 – ШАТУН;
- 3 – ПОЛЗУН;
- 4 – СТОЙКА;
- 5 – ШАРНИР;
- 6 – КОРОМЫСЛО.



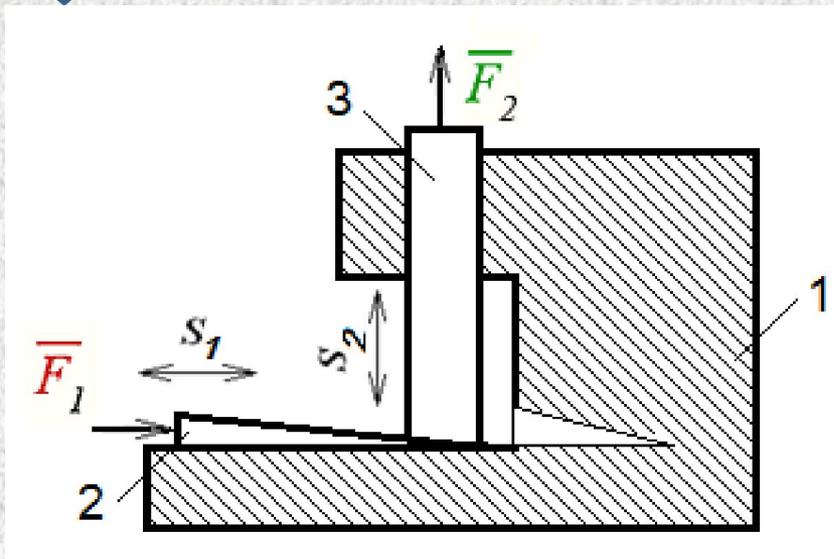
- 1 – КРИВОШИП (ведущее звено);
- 2 – ПОЛЗУН (ПОРШЕНЬ) – ведомое звено)
- 3 - ШАТУН

Коленно – рычажный механизм сжатия



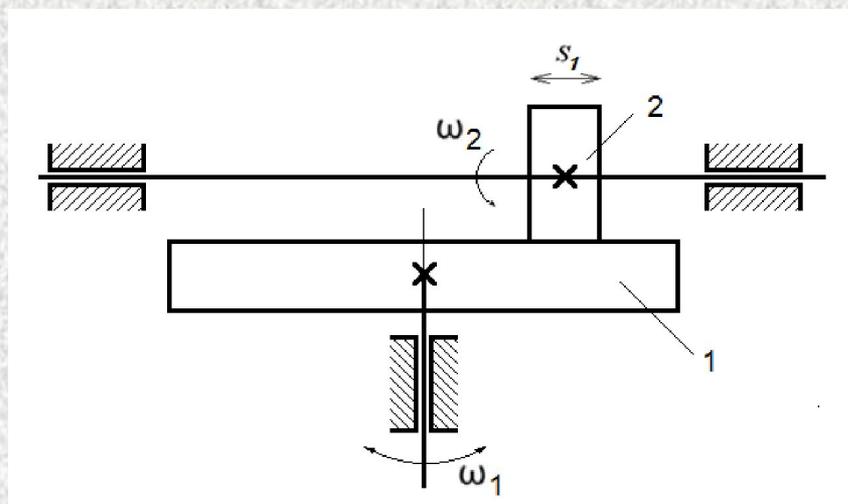
- А) С ПОСТУПАТЕЛЬНЫМ ДВИЖЕНИЕМ ВЕДОМОГО ЗВЕНА;
- Б) С ПОВОРОТОМ ВЕДОМОГО ЗВЕНА

- 1 – СТОЙКА;
- 2 – КУЛАЧОК;
- 3 – РОЛИК;
- 4 – ТОЛКАТЕЛЬ;
- 5 – ШАТУН.



- 1 – стойка;
- 2 – клин;
- 3 – стержень

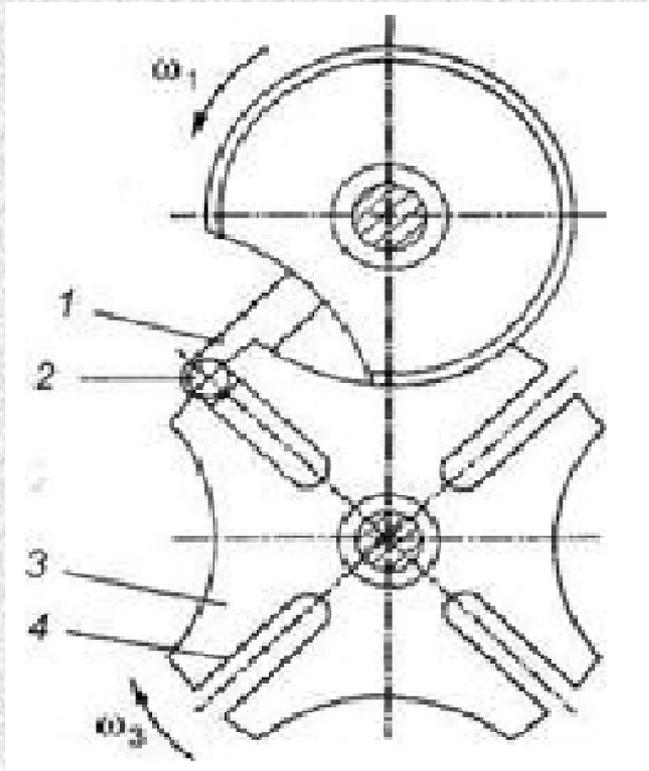
Клиновой механизм



- 1 – приводной (ведущий) диск
- 2 – ведомый диск

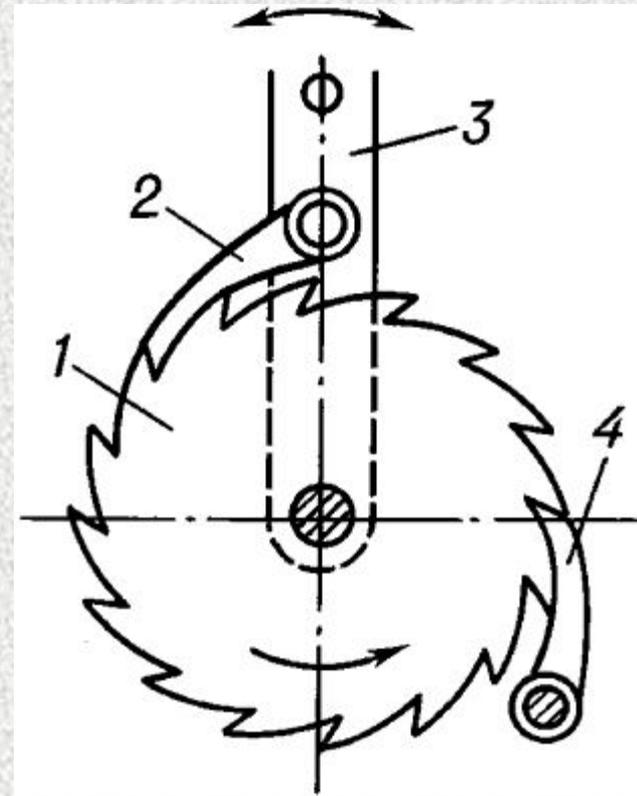
Механический вариатор

МЕХАНИЗМЫ ПРЕРЫВИСТОГО ВРАЩАТЕЛЬНОГО ДВИЖЕНИЯ



1 – кривошип; 2 – палец; 3 – крест; 4 – паз

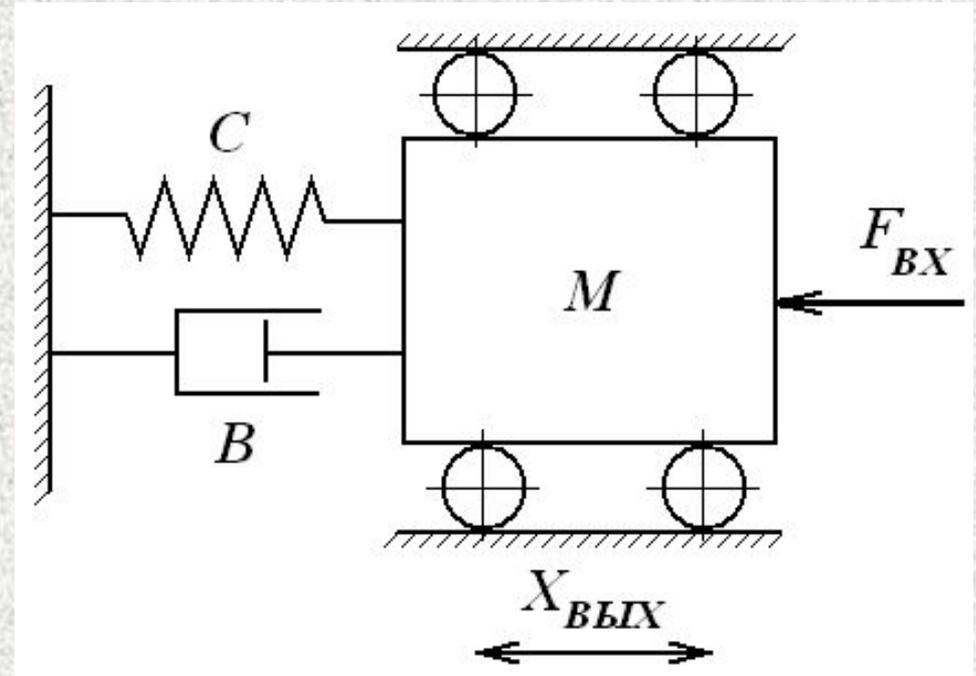
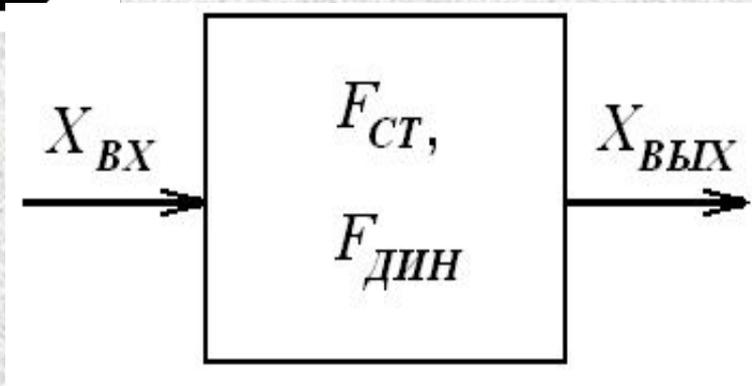
Мальтийский механизм



1 – храповое колесо; 2, 4 – собачки; 3 – ведущий рычаг.

Храповой механизм

УРАВНЕНИЕ ДИНАМИКИ МЕХАНИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ



$$M \cdot a = \sum_{i=1}^n F_i = -F_B - F_C + F_{ВХ} \quad (1)$$

$$M \frac{d^2 X_{ВЫХ}}{dt^2} + B \frac{dX_{ВЫХ}}{dt} + C X_{ВЫХ} = F_{ВХ} \quad (2)$$

ПЕРЕДАТОЧНАЯ ФУНКЦИЯ МЕХАНИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ

В ОБЛАСТИ ИЗОБРАЖЕНИЙ $p = \frac{d}{dt}$

$$M \cdot p^2 X_{\text{ВЫХ}}(p) + B \cdot p X_{\text{ВЫХ}}(p) + C \cdot X_{\text{ВЫХ}}(p) = F_{\text{ВХ}}(p) \quad (3)$$

$$X_{\text{ВЫХ}}(p) (M \cdot p^2 + B \cdot p + C) = F_{\text{ВХ}}(p) \quad (4)$$

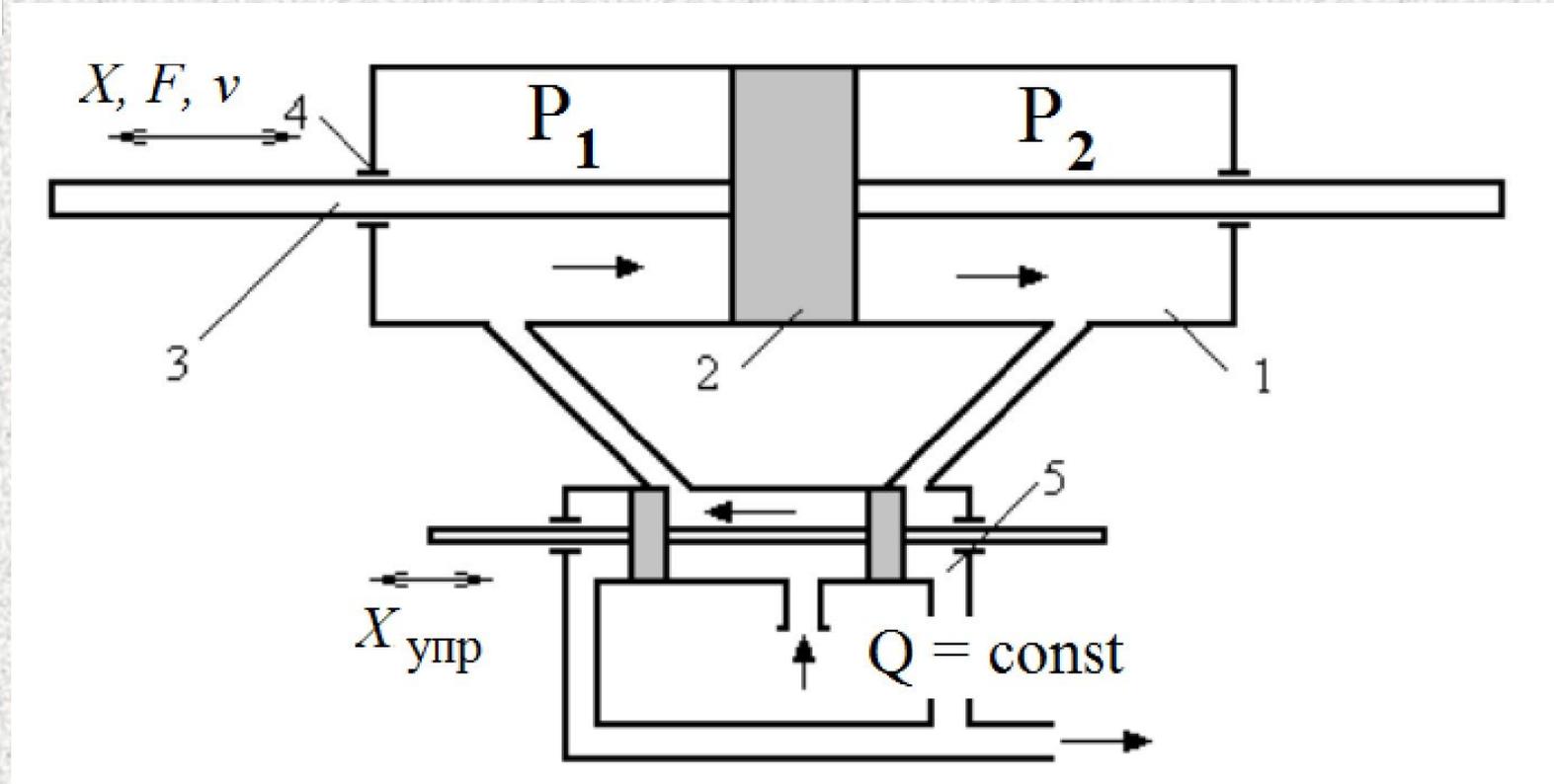
$$W(p) = \frac{X_{\text{ВЫХ}}(p)}{F_{\text{ВХ}}(p)} = \frac{1}{(M \cdot p^2 + B \cdot p + C)} = \frac{k}{T_2 \cdot p^2 + T_1 \cdot p + 1}, \quad (5)$$

где

$$T_2 = \frac{M}{C}, \quad T_1 = \frac{B}{C}, \quad k = \frac{1}{C}$$



ГИДРОПРИВОД

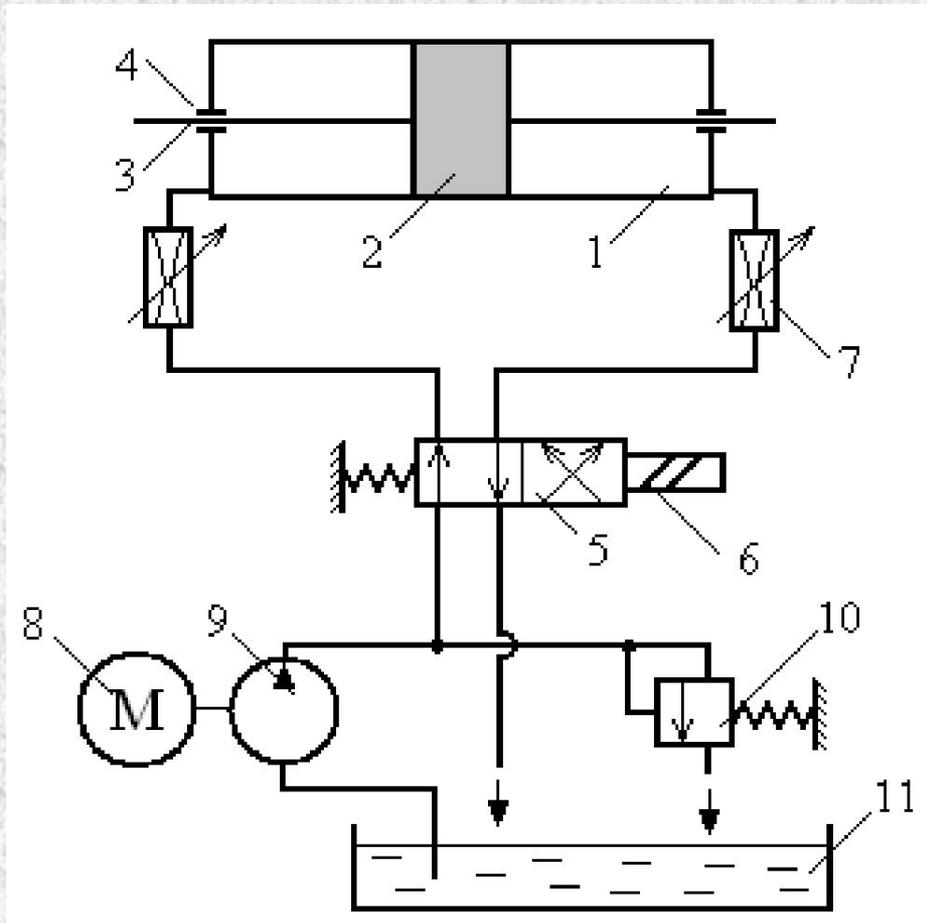


1 – гидроцилиндр; 2 – поршень; 3 – шток; 4 – сальниковое уплотнение;

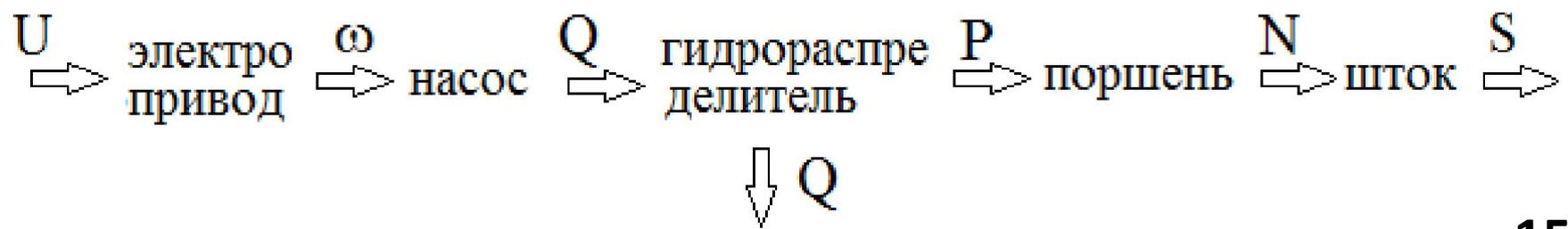
5 - гидрораспределитель

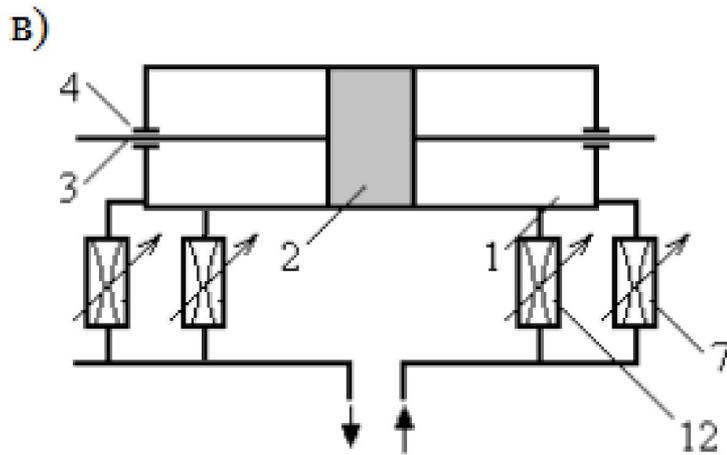
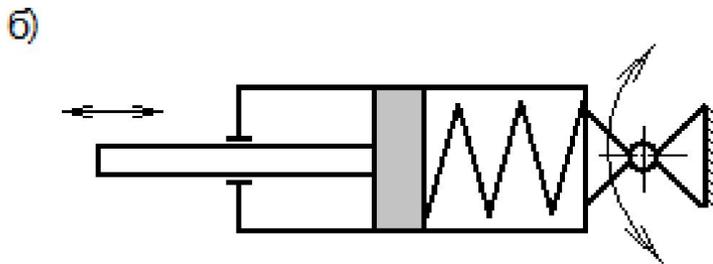
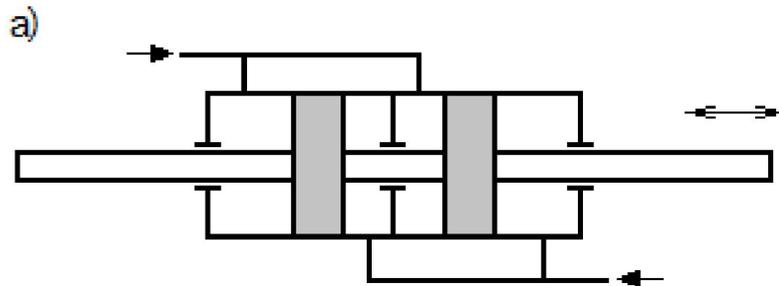
Принципиальная схема

ГИДРОПРИВОД



- 6 – электромагнит;
 - 7 – регулируемый дроссель;
 - 8 – электродвигатель;
 - 9 – поршневой насос;
 - 10 – предохранительный клапан;
 - 11 - резервуар
- Схема в условных обозначениях
ГОСТ 2.781-96





а) со сдвоенным поршнем;
б) качающийся с возвратом от пружины;
в) быстродействующий с дроссельным торможением.

12 – основной дроссель;
7 – тормозной дроссель.

Некоторые специальные типы гидроцилиндров

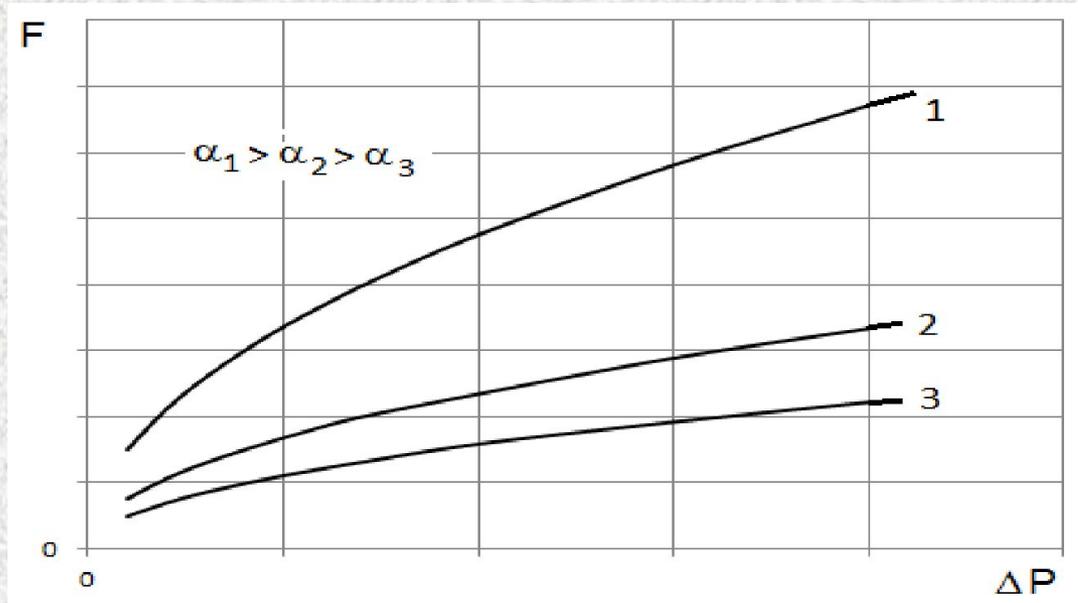


МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ ГИДРОПРИВОДА (статика)

УРАВНЕНИЕ МАССОВОГО
РАСХОДА РАБОЧЕЙ СРЕДЫ

$$F = \alpha \cdot S_{TP} \cdot \sqrt{(2P_p \cdot \rho)}$$

(1)



(2)

ЛИНЕАРИЗОВАННОЕ УРАВНЕНИЕ
РАСХОДА

$$F = k \cdot P_p$$

ДАВЛЕНИЕ НА ПОРШЕНЬ

$$P_p = F / k$$

(3)

МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ ГИДРОПРИВОДА. ДИНАМИКА

КАНАЛУ «РАБОЧЕЕ ДАВЛЕНИЕ НА ПОРШНЕ –

ПЕРЕМЕЩЕНИЕ ШТОКА»

УРАВНЕНИЕ ДИНАМИКИ ГИДРОЦИЛИНДРА (без учёта
нелинейностей)

$$M \frac{d^2 X}{dt^2} + B \frac{dX}{dt} = P_p \cdot S_{\Pi} \quad (1)$$

В ОБЛАСТИ ИЗОБРАЖЕНИЙ

$$X(M \cdot p^2 + B \cdot p) = P_p \cdot S_{\Pi} \rightarrow \frac{X(p)}{P_p(p)} = \frac{S_{\Pi}}{M \cdot p^2 + B \cdot p} \rightarrow$$

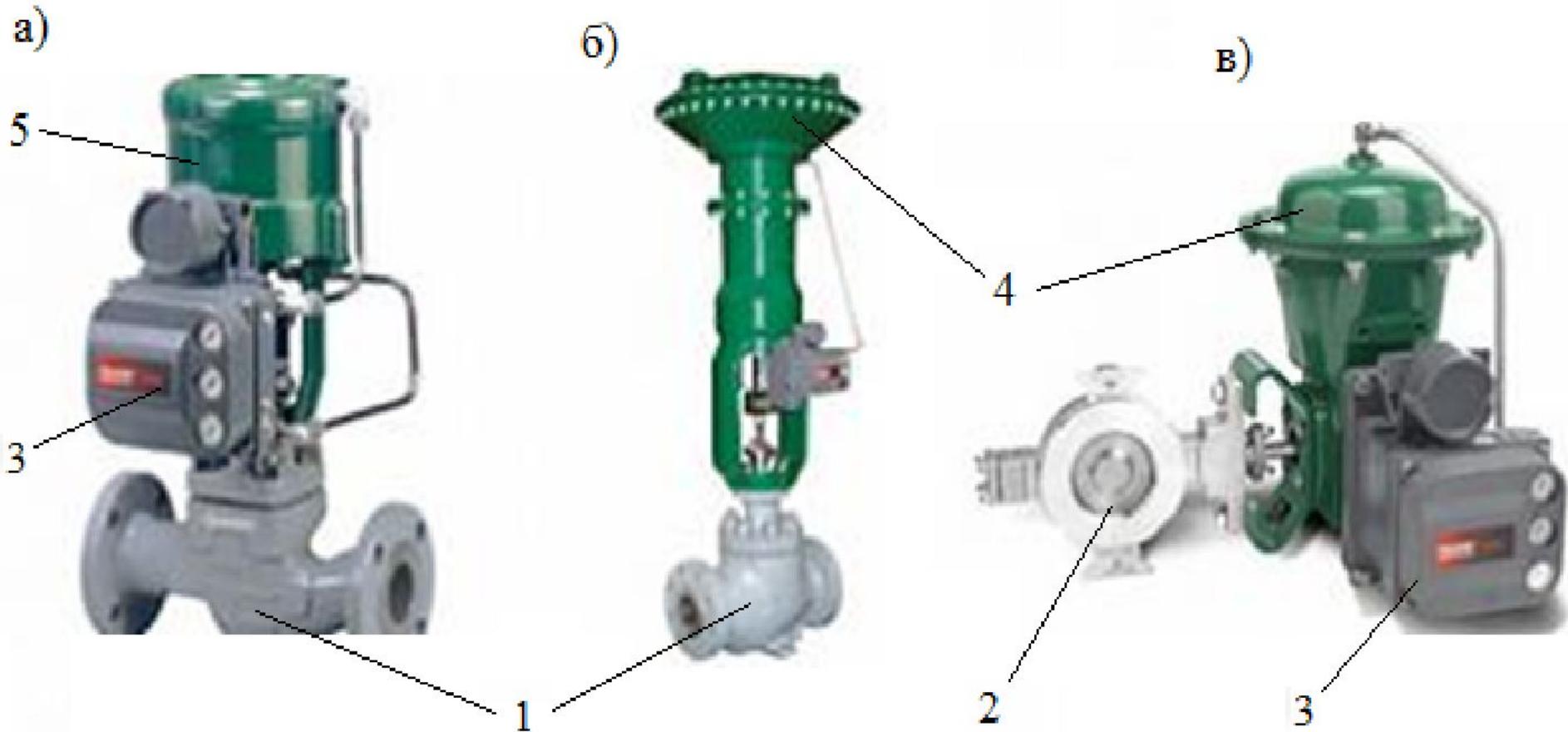
ПЕРЕДАТОЧНАЯ ФУНКЦИЯ $\rightarrow W(p) = \frac{B/S_{\Pi}}{p \cdot [(M/B) \cdot p + 1]} \quad (2)$

ДЛЯ ПНЕВМОЦИЛИНДРА

$$M \frac{d^2 X_{\text{ВЫХ}}}{dt^2} + B \frac{dX_{\text{ВЫХ}}}{dt} + CX_{\text{ВЫХ}} = F_{\text{ВХ}} \rightarrow W(p) = \dots \quad (3)$$

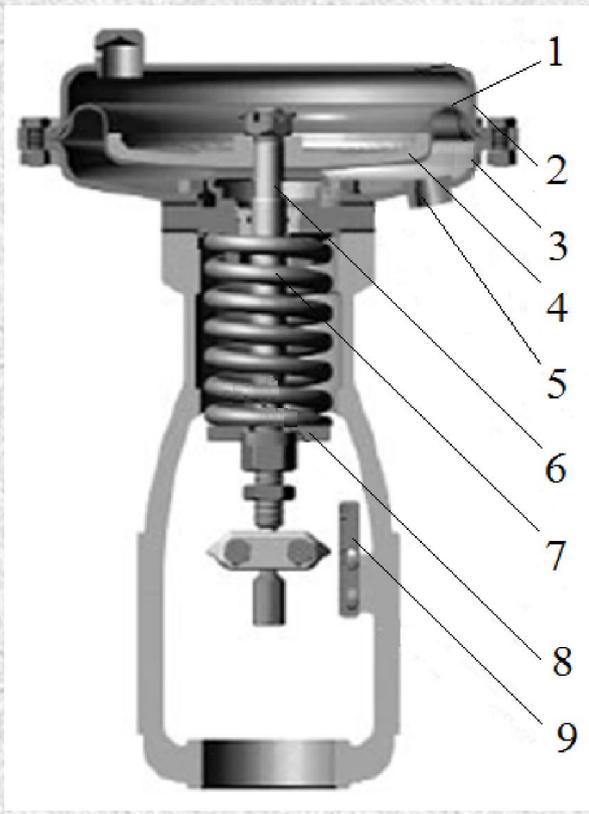
ПНЕВМОПРИВОД В СИСТЕМАХ АВТОМАТИЗАЦИИ

ИСПОЛНИТЕЛЬНЫЕ УСТРОЙСТВА ДРОССЕЛЬНЫХ РЕГУЛИРУЮЩИХ ОРГАНОВ С ПНЕВМАТИЧЕСКИМИ ИСПОЛНИТЕЛЬНЫМИ МЕХАНИЗМАМИ

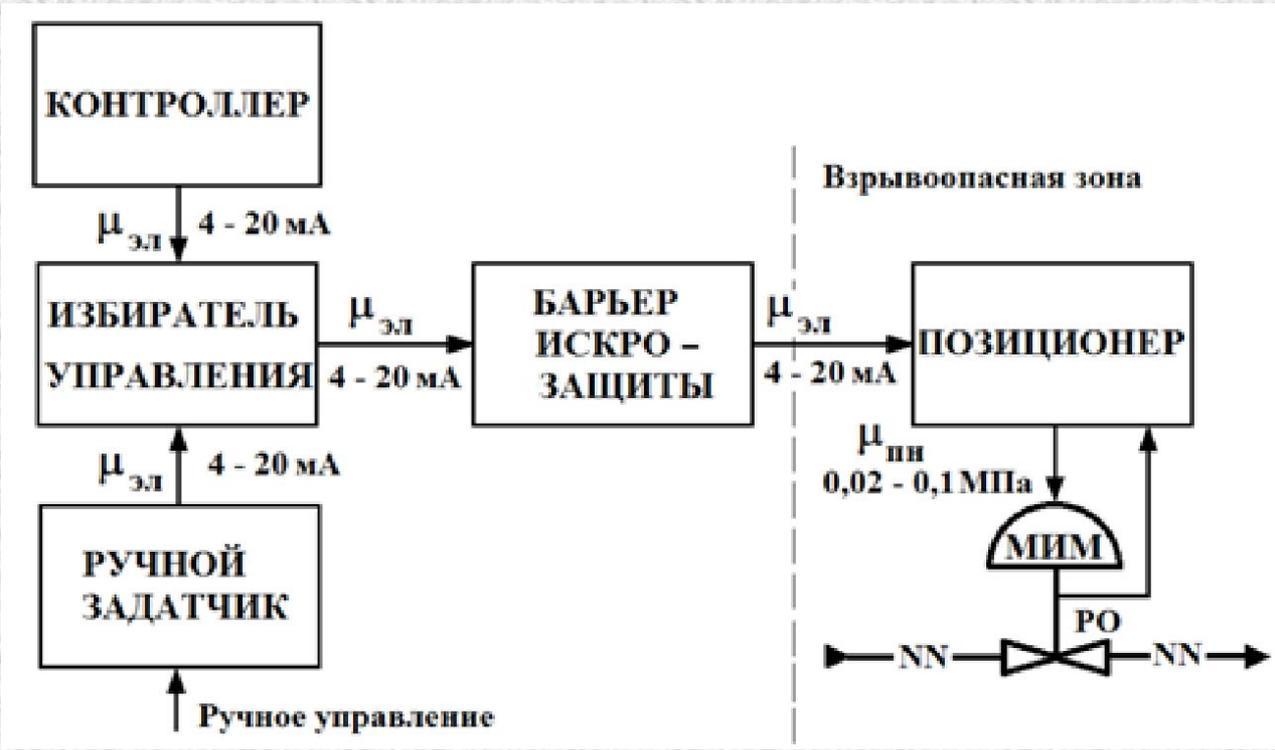


ПНЕВМОПРИВОД В СИСТЕМАХ АВТОМАТИЗАЦИИ

МЕМБРАННЫЙ ИСПОЛНИТЕЛЬНЫЙ МЕХАНИЗМ (МИМ)

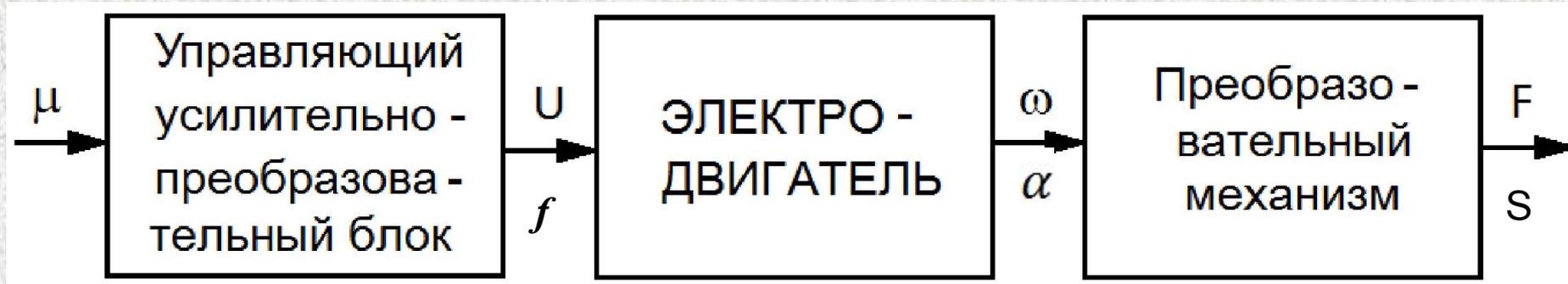


ПОДКЛЮЧЕНИЕ МИМ К ЭЛЕКТРОННОМУ КОНТРОЛЛЕРУ ВО ВЗРЫВООПАСНОМ ПРОИЗВОДСТВЕ



ЭЛЕКТРОПРИВОД В СИСТЕМАХ МЕХАНИЗАЦИИ

НАЗНАЧЕНИЕ ЭЛЕКТРОПРИВОДА: 1) ПРИВОД ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ МАШИН
2) ПРИВОД РЕГУЛИРУЮЩИХ ОРГАНОВ



μ - управляющий сигнал от контроллера

U - напряжение
 f - частота переменного тока

ω - угловая скорость
 α - угол поворота вала
 F - сила,
 S - траектория

По каналу $\mu \rightarrow \omega$

$$W(p) = k_1(p)$$

По каналу $\mu \rightarrow \alpha$

$$W(p) = k_2(p) / T \cdot p$$



ОСНОВНЫЕ КОМПОНЕНТЫ ЭЛЕКТРОПРИВОДОВ

УСТРОЙСТВА УПРАВЛЕНИЯ (ПРИМЕРЫ)

МАГНИТНЫЕ
ПУСКАТЕЛИ

ТИРИСТОРНЫЕ
ПУСКАТЕЛИ

ЧАСТОТНЫЕ
ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ

УСИЛИТЕЛИ
ПОСТОЯННОГО
ТОКА

МУФТЫ

ЭЛЕКТРО- ДВИГАТЕЛИ

ПОСТОЯННОГО
ТОКА

АСИНХРОННЫЕ

СИНХРОННЫЕ

ШАГОВЫЕ

ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ ДВИЖЕНИЯ (ПРИМЕРЫ)

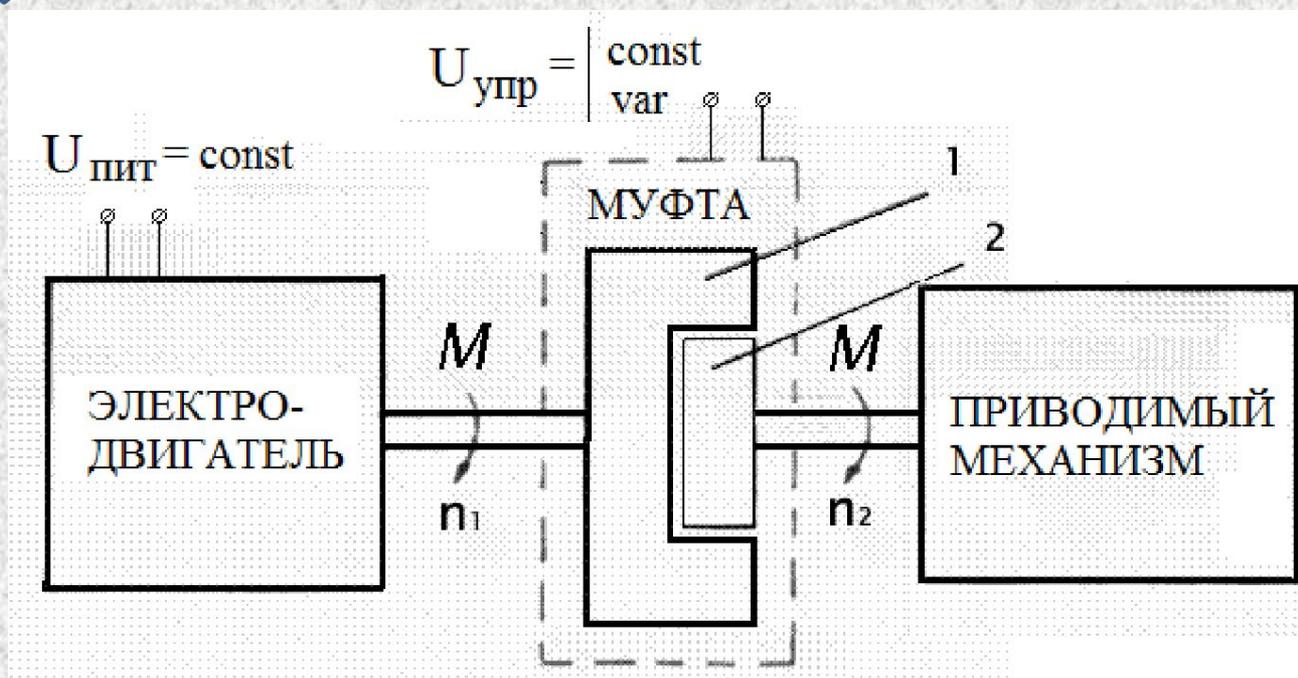
РЕДУКТОРЫ

ЗУБЧАТО – РЕЕЧНЫЕ
МЕХ-МЫ

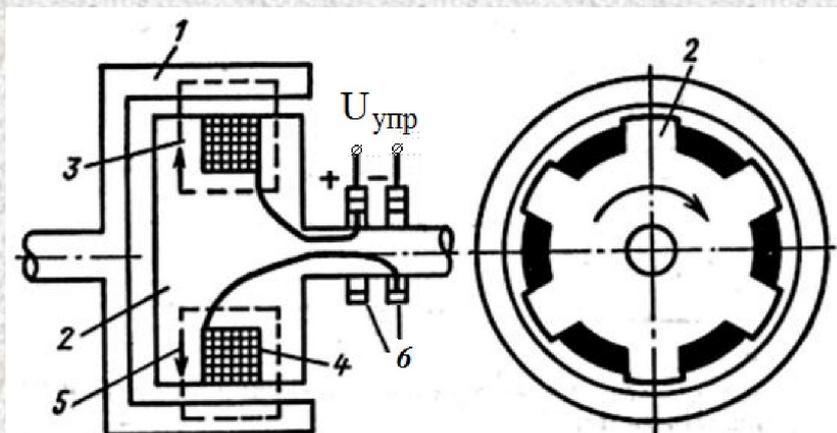
КРИВОШИПНО-
ШАТУННЫЕ
МЕХАНИЗМЫ

ВОЛНОВЫЕ
ПЕРЕДАЧИ

МУФТЫ ПЕРЕДАЧИ КРУТЯЩЕГО МОМЕНТА

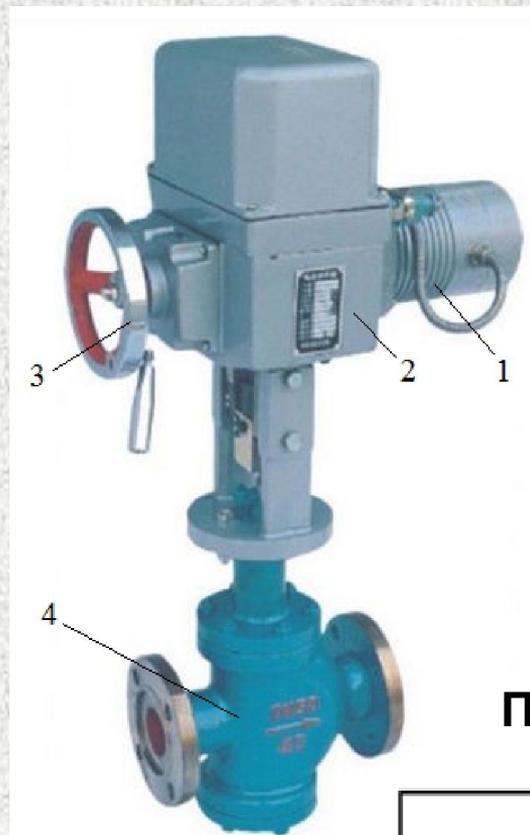


ЭЛЕКТРОМАГНИТНАЯ МУФТА

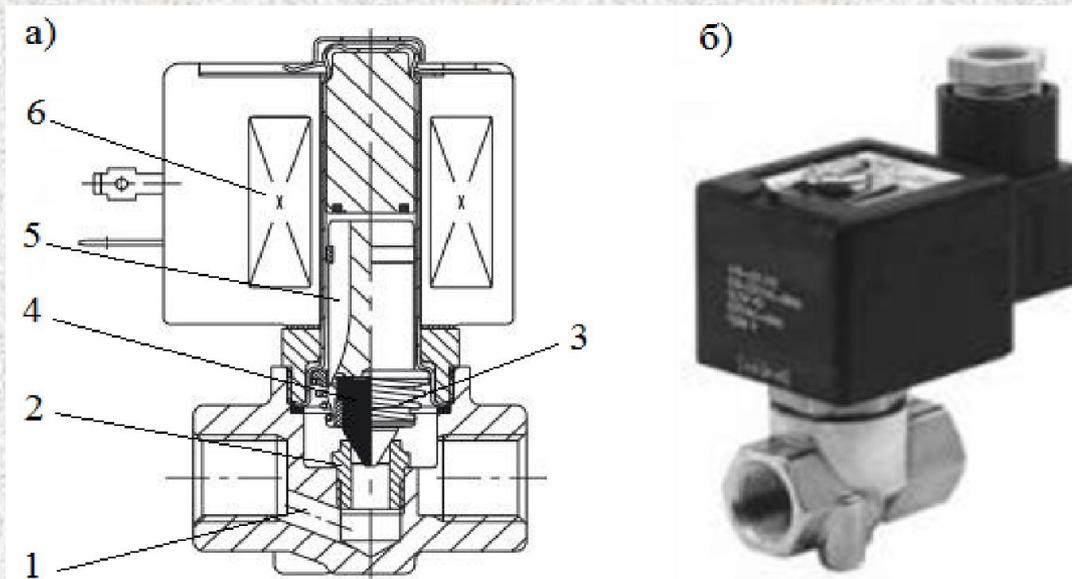


ЭЛЕКТРОПРИВОДНЫЕ ИСПОЛНИТЕЛЬНЫЕ МЕХАНИЗМЫ КЛАПАНОВ

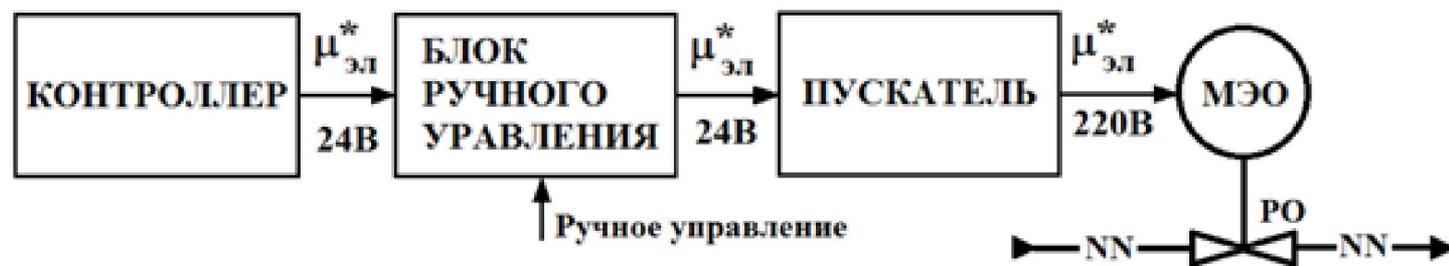
ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЬНЫЙ



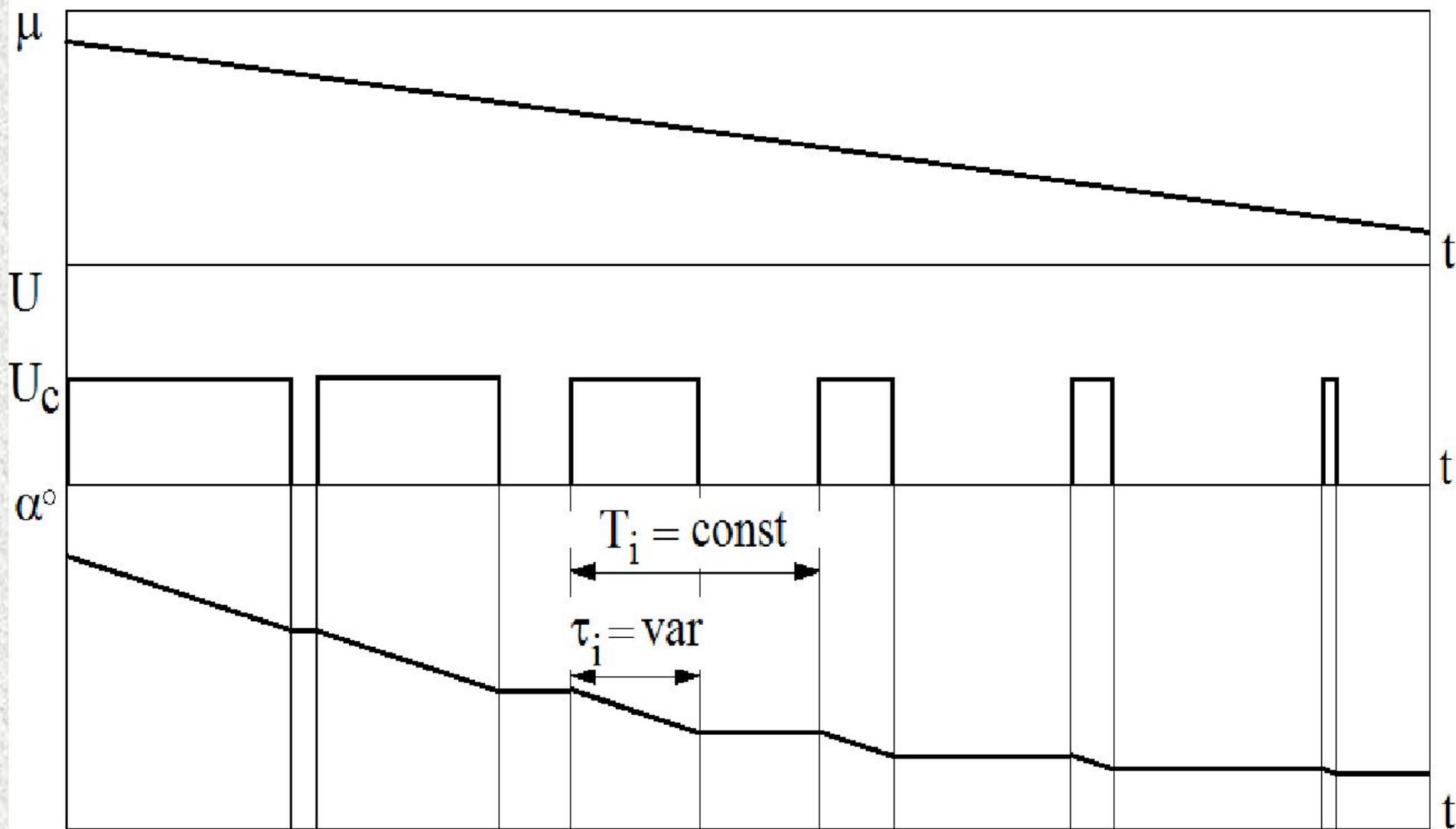
ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЙ



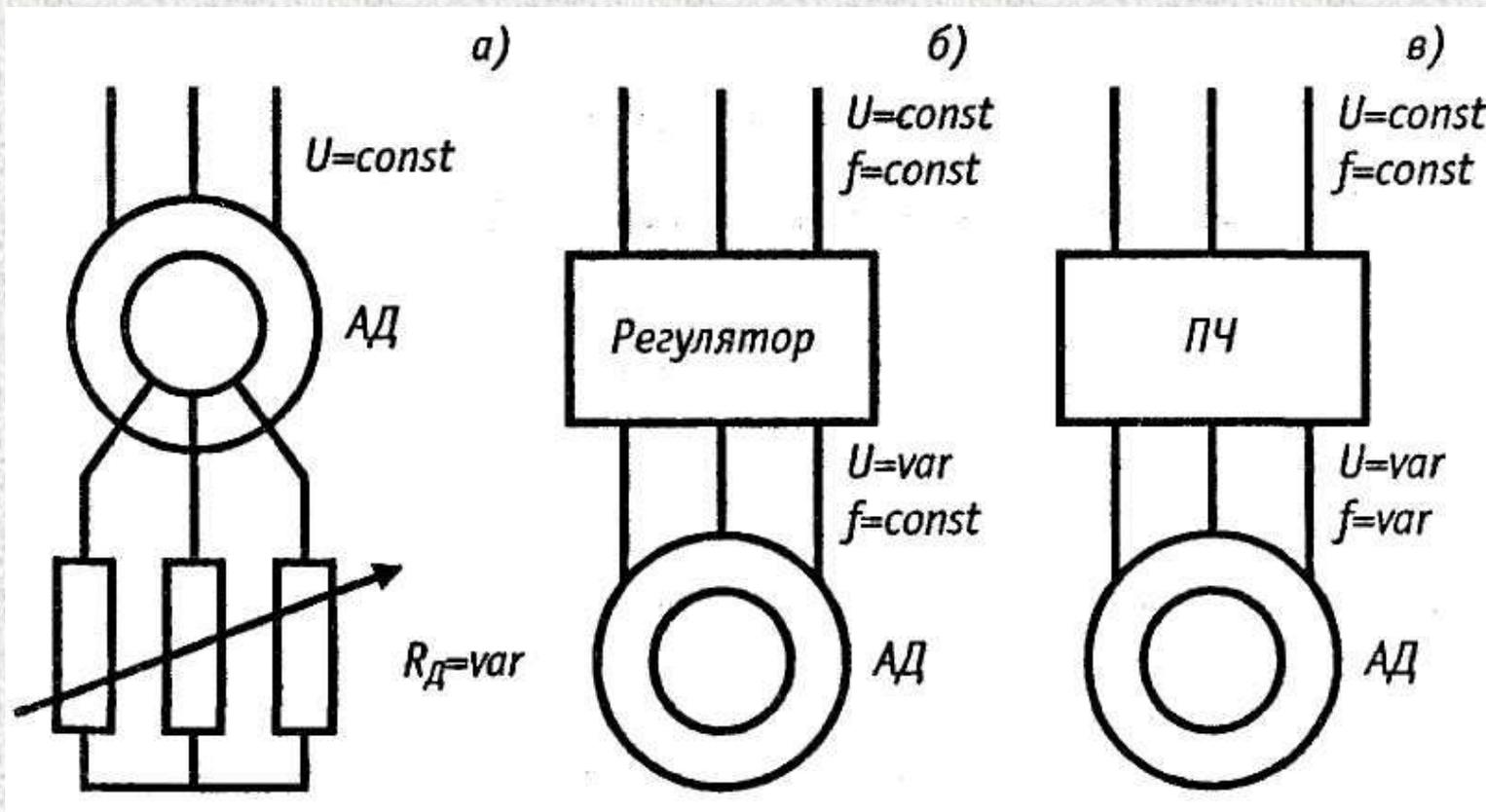
ПОДКЛЮЧЕНИЕ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ К МПК



ШИРОТНО-ИМПУЛЬСНОЕ УПРАВЛЕНИЕ УГЛОМ ПОВОРОТА ВАЛА ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ ИМ



СПОСОБЫ РЕГУЛИРОВАНИЯ СКОРОСТИ ВРАЩЕНИЯ АСИНХРОННЫХ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ

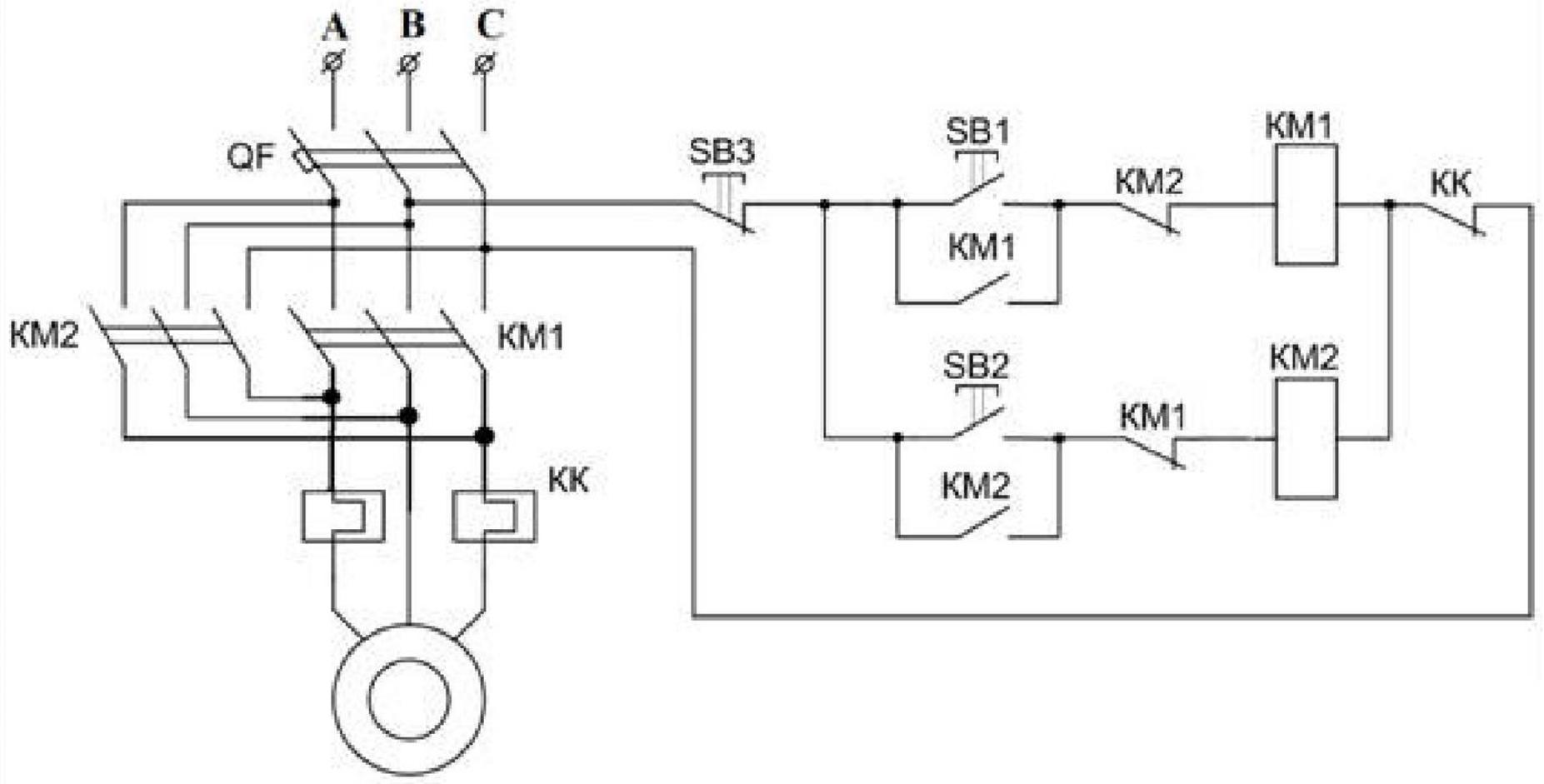


изменением
сопротивления ротора

изменением
напряжения питания

изменением частоты
питающего
напряжения

РЕВЕРСИВНЫЙ ПУСК АСИНХРОННОГО ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ



SB1 – кнопка «пуск вперед»; SB2 – кнопка «пуск назад»; SB3 – кнопка «стоп»;
KK – обмотки и контакты теплового реле; KM1 и KM2 – катушки магнитных
пускателей; KM1 и KM2 – контакты магнитных пускателей.

ПУСКОВАЯ АППАРАТУРА ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ



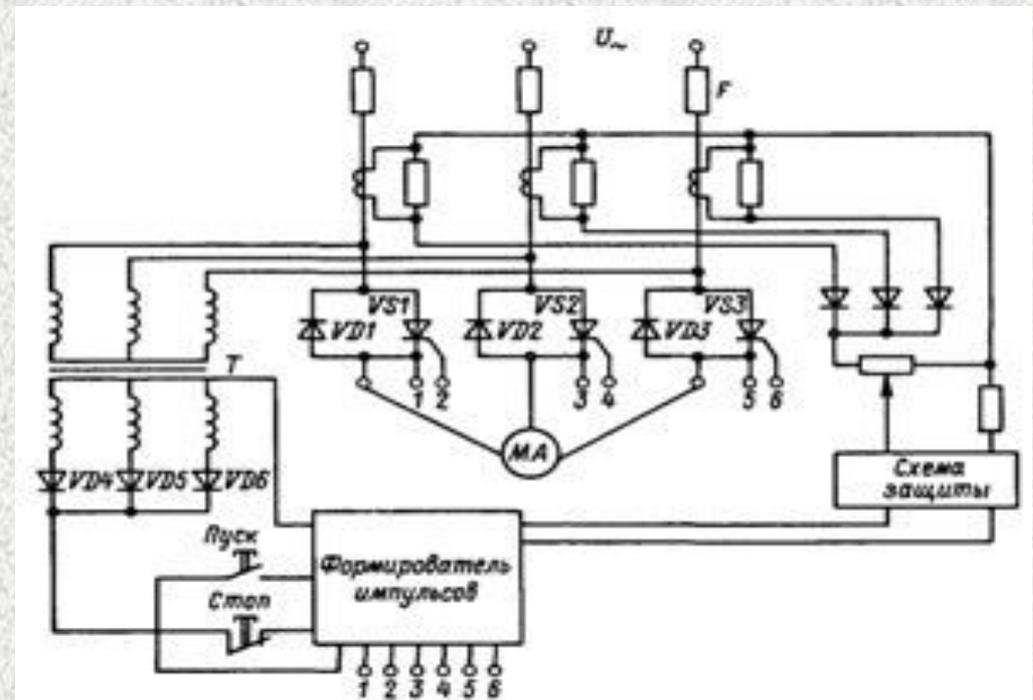
Магнитный пускатель



Контактор



Бесконтактный
тиристорный
пускатель



Электрическая схема тиристорного пускателя

СИНХРОННЫЕ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛИ

ШАГОВЫЕ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛИ



ХРАНЕНИЕ И ПЕРЕРАБОТКА СЫПУЧИХ МАТЕРИАЛОВ

Сыпучий материал – совокупность близких по размеру частиц, которые при свободном падении с определенной высоты образуют на горизонтальной поверхности объем в виде конуса с устойчивым углом естественного откоса



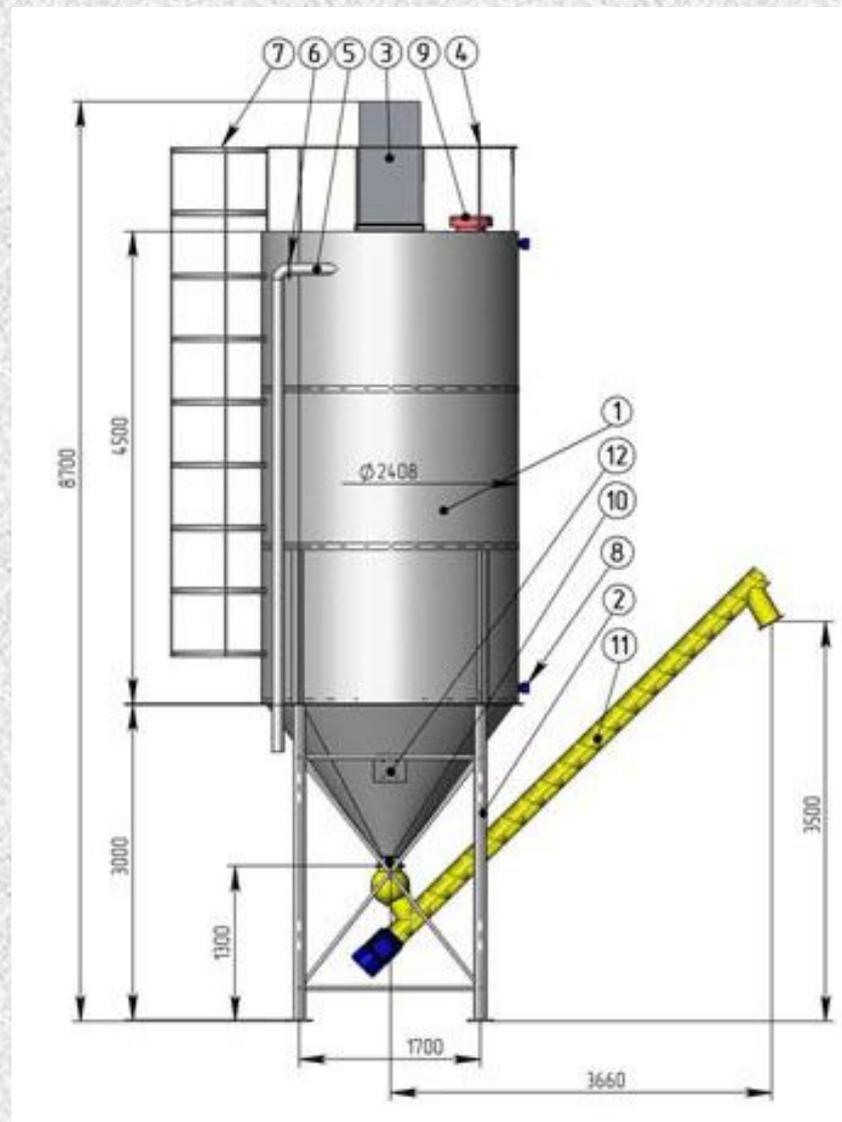
<http://www.avtobeton.ru/images/foto/pages/55.jpg>

Цементные
силосы



Цилиндроконический
бункер

СОВРЕМЕННЫЕ СИЛОСЫ



ЦЕМЕНТНЫЕ СИЛОСЫ

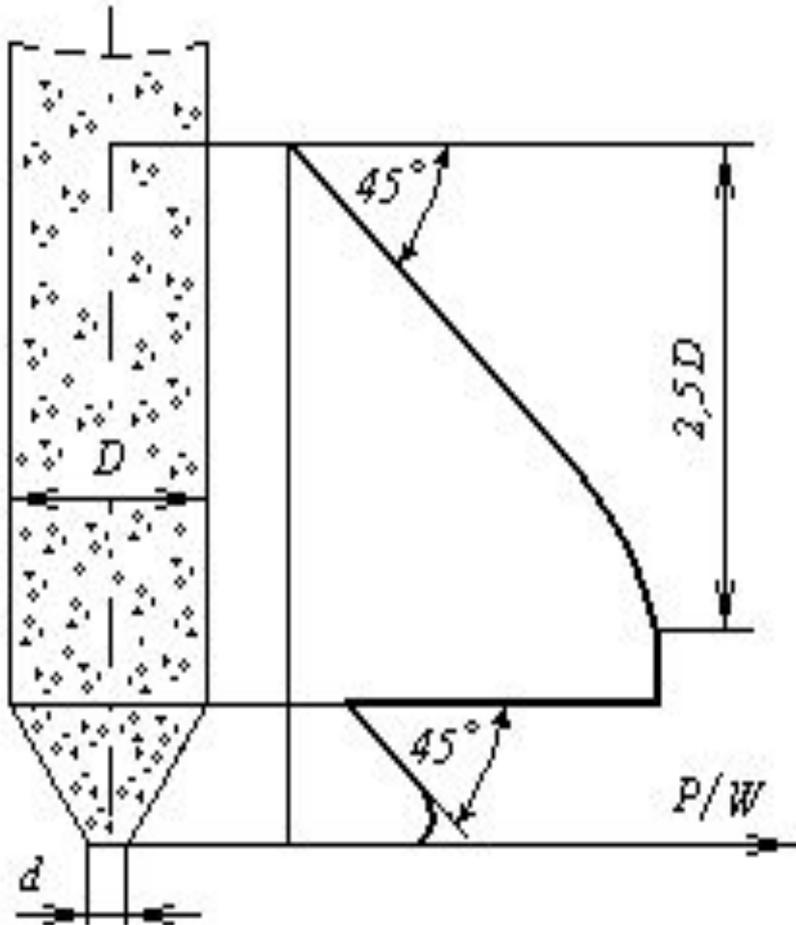


21.11.2017

ОСНОВНЫЕ СВОЙСТВА И ХАРАКТЕРИСТИКИ СЫПУЧИХ МАТЕРИАЛОВ

- РАЗМЕР ЧАСТИЦ (ГРАНУЛОМЕТРИЧЕСКИЙ СОСТАВ)
- ПЛОТНОСТЬ
- НАСЫПНАЯ ПЛОТНОСТЬ
- УГОЛ ЕСТЕСТВЕННОГО ОТКОСА
- УГОЛ ВНУТРЕННЕГО ТРЕНИЯ
- КОЭФФИЦИЕНТ ТРЕНИЯ О ТВЁРДЫЕ НЕСУЩИЕ ПОВЕРХНОСТИ
- ВЛАЖНОСТЬ
- СВЯЗНОСТЬ ЧАСТИЦ
- ПОДВИЖНОСТЬ ЧАСТИЦ
- СКОРОСТЬ ВИТАНИЯ ЧАСТИЦ
- АБРАЗИВНОСТЬ
- ПОЖАРО- И ВЗРЫВООПАСНОСТЬ

ДАВЛЕНИЕ НА ДНО СОСУДА С СЫПУЧИМ МАТЕРИАЛОМ



$$P = \frac{\rho_H \cdot g \cdot R_\Gamma}{f \cdot q} \quad (1)$$

ρ_H - насыпная
плотность;

R_Γ - гидравлический радиус дна
(отношение площади к периметру)

F - коэффициент внутреннего
трения;

q - коэффициент подвижности.

ИСТЕЧЕНИЕ СМ ИЗ ОТВЕРСТИЙ

Расход при гравитационном истечении из отверстия в горизонтальном днище емкости (примеры формул)

$$F = 3600 \cdot B \cdot \rho_H \cdot \Omega \cdot R_{\Gamma} \quad (1)$$

или

$$F = \mu \cdot K \cdot \Omega \cdot \sqrt{4g \cdot R_{\Gamma}} \quad (2)$$

B – эмпирический коэффициент, зависящий от свойств материала;

Ω – площадь отверстия истечения;

μ – эмпирический коэффициент;

K – коэффициент, зависящий от формы и размеров отверстия истечения

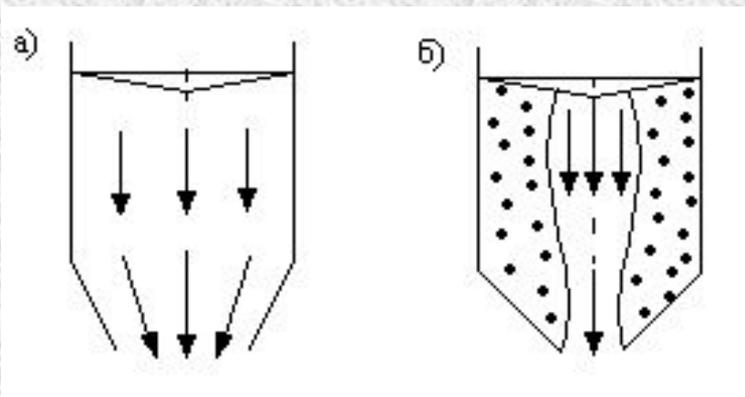
Массовый расход при гравитационном истечении из наклонного отверстия с углом наклона к горизонту

$$F = 3600 \cdot B \cdot \rho_H \cdot \Omega \cdot R_{\Gamma} \cdot \frac{\cos^3 \alpha}{2} \quad (3)$$

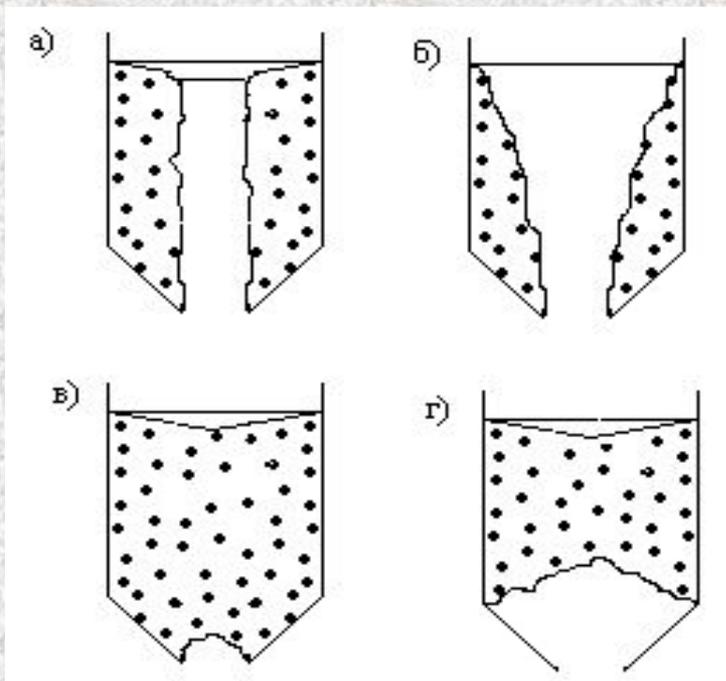
Максимальный диаметр сводообразующего отверстия

$$d_{co} = 4,63 \cdot e^{0,244 \cdot a} \quad (4) \quad a – \text{наибольший размер средней частицы}$$

ОСОБЕННОСТИ ГРАВИТАЦИОННОЙ РАЗГРУЗКИ



- а) — массовое истечение;
- б) — истечение с трубообразованием.

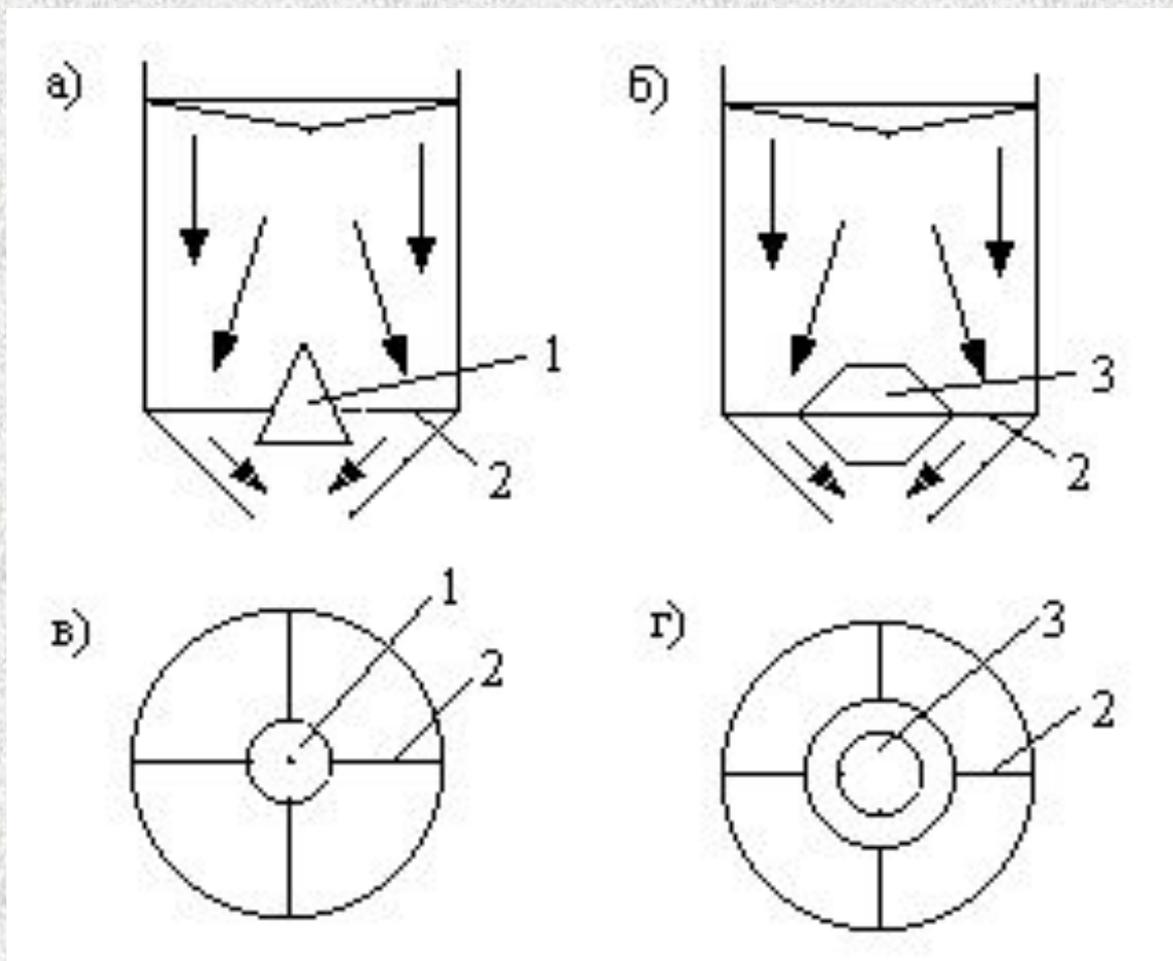


Варианты неполного опорожнения бункера

- а) — центральный канал;
- б) — конусная полость;
- в) — «МОСТИК»;
- г) — СВОД.



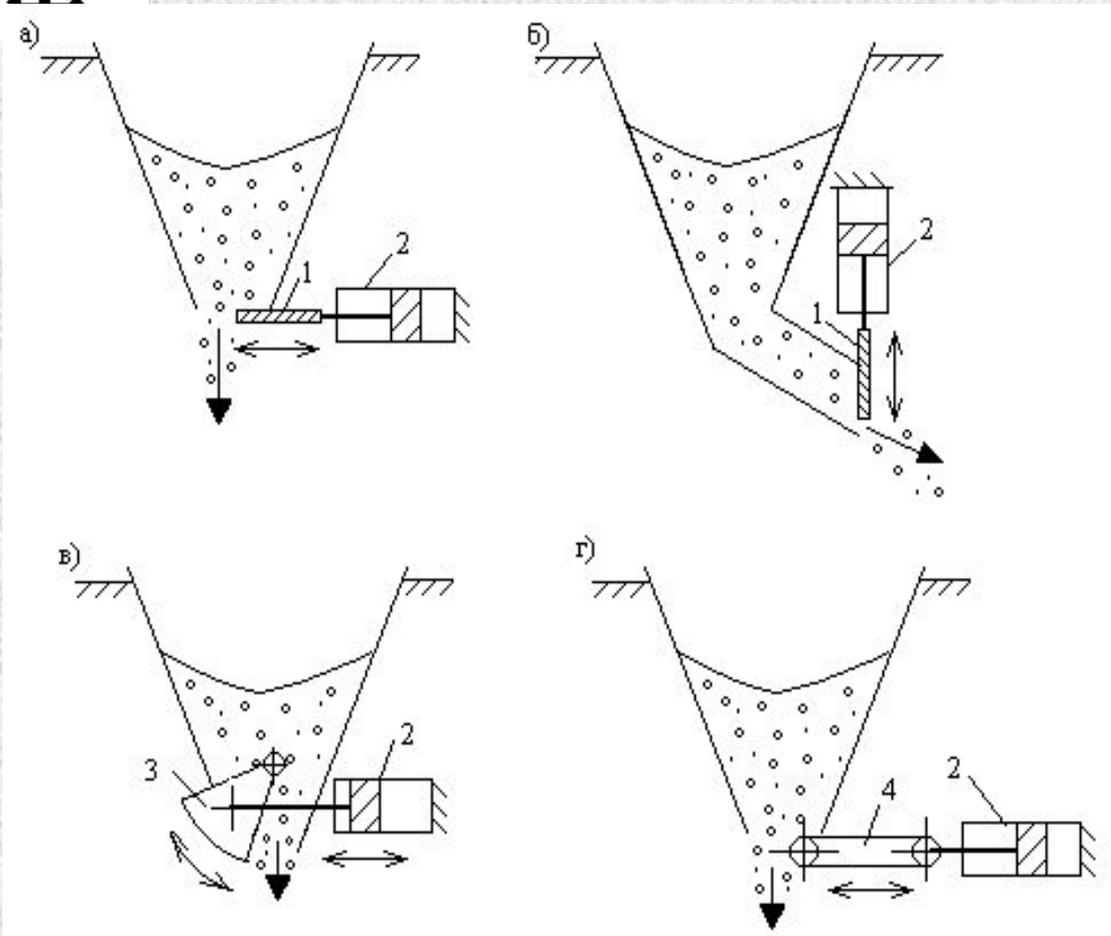
ИНТЕНСИФИКАЦИЯ ГРАВИТАЦИОННОЙ РАЗГРУЗКИ



а) вставка – конус; б) вставка двойной усеченный конус

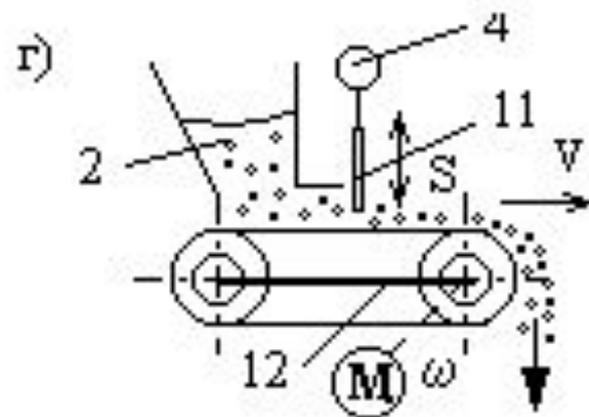
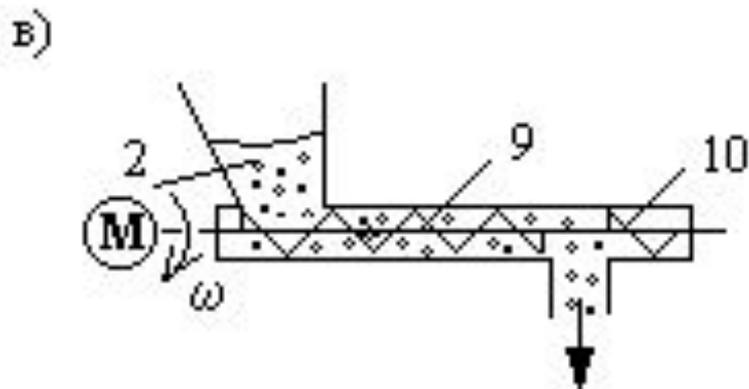
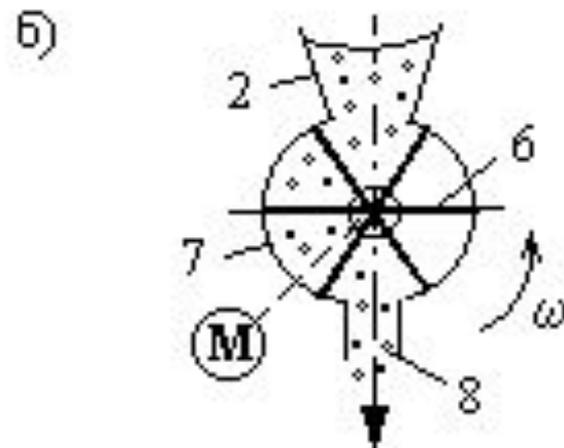
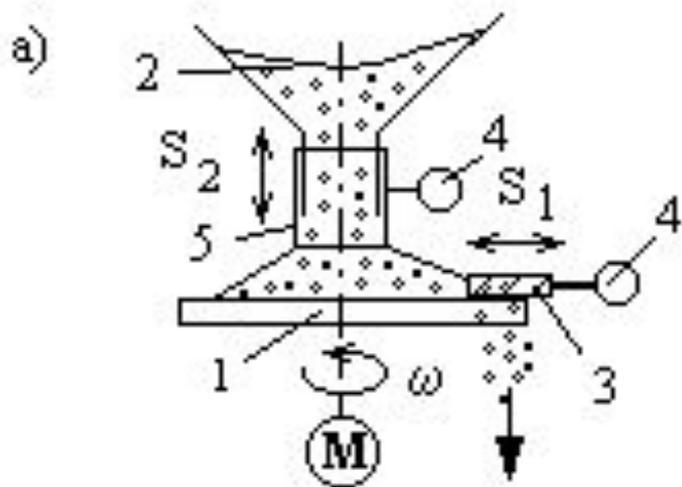


БУНКЕРНЫЕ ЗАТВОРЫ



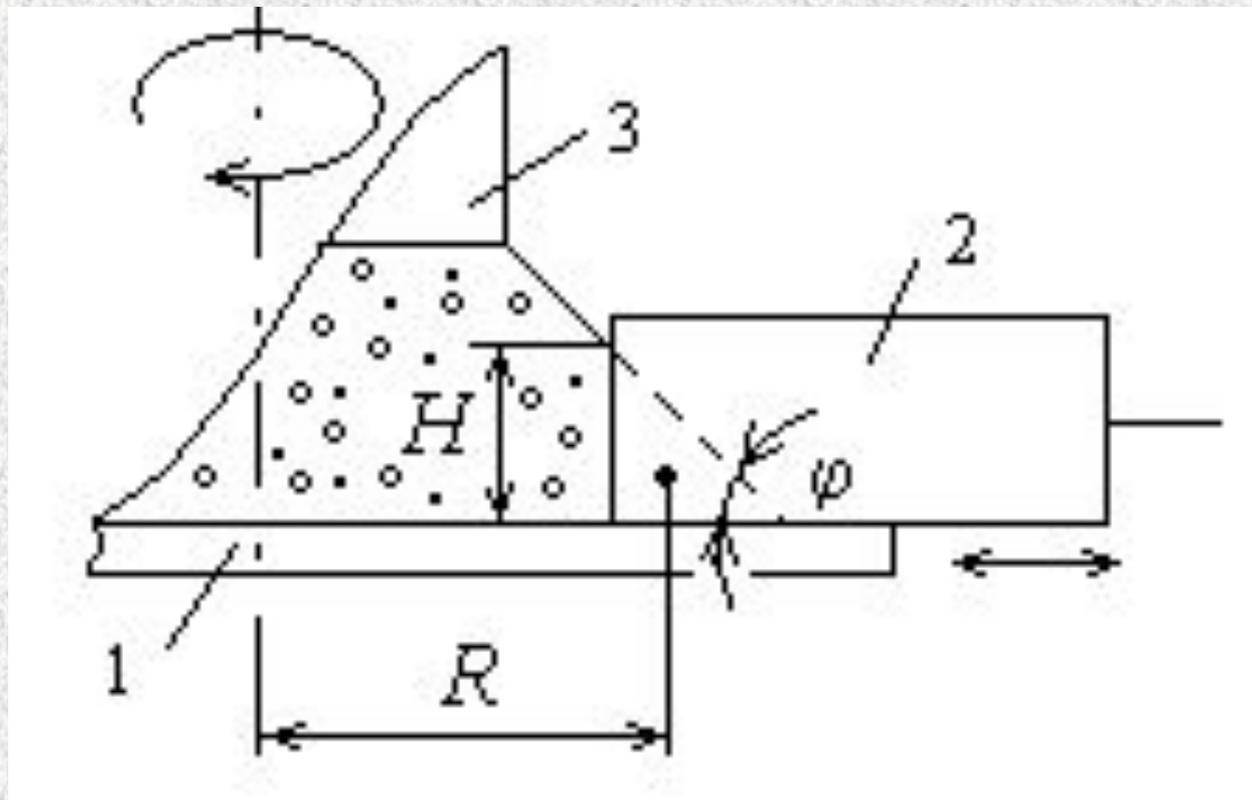
- а) горизонтальный шибер;
- б) вертикальный шибер;
- в) секторный затвор;
- г) затвор с бесконечной лентой

МЕХАНИЧЕСКИЕ ПИТАТЕЛИ



а) тарельчатый; б) секторный; в) шнековый; г) ленточный.

К РАСЧЕТУ СТАТИЧЕСКОЙ ХАРАКТЕРИСТИКИ ТАРЕЛЬЧАТОГО ПИТАТЕЛЯ



$$F_M = \pi \cdot \omega \cdot H^2 \cdot (\operatorname{tg} \varphi)^{-1} \cdot \rho_H \cdot$$



РАСХОДНЫЕ СТАТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПИТАТЕЛЕЙ ДЛЯ СЫПУЧИХ МАТЕРИАЛОВ

Для секторного питателя

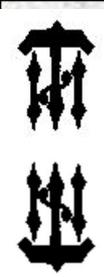
$$Q_M = V \cdot \omega \cdot \lambda \quad (1)$$

Для шнекового питателя

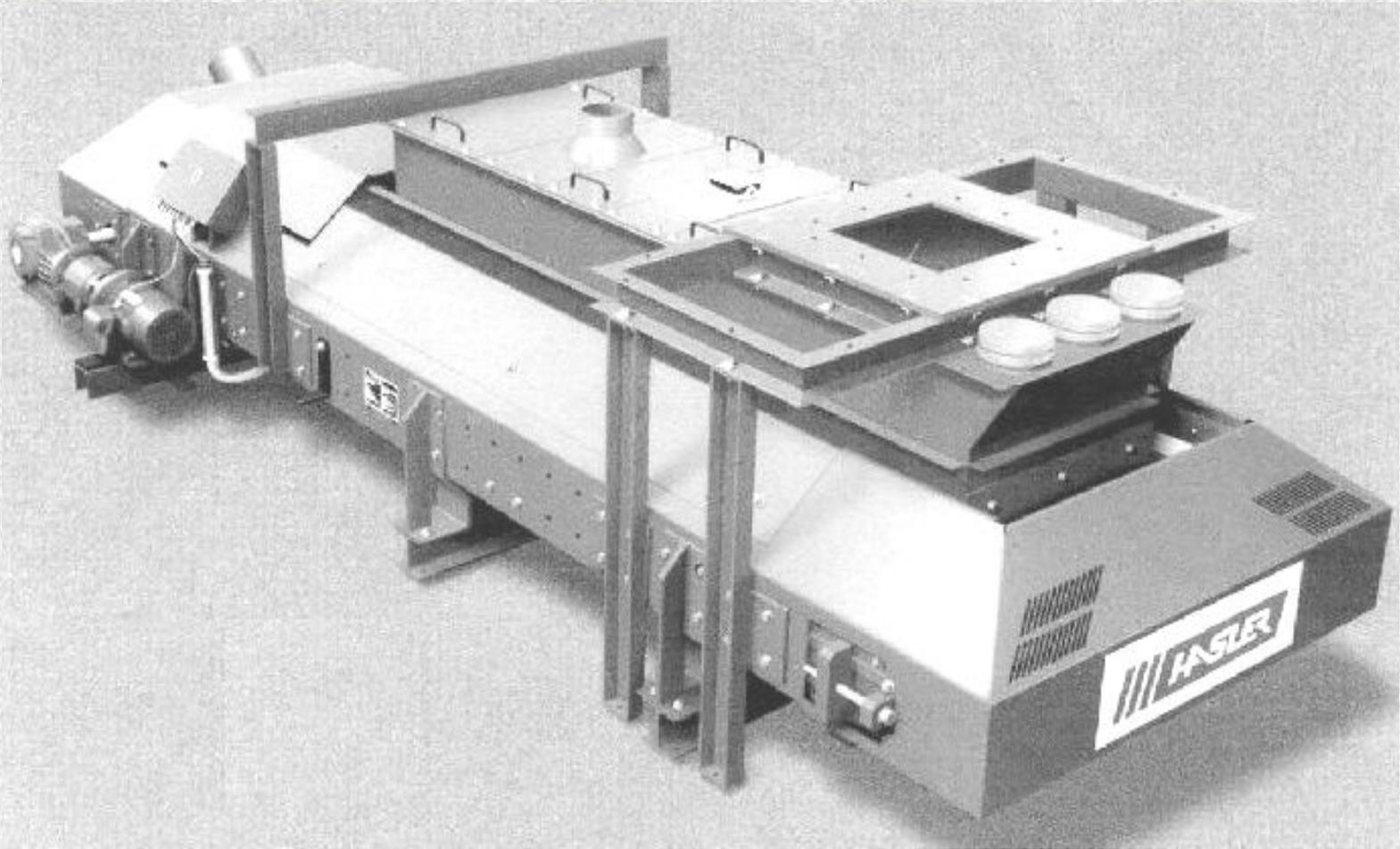
$$Q_M = 0,25\pi \cdot (D^2 - d^2) \cdot s \cdot \gamma \cdot \omega \quad (2)$$

Для ленточного питателя

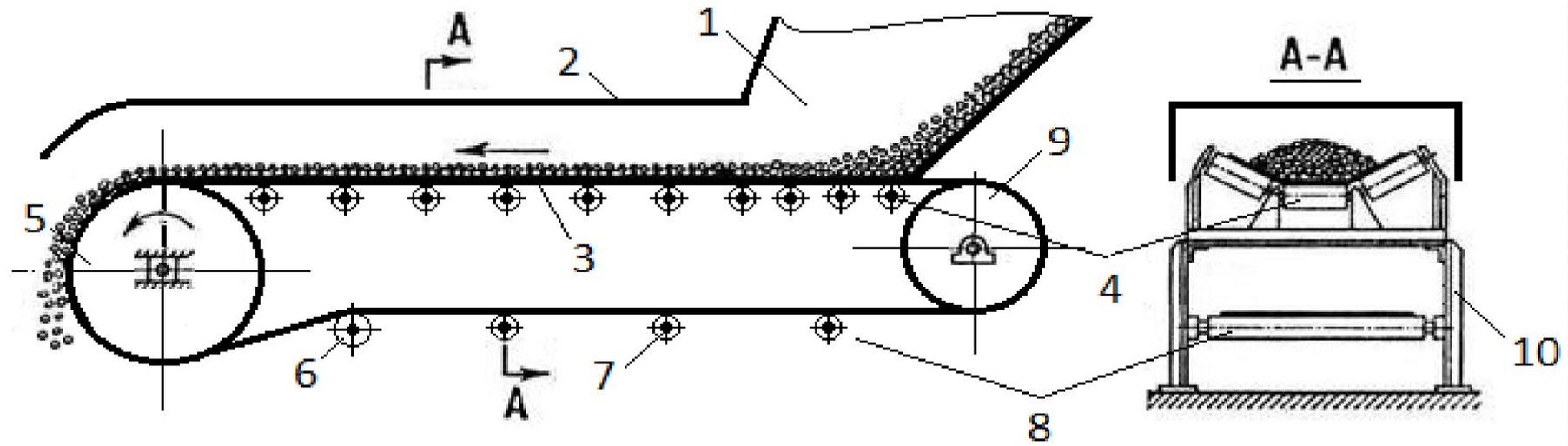
$$F_M = B \cdot (h_{MIN} + h) \cdot v_L \cdot \rho_H \cdot \quad (3)$$



ЛЕНТОЧНЫЙ ПИТАТЕЛЬ ДЛЯ СЫПУЧИХ МАТЕРИАЛОВ



ЛЕНТОЧНЫЙ ПИТАТЕЛЬ ДЛЯ СЫПУЧИХ МАТЕРИАЛОВ

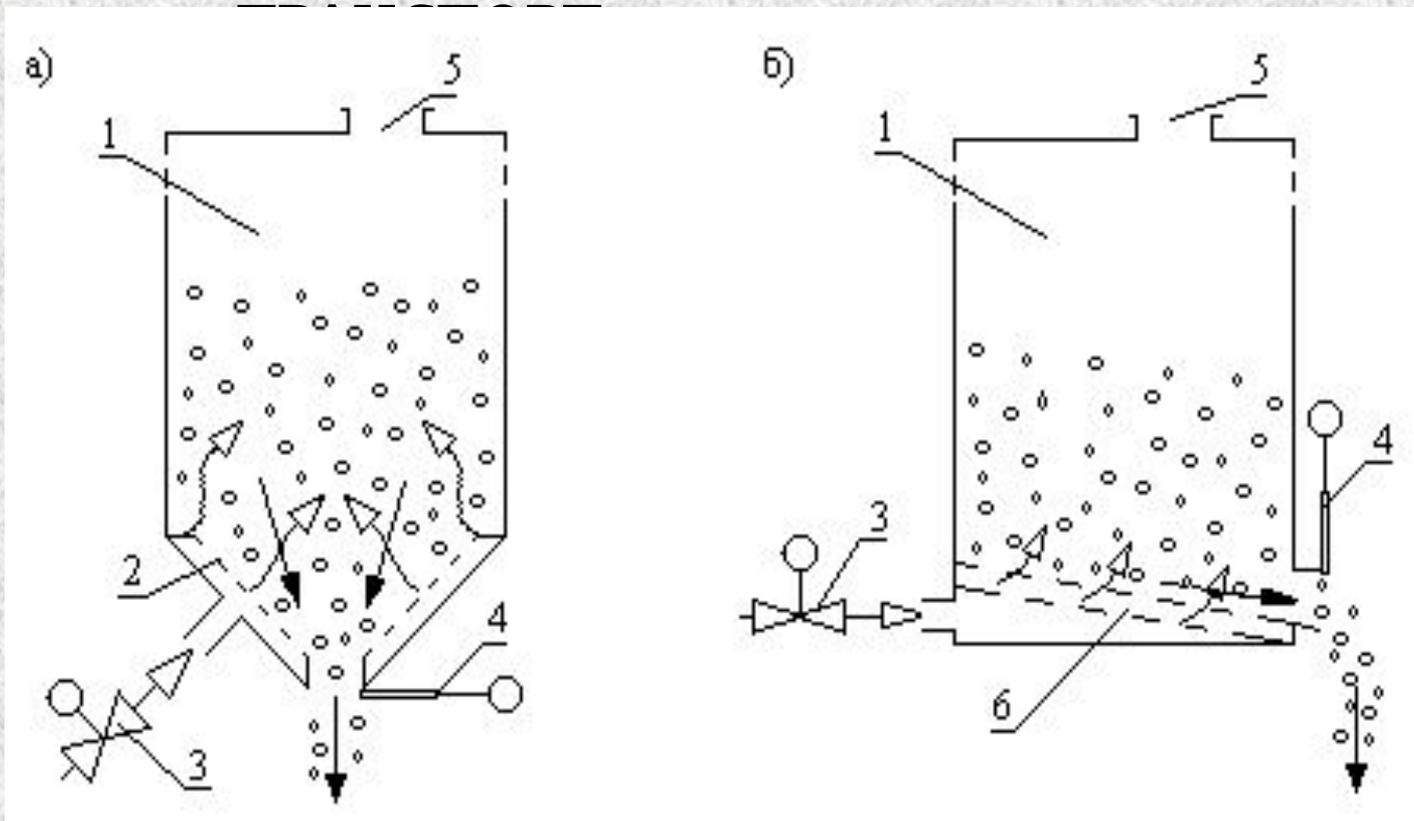


- 1 – загрузочное устройство; 2 – защитный короб;
3 – рабочая ветвь ленты; 4 – рабочие ролики;
5 – приводной барабан; 6 – отклоняющий ролик;
7 – поддерживающий ролик; 9 – натяжной барабан; 10 – рама.



ПНЕВМОТРАНСПОРТ СЫПУЧИХ МАТЕРИАЛОВ

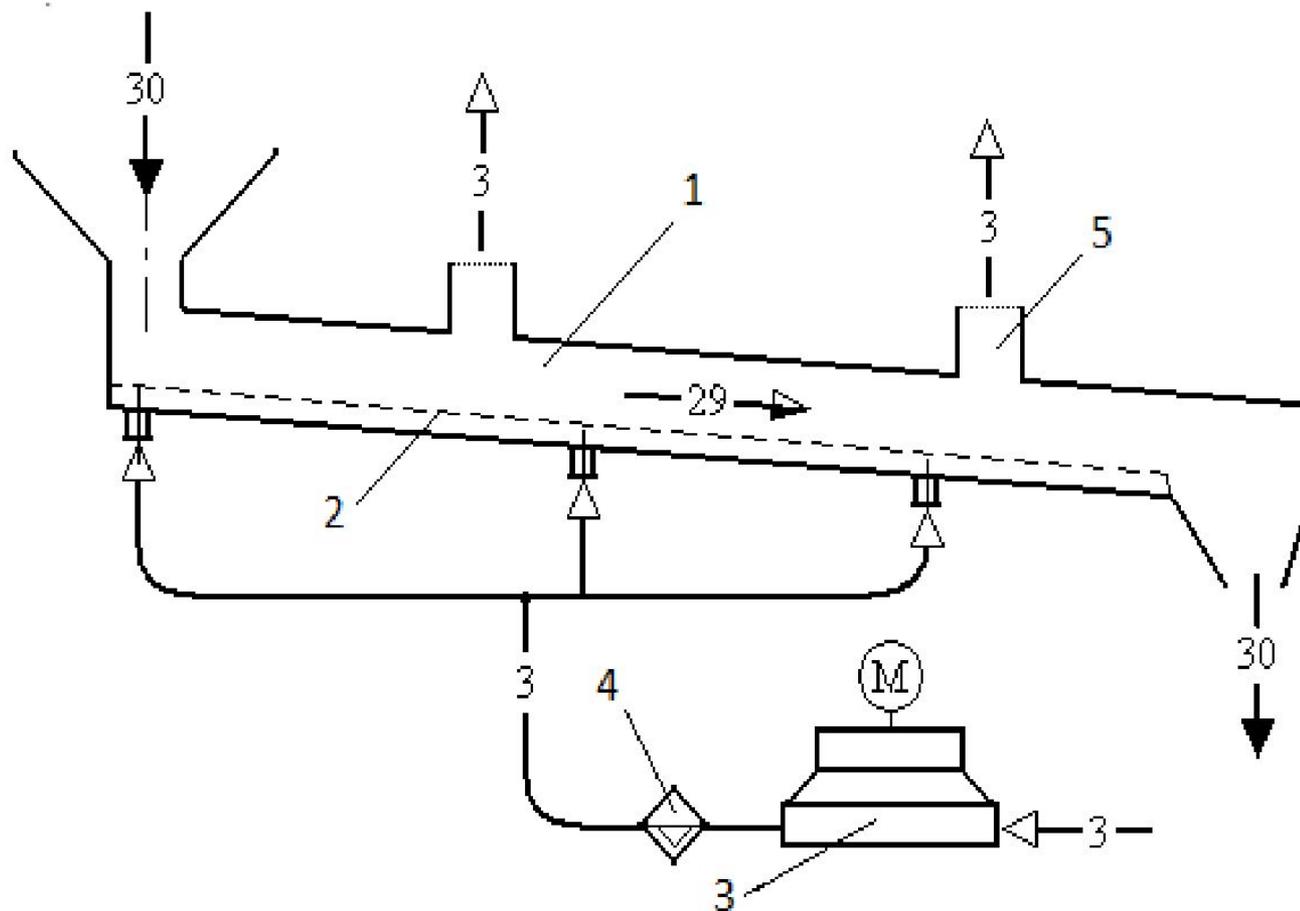
АЭРАЦИОННЫЙ



а) с конической аэростенкой; б) с наклонным аэроднищем
1 — бункер; 2 — аэростенка; 3 — ИУ на подаче оживающего воздуха;
4 — ИУ на подаче СМ; 5 — загрузочный люк; 6 — аэроднище.

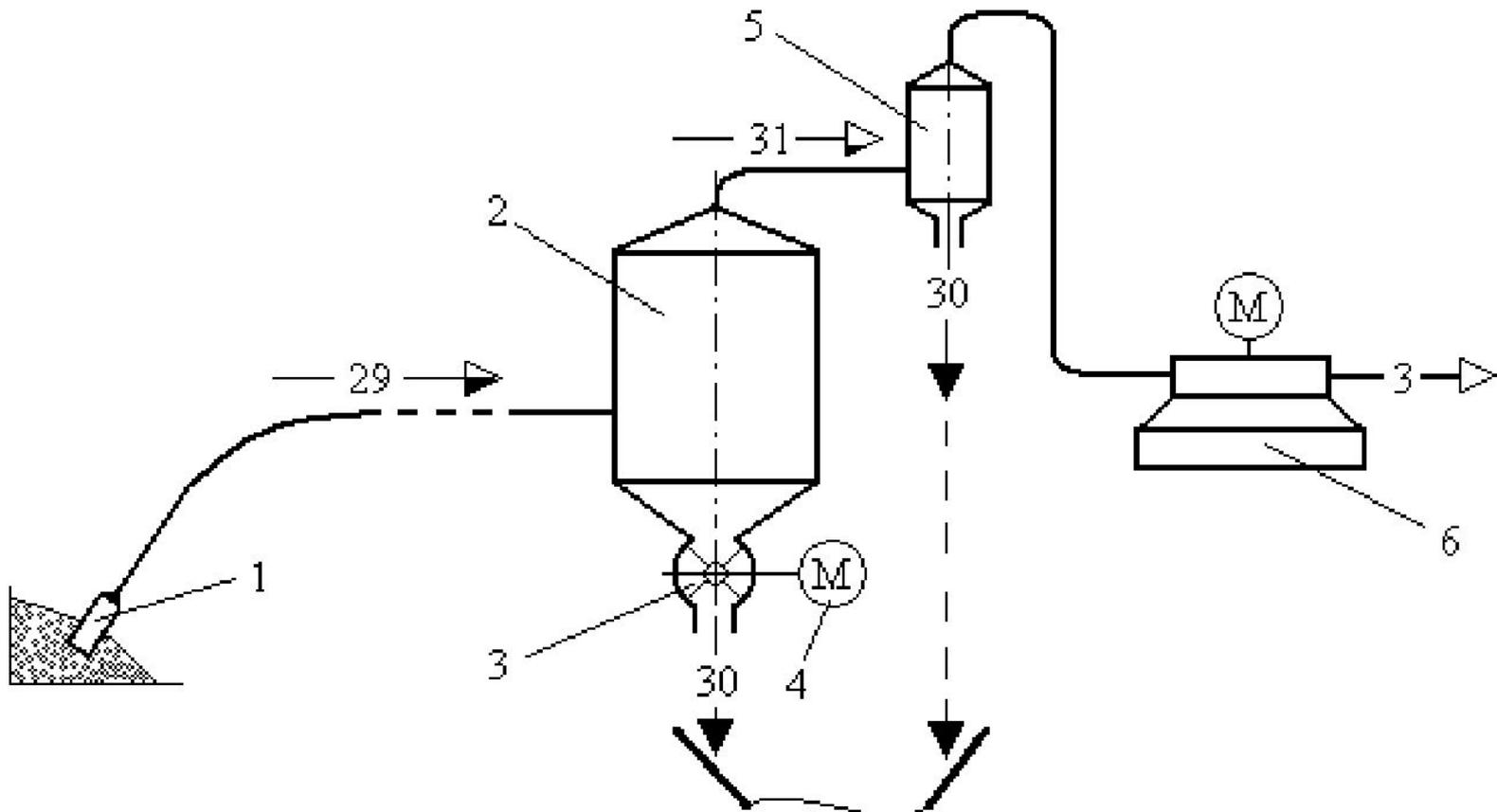
Бункерные аэрационные питатели

АЭРОЖЁЛОБ



- 1 – короб;
- 2 – аэроднище;
- 3 – воздуходувка;
- 4 – фильтр;
- 5 – фильтрующие патрубки;

ПЕРЕМЕЩЕНИЕ ЗА СЧЕТ ПЕРЕПАДА ДАВЛЕНИЯ ГАЗА

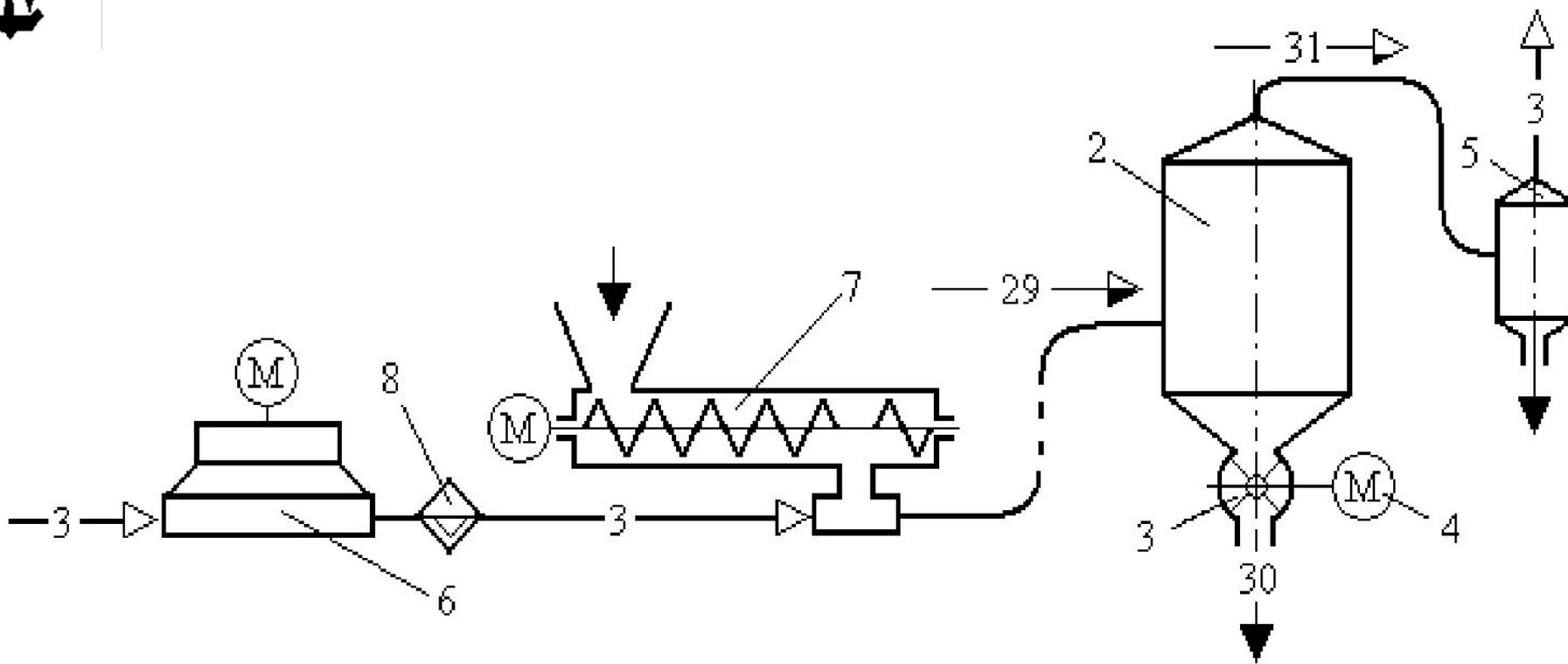


ВСАСЫВАЮЩАЯ СИСТЕМА

1 – всасывающее сопло; 2 – материалотделитель; 3 – секторный питатель; 4 – электропривод питателя; 5 – сепаратор; 6 – воздуходушный агрегат



ПЕРЕМЕЩЕНИЕ ЗА СЧЕТ ПЕРЕПАДА ДАВЛЕНИЯ ГАЗА



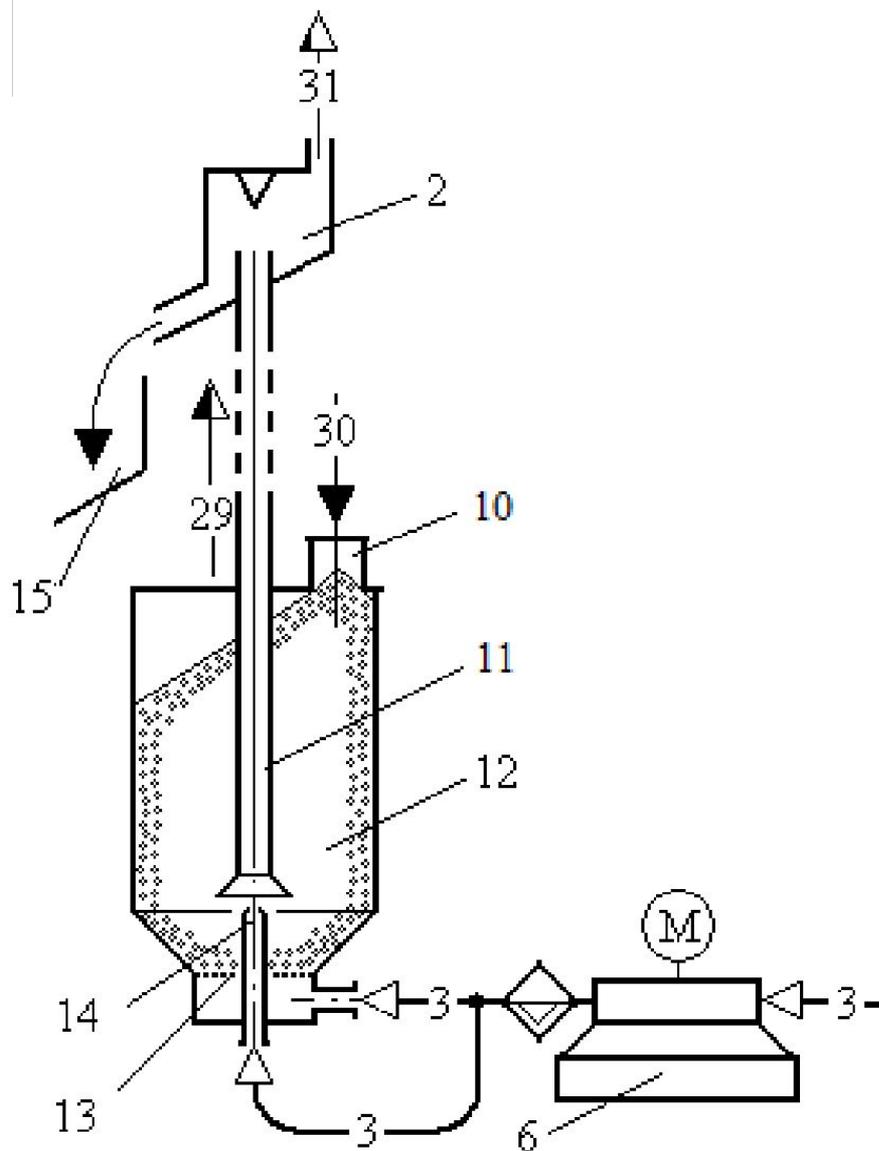
НАГНЕТАТЕЛЬНАЯ СИСТЕМА

7 – пневмовинтовой насос; 8 – воздушный фильтр

ПЕРЕМЕЩЕНИЕ ЗА СЧЕТ ПЕРЕПАДА ДАВЛЕНИЯ ГАЗА

ПНЕВМОПОДЪЕМНИК

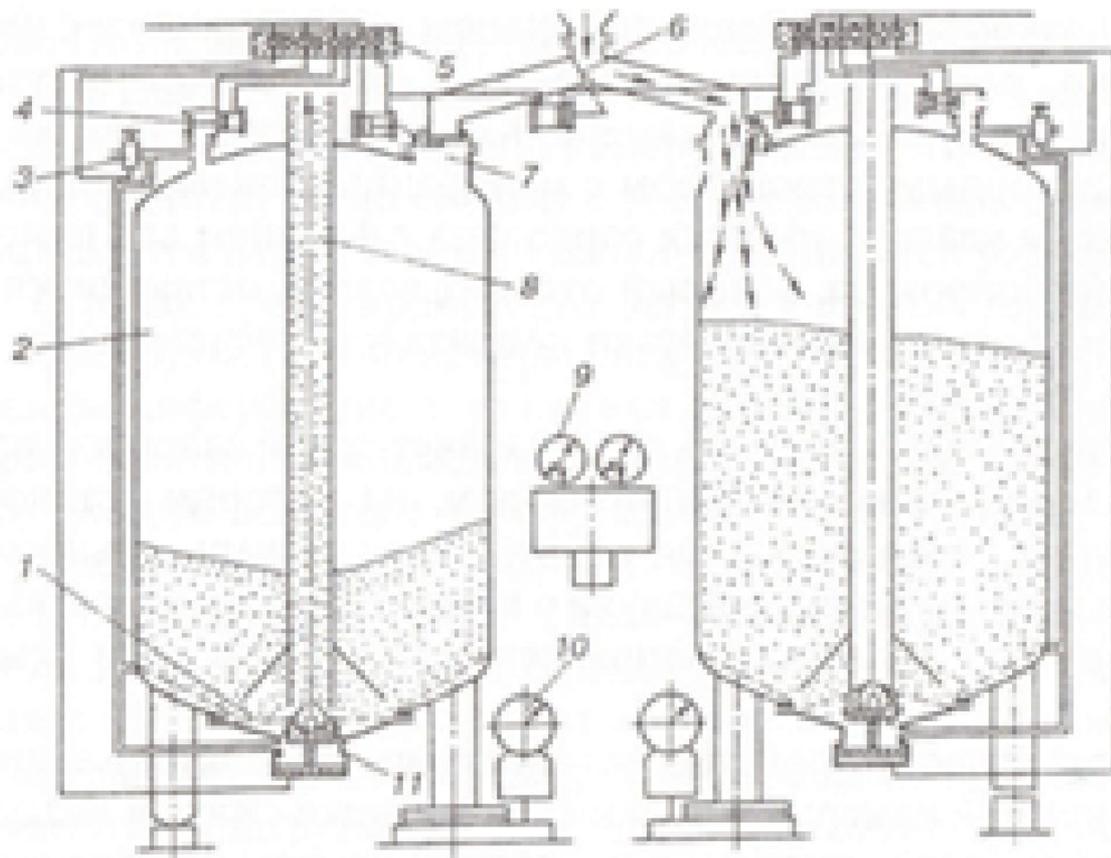
- 10 – загрузочный люк;
- 11 – транспортный ствол;
- 12 – камера;
- 13 – аэроднище;
- 14 – сопло; 15 – приемный желоб



ПНЕВМОПОБУДИТЕЛИ РАСХОДА СЫПУЧИХ МАТЕРИАЛОВ

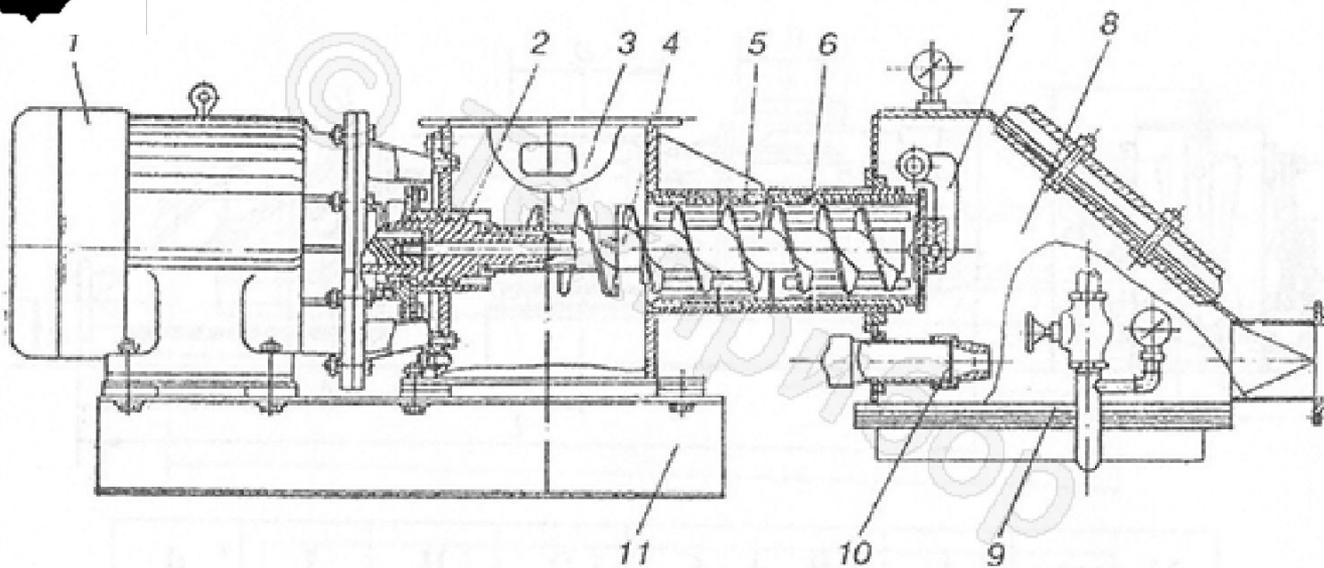
СДВОЕННЫЙ ПНЕВМОКАМЕРНЫЙ НАСОС С ВЕРХНЕЙ ВЫГРУЗКОЙ

ОДНОКАМЕРНЫЙ НАСОС С НИЖНЕЙ ВЫГРУЗКОЙ



ПОБУДИТЕЛИ РАСХОДА СЫПУЧИХ МАТЕРИАЛОВ

ПНЕВМОВИНТОВОЙ НАСОС С НИЖНЕЙ ВЫГРУЗКОЙ



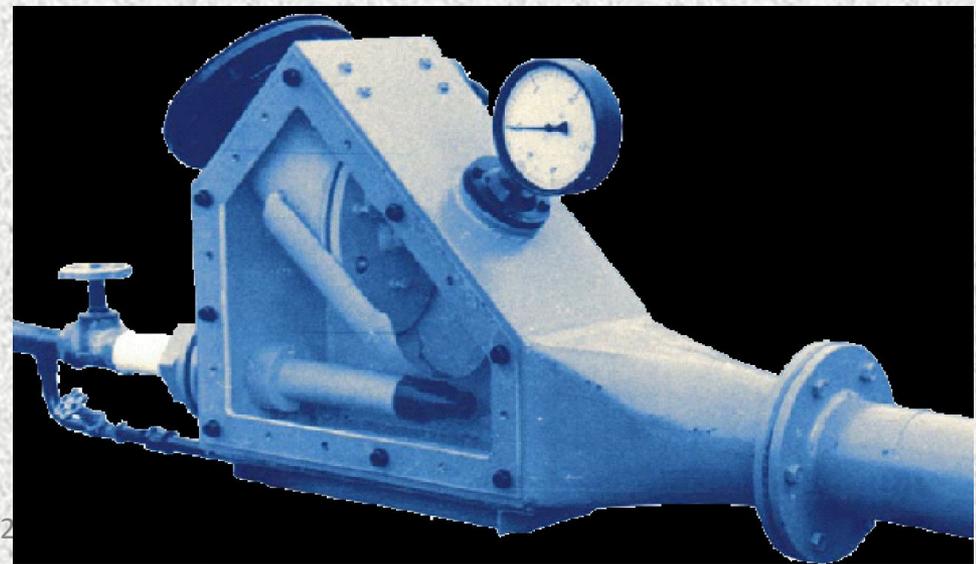
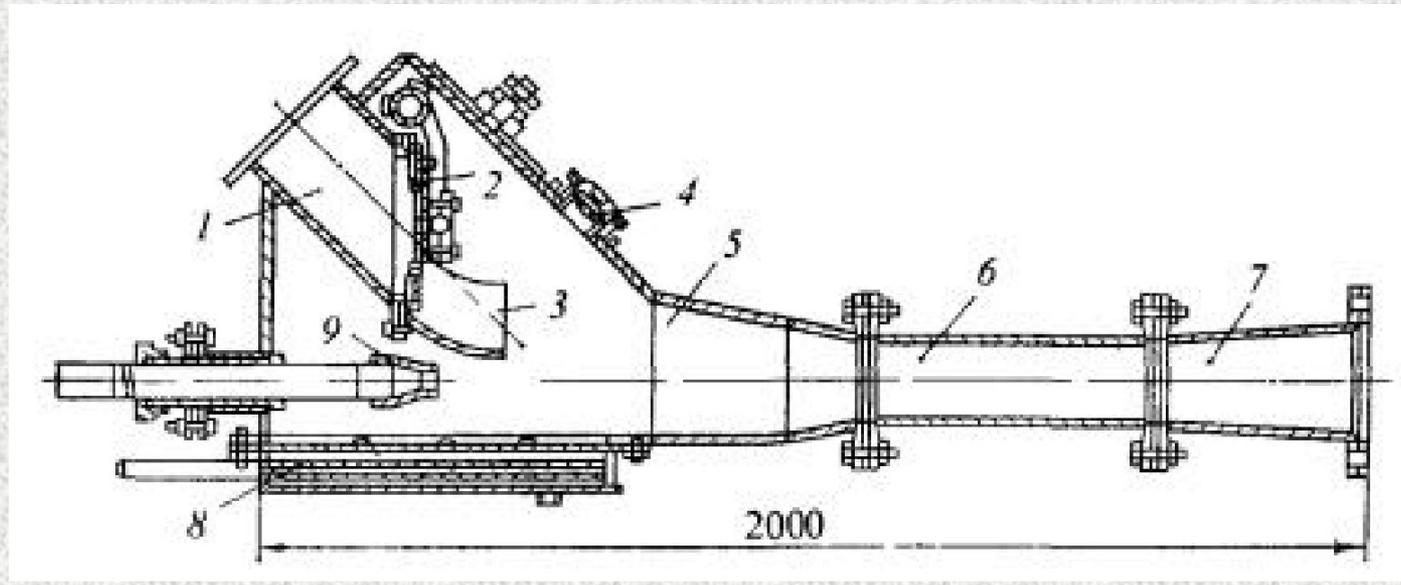
- 1 – электродвигатель;
- 4 – вал со шнеком;
- 5 – внешняя гильза;
- 6 – сменная гильза;
- 7 – обратный клапан;
- 8 – смешительная камера;
- 9 – аэроднище;
- 10 – сопло



ПНЕВМОВИНТОВОЙ НАСОС С ВЕРХНЕЙ ВЫГРУЗКОЙ

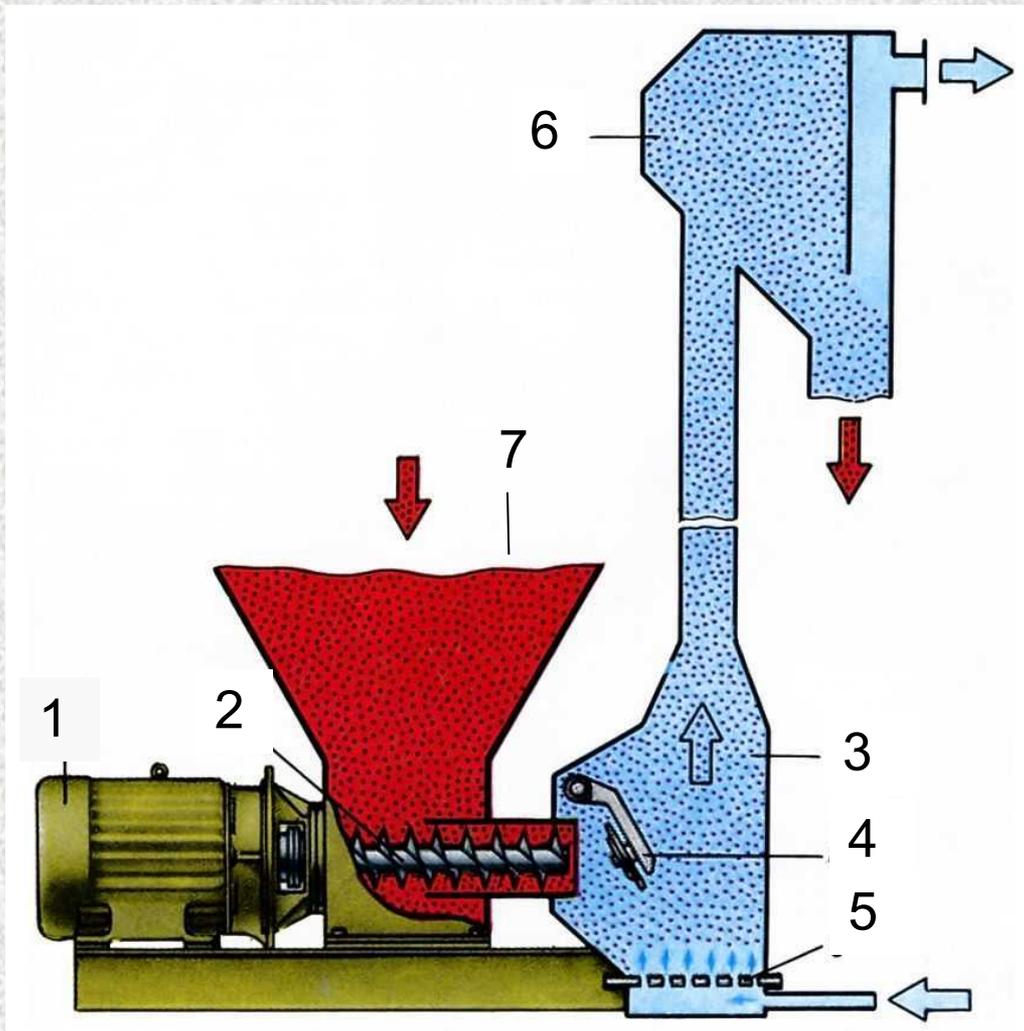
ПОБУДИТЕЛИ РАСХОДА СЫПУЧИХ МАТЕРИАЛОВ

СТРУЙНЫЙ НАСОС



- 1 – загрузочный патрубок;
- 2 – обратный клапан;
- 3 – криволинейный лоток;
- 5 – конфузор;
- 6 – смешительная камера;
- 7 – диффузор

ВИНТОВОЙ НАСОС С ПНЕВМОПОДЪЁМНИКОМ (комбинированный транспорт)



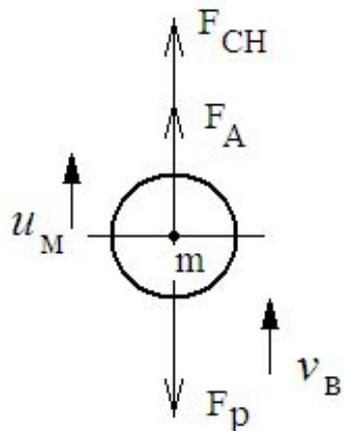
- 1 – АСИНХРОННЫЙ ПРИВОД
- 2 – ШНЕК
- 3 – СМЕСИТЕЛЬНАЯ КАМЕРА
- 4 – ОБРАТНЫЙ КЛАПАН
- 5 – АЭРОДНИЩЕ
- 6 – МАТЕРИАЛОТДЕЛИТЕЛЬ
- 7 – РАСХОДНЫЙ БУНКЕР

$$Q_{\text{в}} = Q_{\text{в макс}}$$

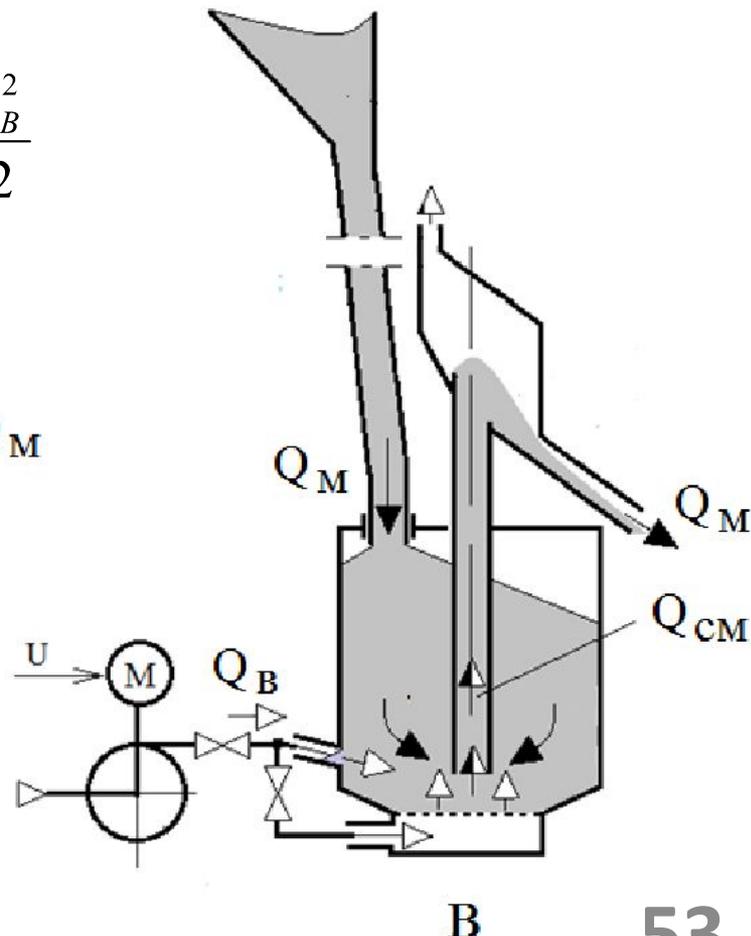
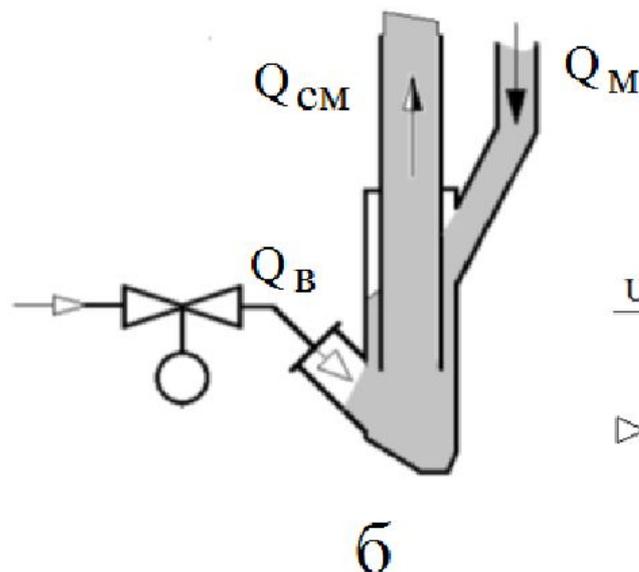
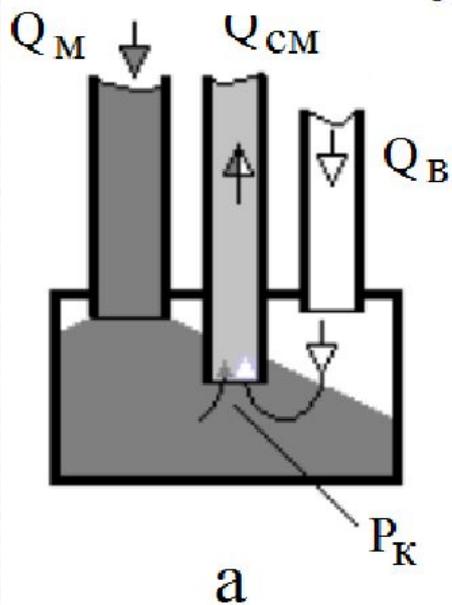
БАЗОВОЕ УСТРОЙСТВО: ВЕРТИКАЛЬНЫЙ ПНЕВМАТИЧЕСКИЙ ПИТАТЕЛЬ

ПРИНЦИПИАЛЬНЫЕ СХЕМЫ

ВПП



$$F_{CH} = k_X \cdot S_{MID} \cdot \rho_B \frac{v_B^2}{2}$$



ВАРИАНТЫ КОНСТРУКТИВНЫХ РЕШЕНИЙ





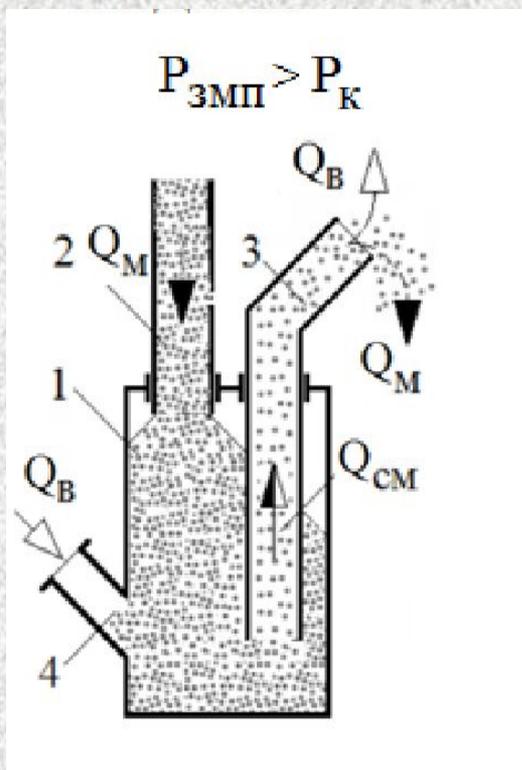
ОСНОВНЫЕ СВОЙСТВА И ВОЗМОЖНОСТИ ВЕРТИКАЛЬНОГО ПНЕВМАТИЧЕСКОГО ПИТАТЕЛЯ

- 1) Возможность регулирования расхода в широком диапазоне;
- 2) обеспечение заданного класса точности по расходу;
- 3) герметичность, обеспечивающая отсутствие контакта сыпучего материала с окружающей средой;
- 4) отсутствие кинематических пар в контакте с материалом;
- 5) возможность дозагрузки без прекращения подачи;
- 6) возможность выполнения параллельно с управляемой подачей ряда технологических операций;
- 7) возможность применения газа-носителя с различными свойствами;
- 8) простота конструкции и невысокая стоимость.

НАПОРНЫЕ УСТРОЙСТВА

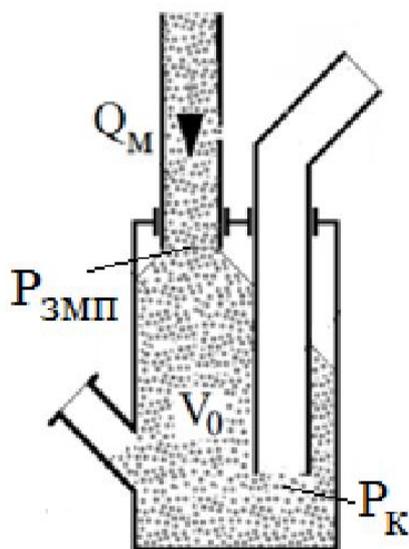


НЕПРЕРЫВНАЯ
ПОДАЧА - ВПП

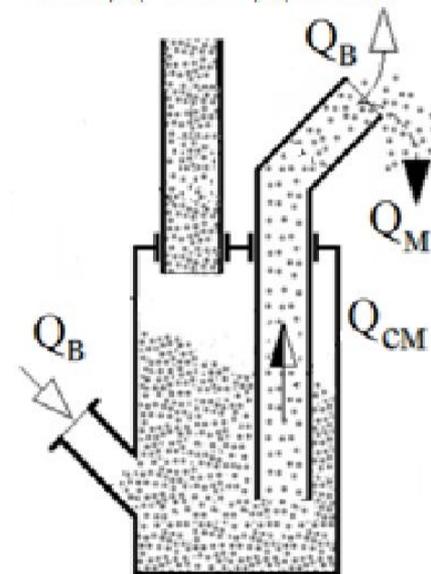


ИМПУЛЬСНОЕ
ОБЪЕМНОЕ
ДОЗИРОВАНИЕ - ДФС

$P_{ЗМП} > P_K$
ЗАПОЛНЕНИЕ



$P_{ЗМП} < P_K$
ВЫДАЧА ДОЗЫ



- 1 – СМЕСИТЕЛЬНАЯ ЁМКОСТЬ
- 2 – ЗАГРУЗОЧНЫЙ МАТЕРИАЛОПРОВОД
- 3 – ВЫПУСКНОЙ СТВОЛ
- 4 – ВОЗДУХОВОД



РАСЧЕТ СКОРОСТИ НЕСУЩЕГО ВОЗДУХА ПРИ ВЕРТИКАЛЬНОМ ПНЕВМОТРАНСПОРТЕ

Расчет скорости витания частицы материала

$$Ar = \frac{(\rho_M - \rho_B) \cdot g \cdot \rho_B \cdot d_M^3}{\mu_B^2}; \quad Re_{BT} = \frac{Ar}{18 + 0.75\sqrt{Ar}}; \quad v_{BT} = \frac{Re_{BT} \cdot \mu_B}{d_M \cdot \rho_B}.$$

Минимальная скорость воздуха, необходимая для устойчивого перемещения материала

$$v_B^{MIN} = v_B^{KP} \approx 2v_{BT};$$

Необходимый расход воздуха*

$$F_B^{MIN} = v_B^{MIN} \cdot S_{TP} \cdot \rho_M$$

Скорость и расход частиц материала

$$u_M = 2v_{BT} - v_{BT} = v_{BT} \rightarrow F_M^{MIN} = u_M \cdot S_{TP} \cdot \sigma_V \cdot \rho_M$$

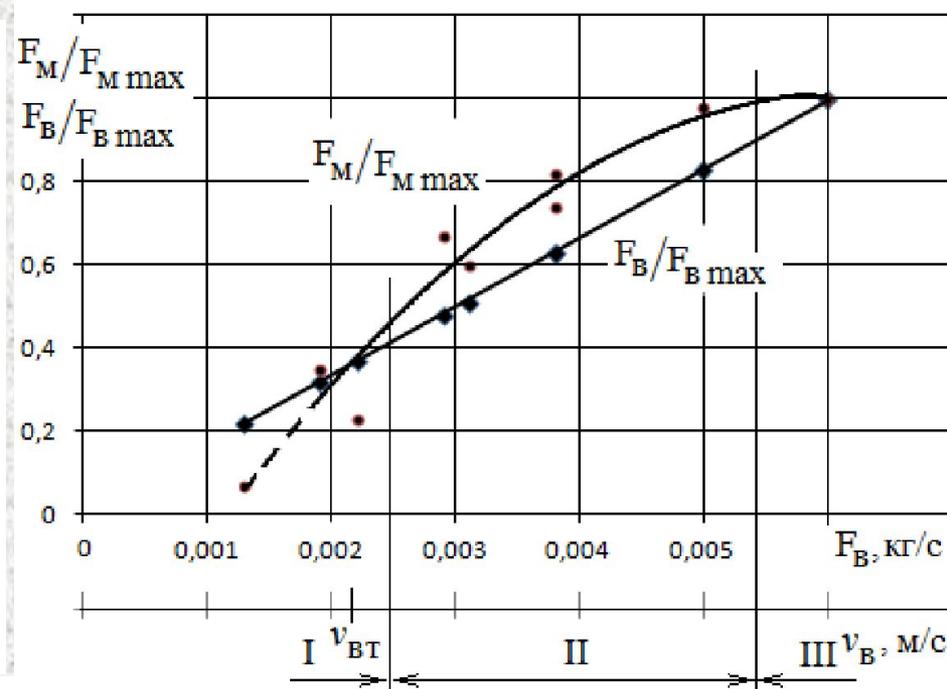
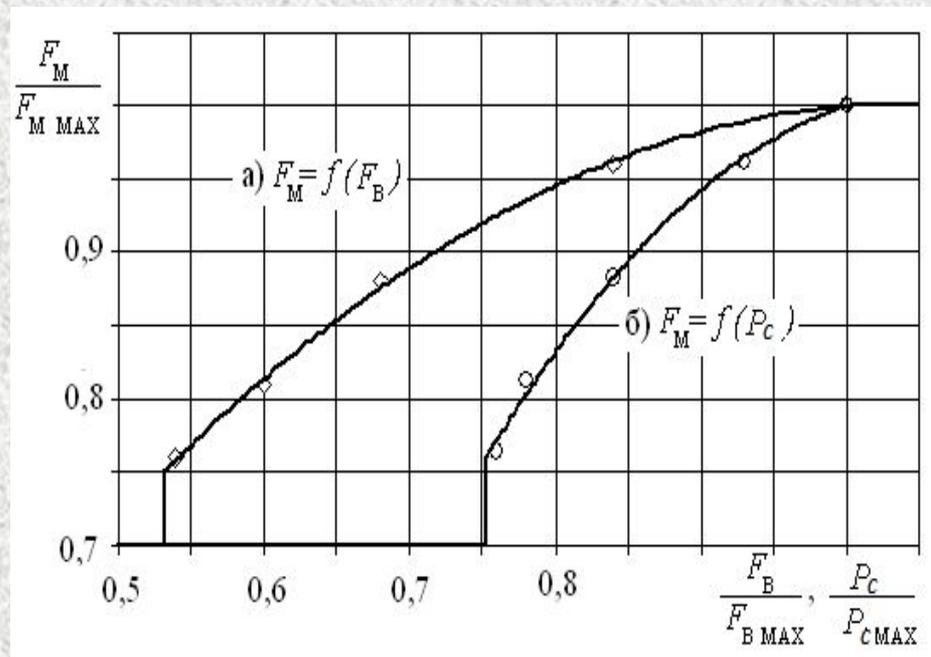
Проверка по допустимой поперечной нагрузке

$$F_M < F_Y \cdot S_{TP}, \quad F_Y = F_{Y \text{ ДОП}}, \frac{\text{кг/с}}{\text{м}^2}$$

*Диаметр транспортного трубопровода d_{TP} известен



СТАТИЧЕСКИЕ (РАСХОДНЫЕ) ХАРАКТЕРИСТИКИ ВЕРТИКАЛЬНОГО ПНЕВМАТИЧЕСКОГО ПИТАТЕЛЯ



$$F_M = (v_B - \Delta v) \cdot S_{TP} \cdot \rho_M \cdot \sigma_V \quad (1)$$

$$F_M = \left(\frac{F_B}{\rho_B} - S_{TP} \cdot \Delta v(F_B) \right) \cdot \rho_M \cdot \sigma_V(F_B) \quad (2)$$

$$F_M = -A \cdot F_B^2 + B \cdot F_B + C \quad (3)$$



ДИНАМИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ВЕРТИКАЛЬНОГО ПНЕВМОПИТАТЕЛЯ

УРАВНЕНИЕ ДИНАМИКИ ДВУХФАЗНОГО ПОТОКА В ТРАНСПОРТНОМ СТВОЛЕ

$$L \cdot \frac{dF_{CM}}{d(t-\tau)} = P_C \cdot S_{TP} - \frac{F_{CM}^2 \cdot \kappa \cdot \mu \cdot H}{2\alpha^2 \cdot S_{TP} \cdot d_{TP} \cdot \rho_{CM}}$$

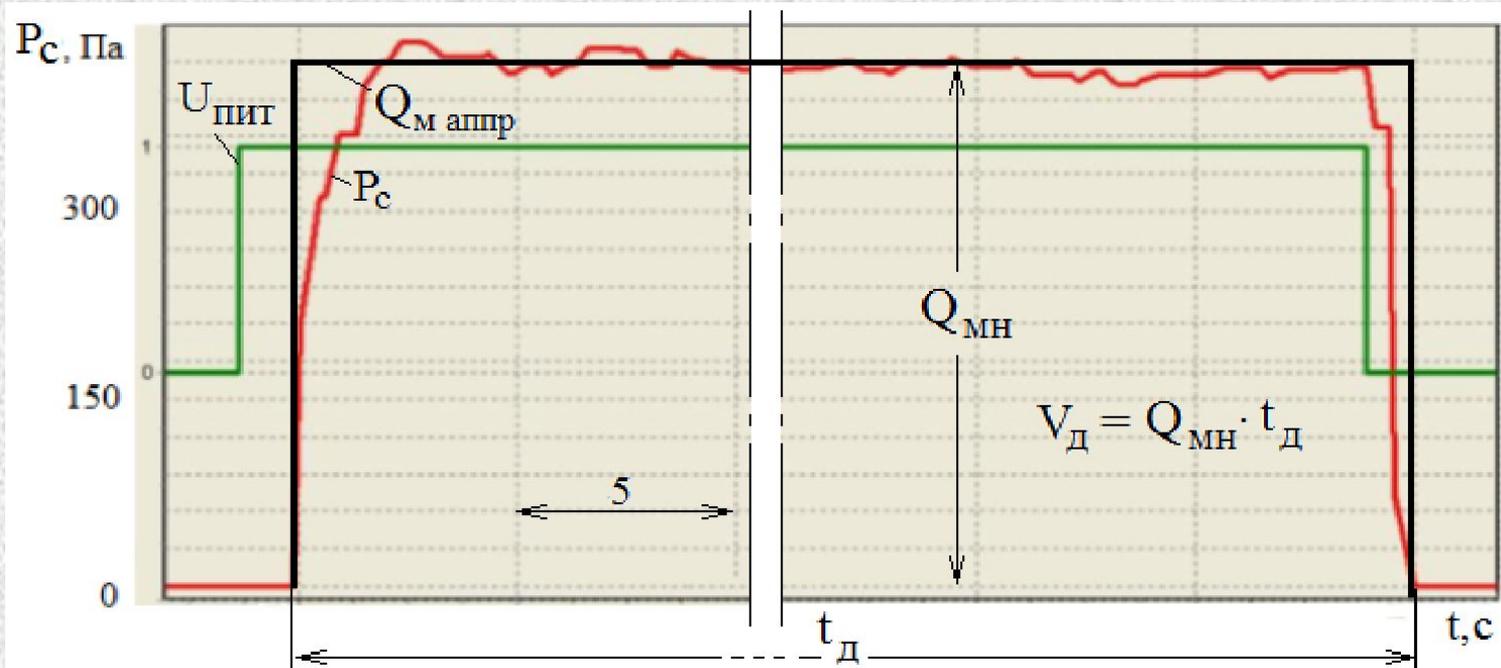
НА ЛИНЕЙНОМ УЧАСТКЕ СТАТИЧЕСКОЙ ХАРАКТЕРИСТИКИ $F_{CM} = k \cdot P_C$

ЛИНЕАРИЗОВАННОЕ УРАВНЕНИЕ ДИНАМИКИ

$$\frac{L}{S_{TP}} \cdot \frac{dF_{CM}}{d(t-\tau)} + k^* \cdot F_{CM} = P_C$$

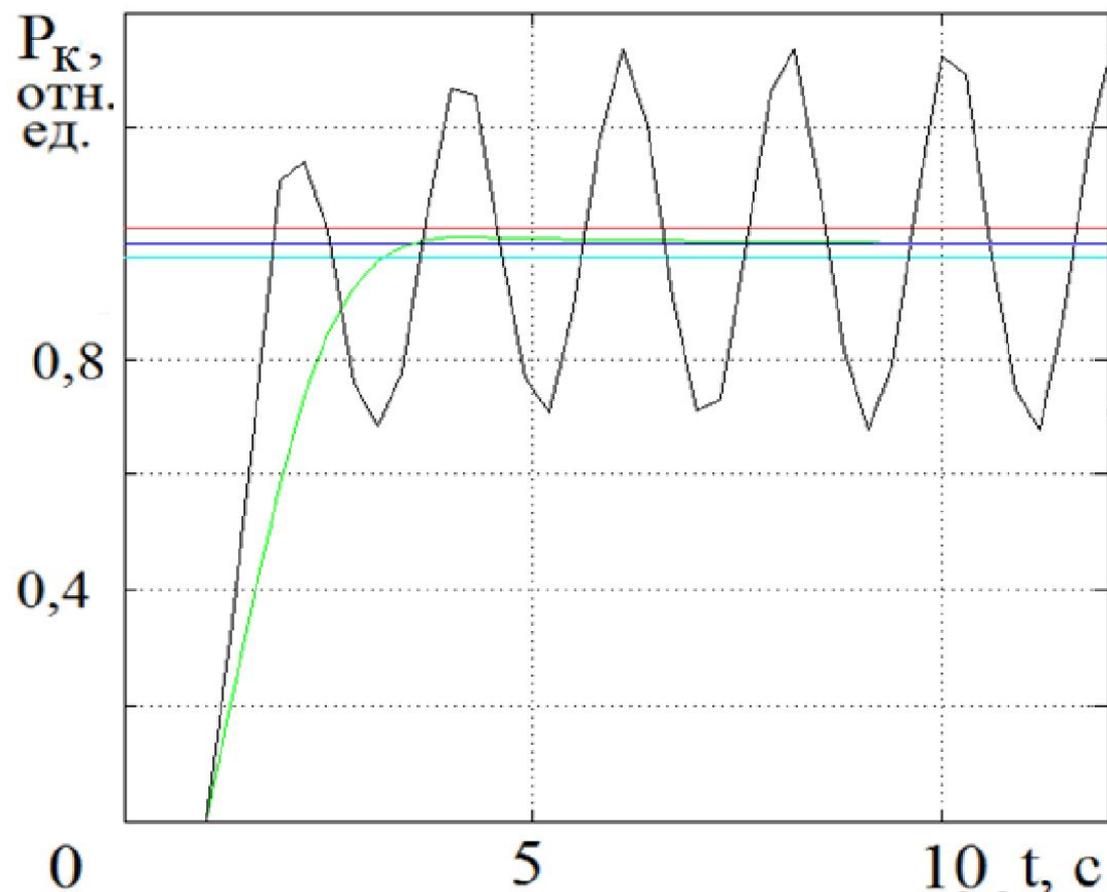
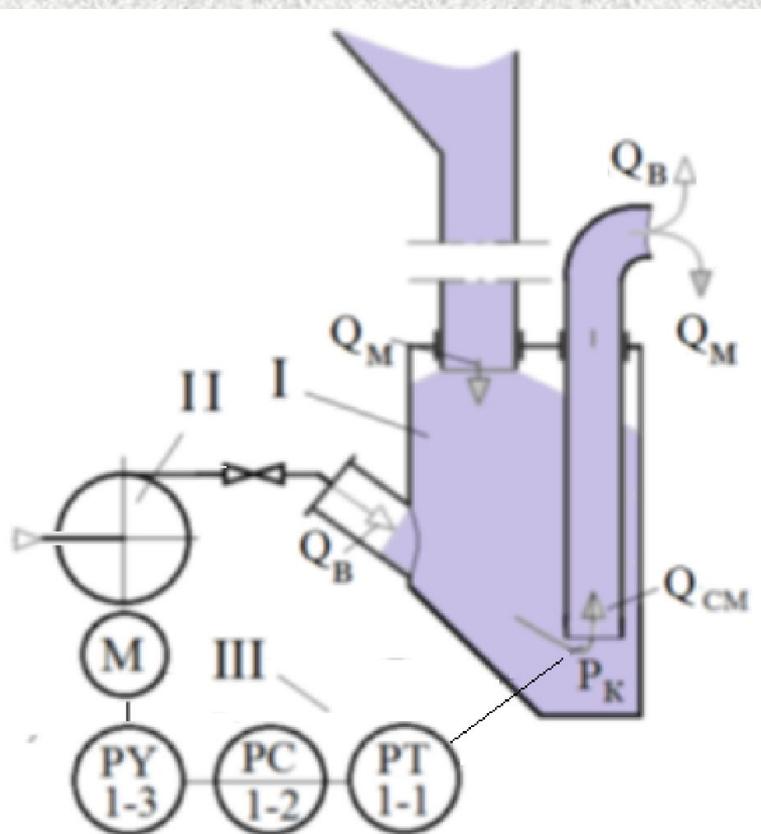
ПЕРЕДАТОЧНАЯ ФУНКЦИЯ ПРИ ПОСТОЯННОМ

$$W_{ИВ}(p) = \frac{F_{CM}(p)}{P_C(p)} = \frac{F_{CM} \exp\{-\tau \cdot p\}}{L \cdot S_{TP}^{-1} \cdot k^{-1} + 1} = \frac{K_{ИВ} \cdot \exp\{-\tau \cdot p\}}{T_{ИВ} \cdot p + 1}$$

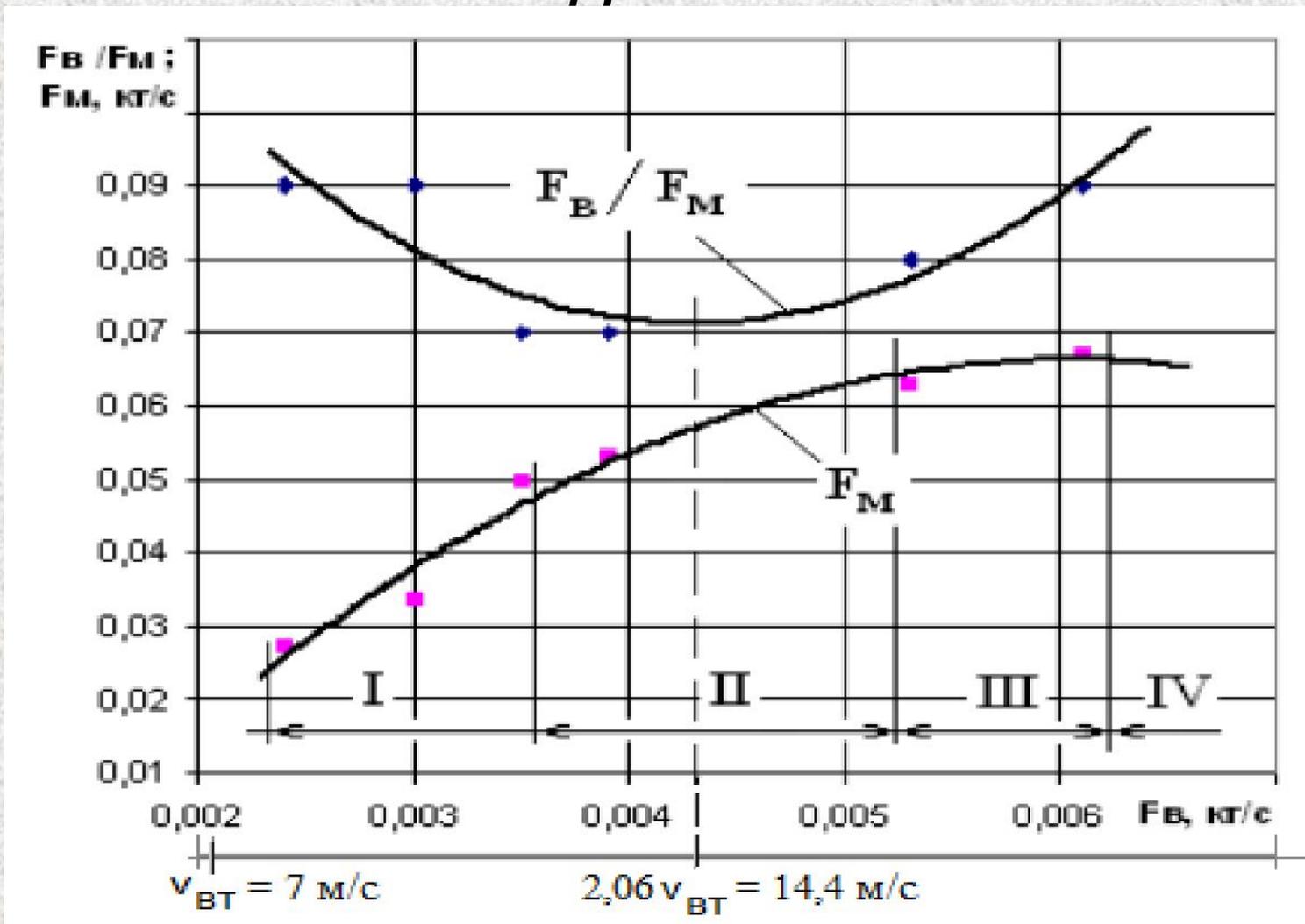


АСР РАСХОДА СЫПУЧЕГО МАТЕРИАЛА (НЕПРЕРЫВНОГО ДЕЙСТВИЯ НА БАЗЕ ВПП)

ПЕРЕХОДНЫЙ ПРОЦЕСС ПРИ ПУСКЕ
С УЧЁТОМ НЕЛИНЕЙНОСТИ
КОЭФФИЦИЕНТА ПЕРЕДАЧИ



О ВОЗМОЖНОСТИ ОПТИМИЗАЦИИ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ЗАТРАТ НА ПЕРЕМЕЩЕНИЕ ТВЕРДОЙ ФАЗЫ



ДИНАМИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ДОЗАТОРА С ФИКСИРОВАННОЙ СКОРОСТЬЮ ВЫДАЧИ ДОЗЫ

УРАВНЕНИЕ ДИНАМИКИ ДВУХФАЗНОГО ПОТОКА

$$L \cdot \frac{dF_{CM}}{d(t-\tau)} = P_C \cdot S_{TP} - \frac{F_{CM}^2 \cdot \kappa \cdot \mu \cdot H}{2\alpha^2 \cdot S_{TP} \cdot d_{TP} \cdot \rho_{CM}}$$

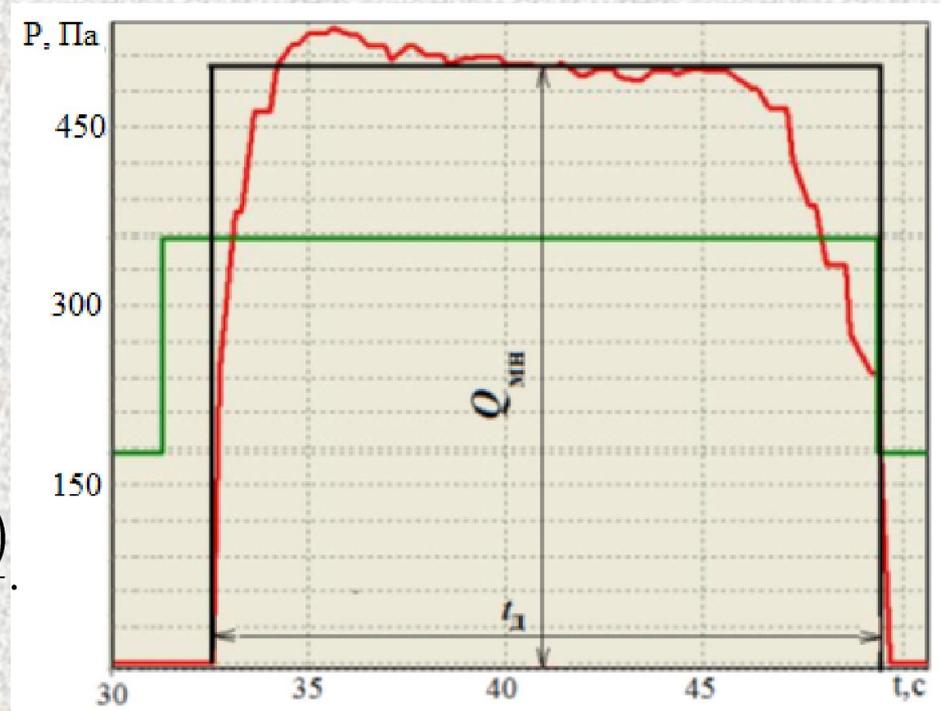
НА ЛИНЕЙНОМ УЧАСТКЕ СТАТИЧЕСКОЙ ХАРАКТЕРИСТИКИ $F_{CM} = k \cdot P_C$

ЛИНЕАРИЗОВАННОЕ УРАВНЕНИЕ ДИНАМИКИ

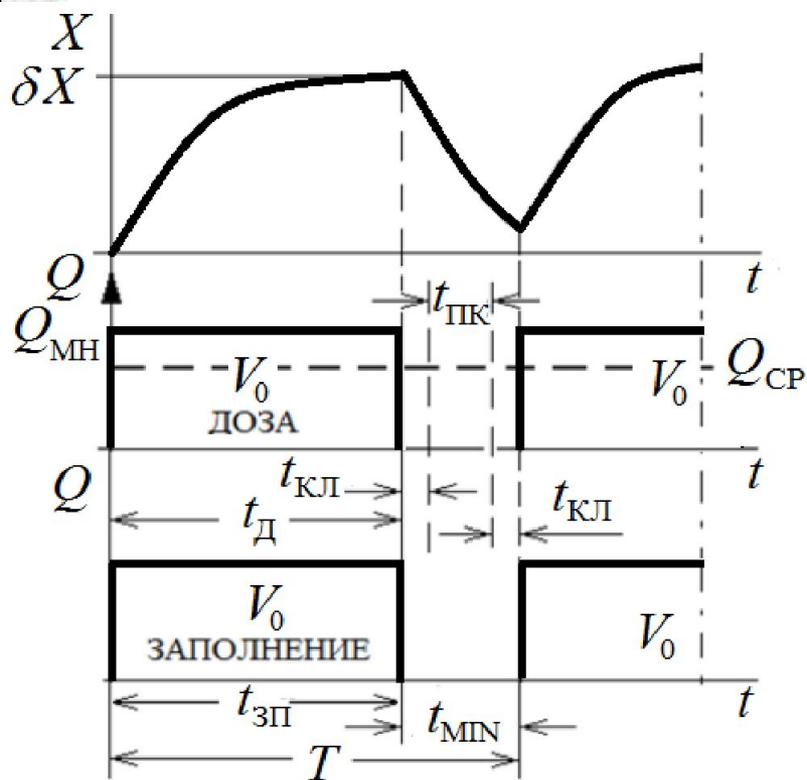
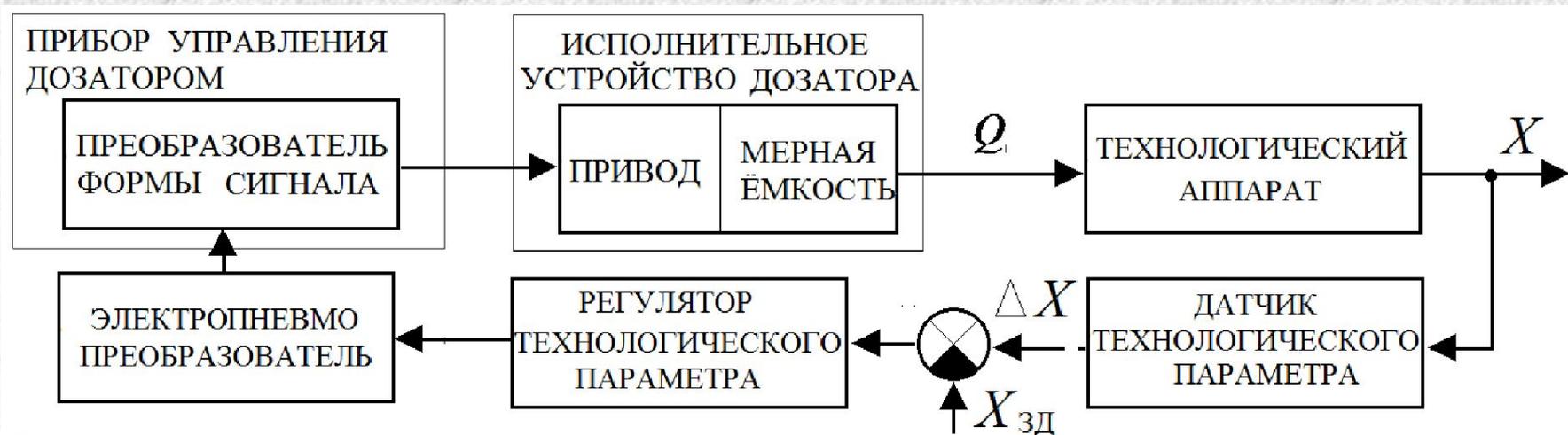
$$\frac{L}{S_{TP}} \cdot \frac{dF_{CM}}{d(t-\tau)} + k \cdot F_{CM} = P_C$$

ПЕРЕДАТОЧНАЯ ФУНКЦИЯ

$$W_{ИВ}(p) = \frac{F_{CM}(p)}{P_C(p)} = \frac{F_{MH} \cdot (1 - \exp\{-t_d \cdot p\})}{p}$$



АСР С ДИСКРЕТНЫМ ДОЗИРУЮЩИМ ИУ



СТАТИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА

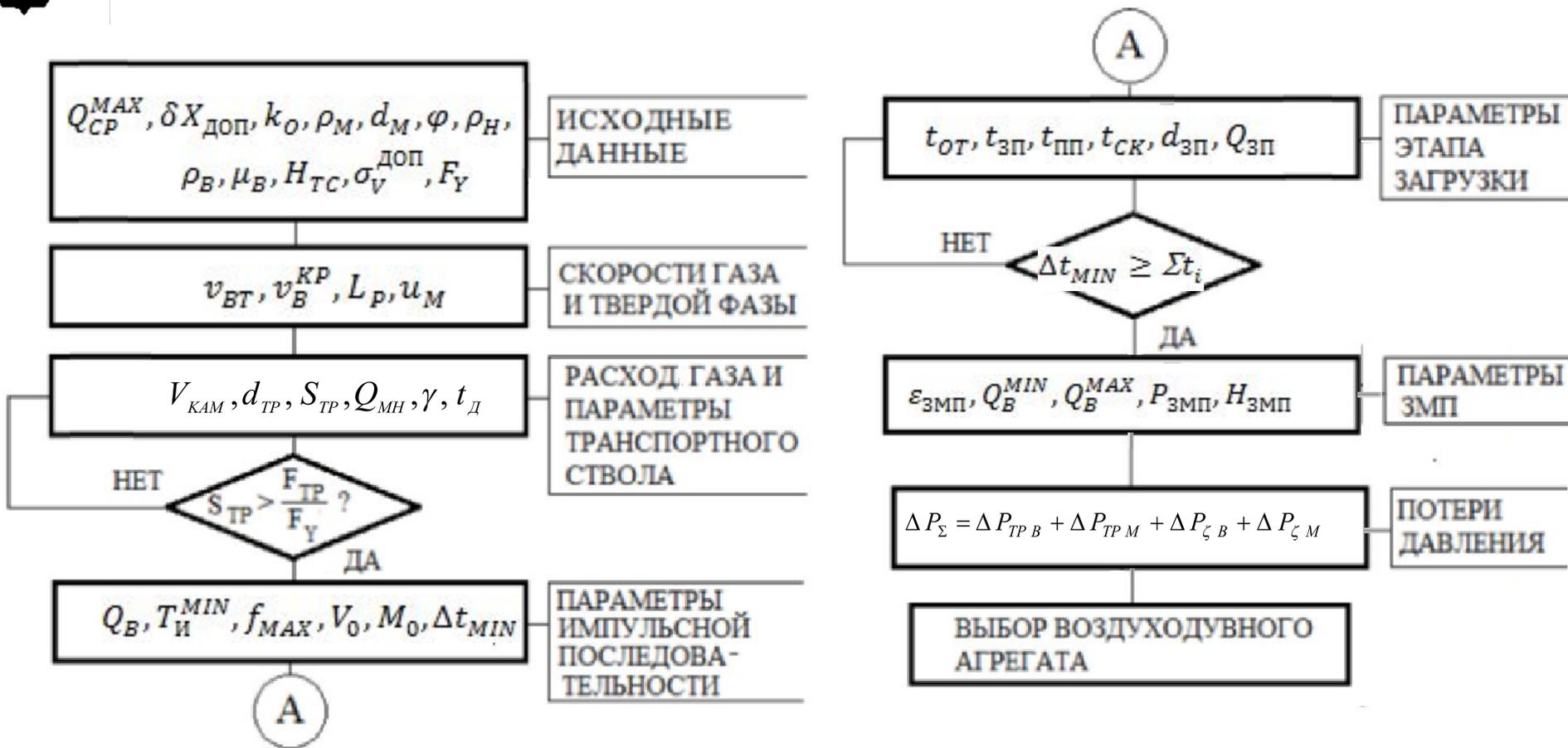
$$Q_{СР} = V_0 \cdot f = \left(\int_0^{t_D} Q_{МН}(t) \cdot dt \right) \cdot f$$

РАСЧЁТ ПЕРЕХОДНОГО ПРОЦЕССА

$$X_{n+1} = H \cdot (X_n + b_n)$$

$$b_n = \varphi(Q_{МН}, t_D)$$

АЛГОРИТМ СИНТЕЗА ЧАСТОТНО-ИМПУЛЬСНОГО ДОЗАТОРА ТИПА ДФС (ВАРИАНТ)





ИСТОЧНИКИ ПОГРЕШНОСТИ ОТМЕРИВАНИЯ И ВЫДАЧИ ЕДИНИЧНОЙ ДОЗЫ

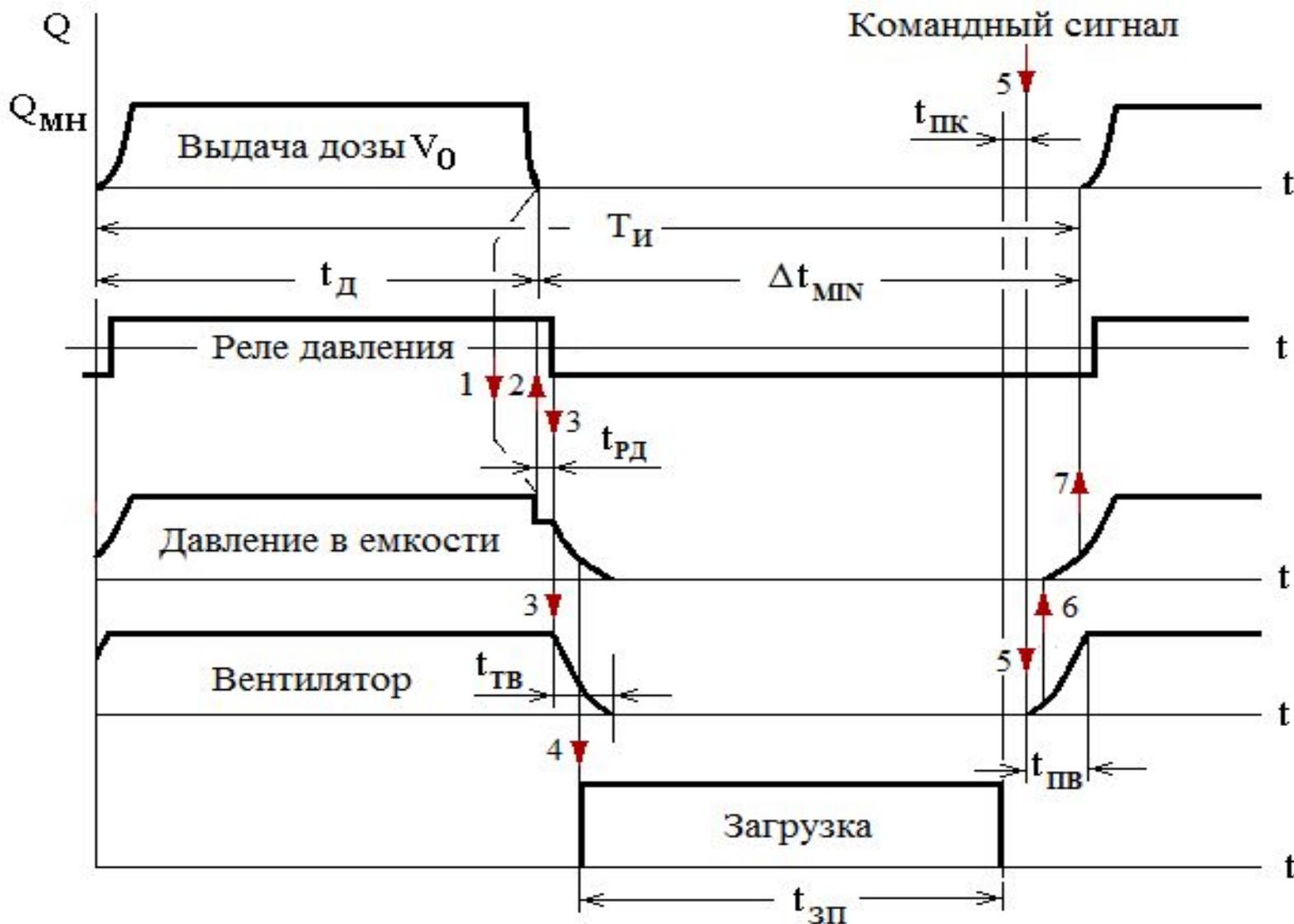
ИСТОЧНИКИ СЛУЧАЙНОЙ ПОГРЕШНОСТИ

- ВАРИАЦИИ ПАРАМЕТРОВ МАТЕРИАЛА (ВЛАЖНОСТЬ, ГРАНУЛОМЕТРИЧЕСКИЙ СОСТАВ, ФОРМА ЧАСТИЦ, ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКИЙ ПОТЕНЦИАЛ И ДР.)
- ВАРИАЦИИ ТЕМПЕРАТУРЫ И ВЛАЖНОСТИ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ И НЕСУЩЕГО ВОЗДУХА
- МЕХАНИЧЕСКИЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ НА МЕРНУЮ ЕМКОСТЬ (ВСТРЯХИВАНИЯ И ВИБРАЦИИ)

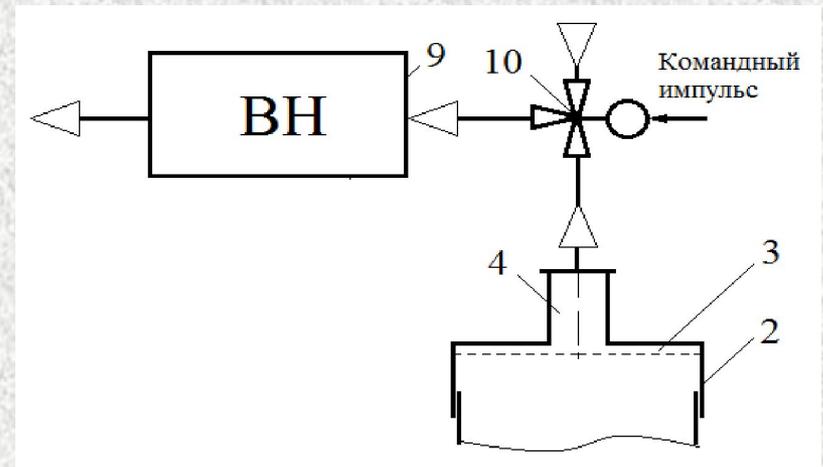
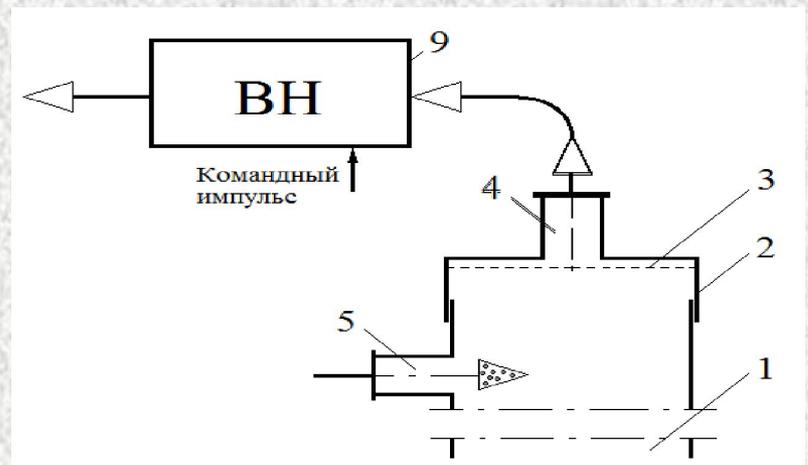
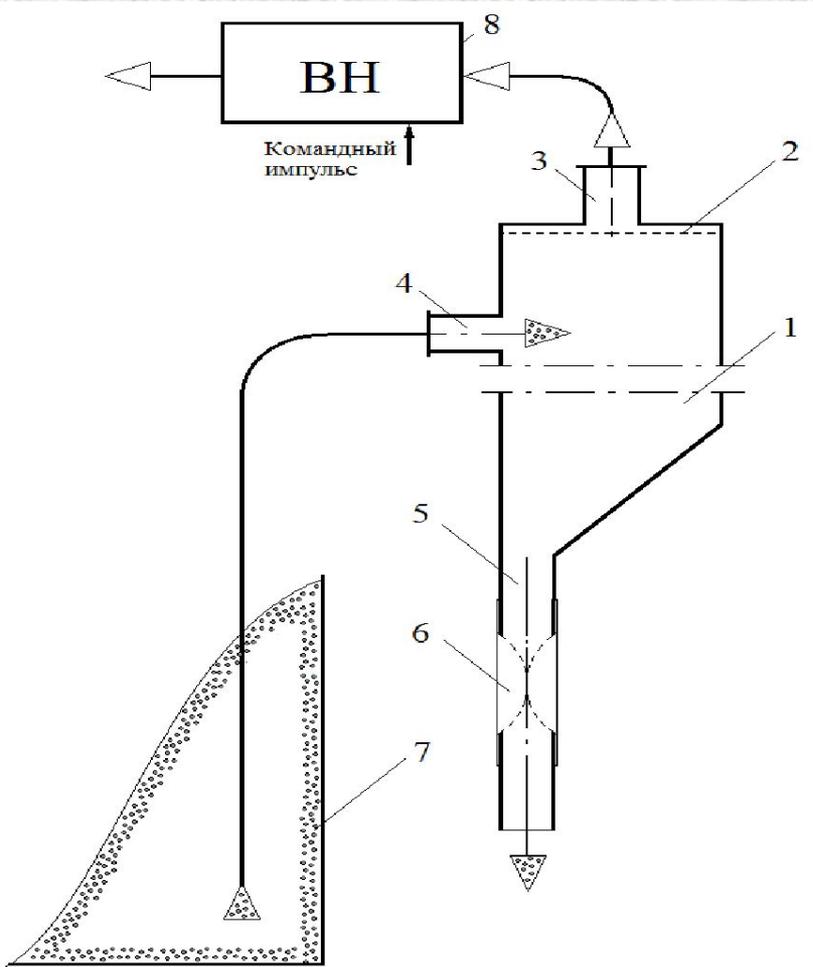
ИСТОЧНИКИ СИСТЕМАТИЧЕСКОЙ ПОГРЕШНОСТИ

- МЕТРОЛОГИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПРИБОРОВ
- МЕТОДИЧЕСКАЯ СОСТАВЛЯЮЩАЯ

РЕАЛЬНАЯ ЦИКЛОГРАММА РАБОТЫ ИМПУЛЬСНОГО ДОЗАТОРА



ДИСКРЕТНЫЙ ВАКУУМНЫЙ ДОЗАТОР СО ШЛАНГОВЫМ КЛАПАНОМ

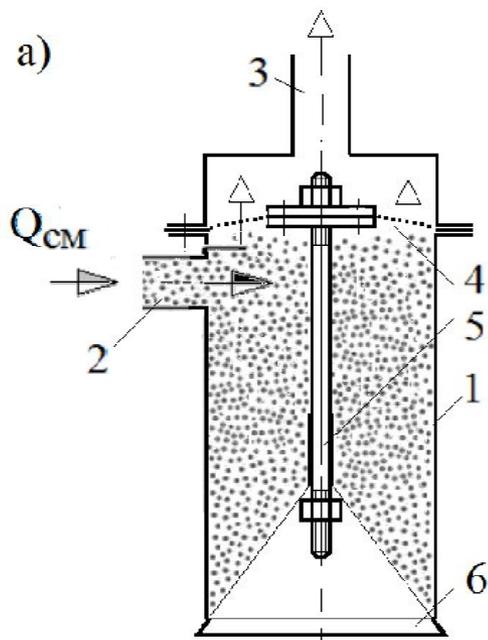


РАСХОД ПРИ ГРАВИТАЦИОННОМ ОПОРОЖНЕНИИ

$$F = K \cdot \Omega \cdot \sqrt{4g \cdot R_T}$$

ВАКУУМНЫЕ ОБЪЁМНЫЕ ДОЗАТОРЫ С КОНИЧЕСКИМ КЛАПАНОМ

ЗАГРУЗКА МЕРНОЙ ЁМКОСТИ



1 - МЕРНАЯ ЁМКОСТЬ

2 - ЗАГРУЗОЧНЫЙ
МАТЕРИАЛОВОД

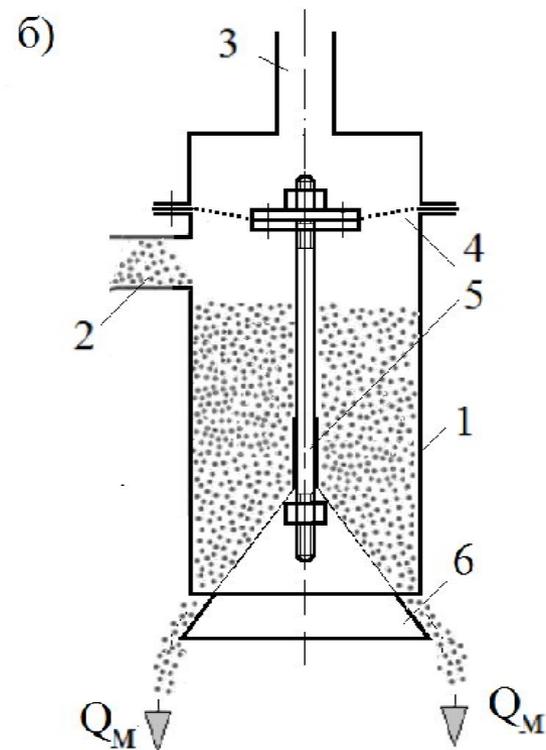
3 - ВОЗДУХОВОД

4 - МЕМБРАННЫЙ ПРИВОД

5 - ШТОК

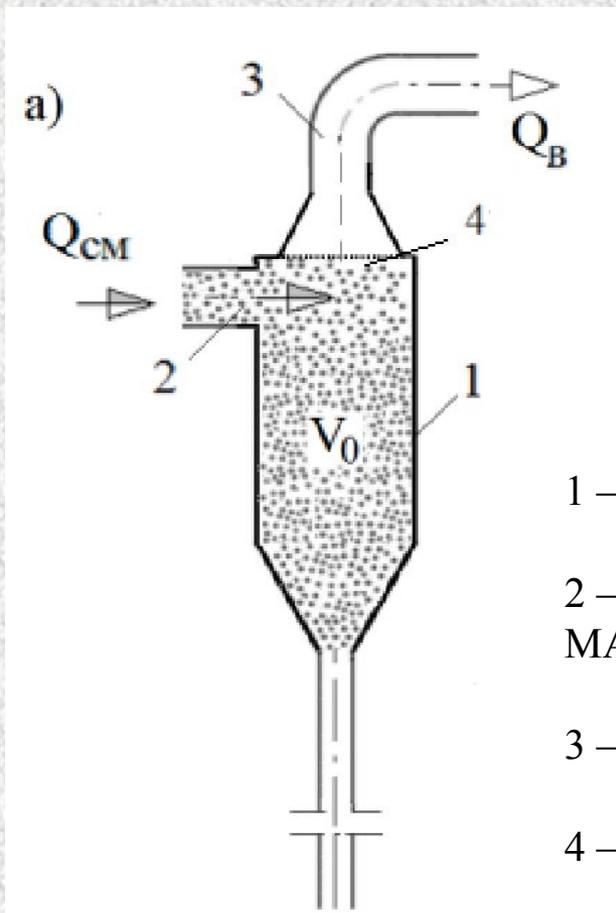
6 - КОНИЧЕСКИЙ
ЗАТВОР

ВЫДАЧА ДОЗЫ

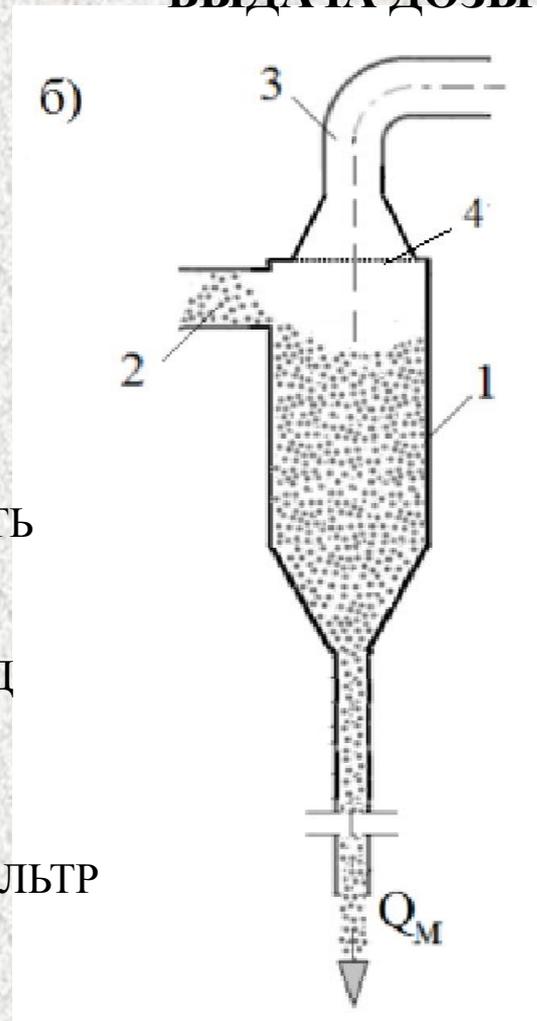


ВАКУУМНЫЕ ОБЪЁМНЫЕ ДОЗАТОРЫ БЕСКЛАПАННЫЙ

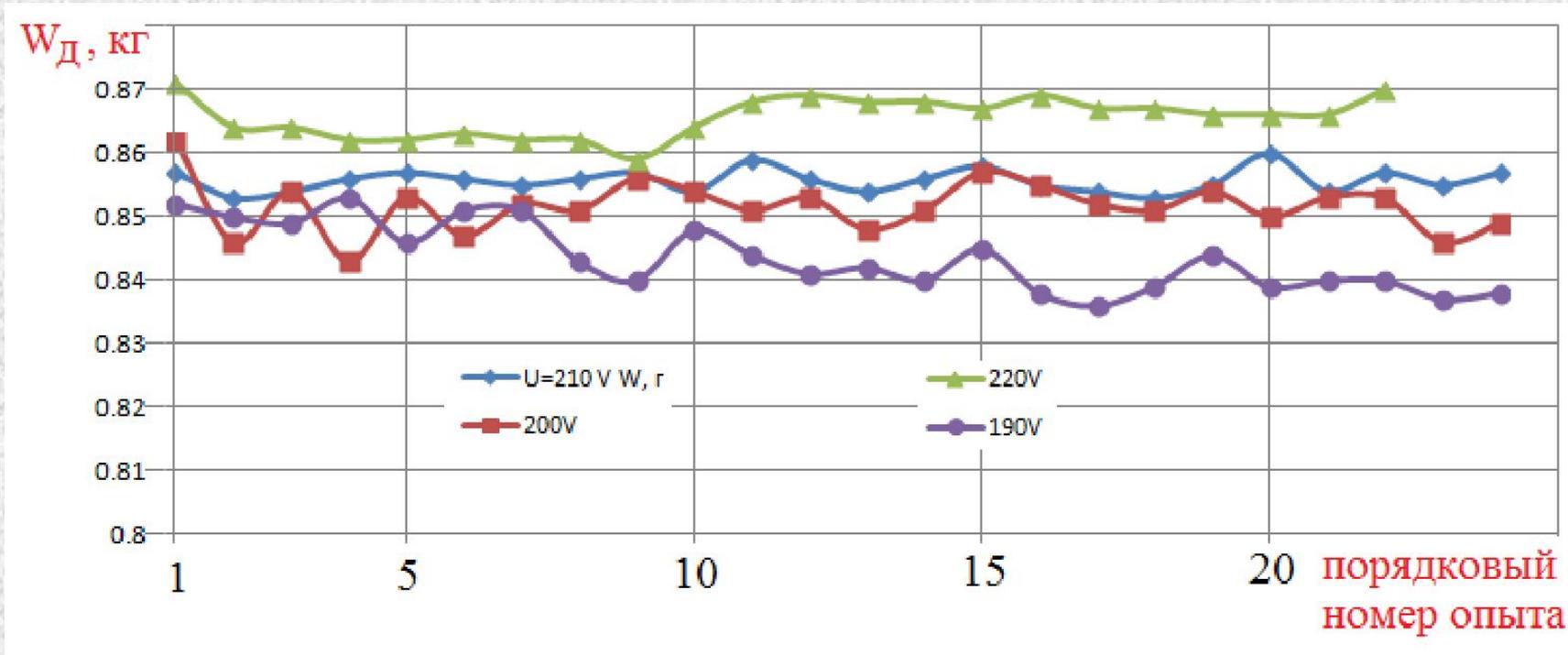
ЗАГРУЗКА МЕРНОЙ ЁМКОСТИ



ВЫДАЧА ДОЗЫ



ОЦЕНКА ПОГРЕШНОСТИ ВАКУУМНЫХ ИМПУЛЬСНЫХ САД ОБЪЁМНОГО ДЕЙСТВИЯ



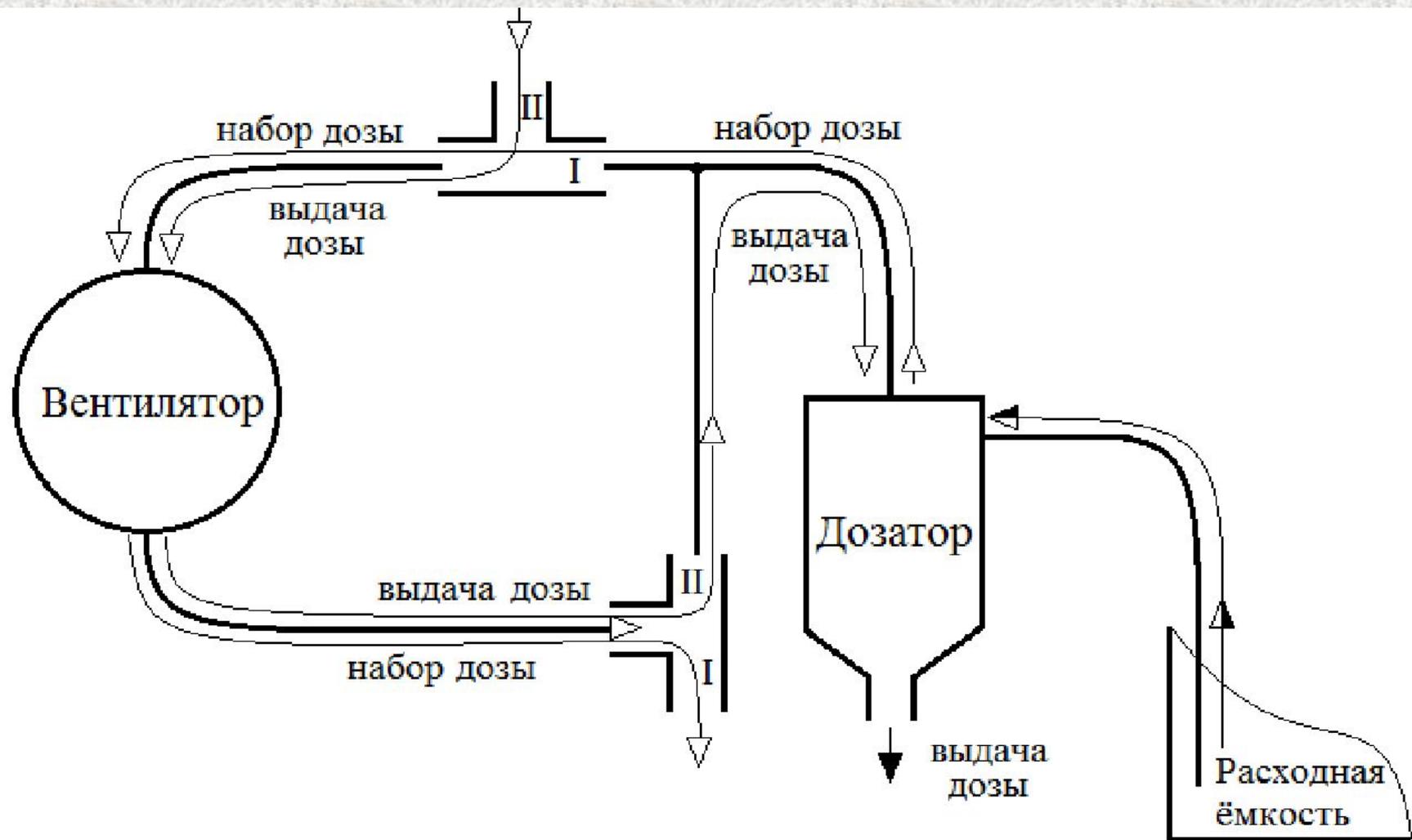
МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПОГРЕШНОСТИ ДОЗИРОВАНИЯ (ГОСТ Р 8 736-2011)

$$X = \bar{X} \pm \Delta, P. \quad \Delta = K \cdot S_{\Sigma} \quad K = \frac{\varepsilon + \theta_{\Sigma}(P)}{S_{\theta} + S_{\bar{X}}} \quad S_{\theta} = \frac{\theta_{\Sigma}}{\sqrt{3}}$$

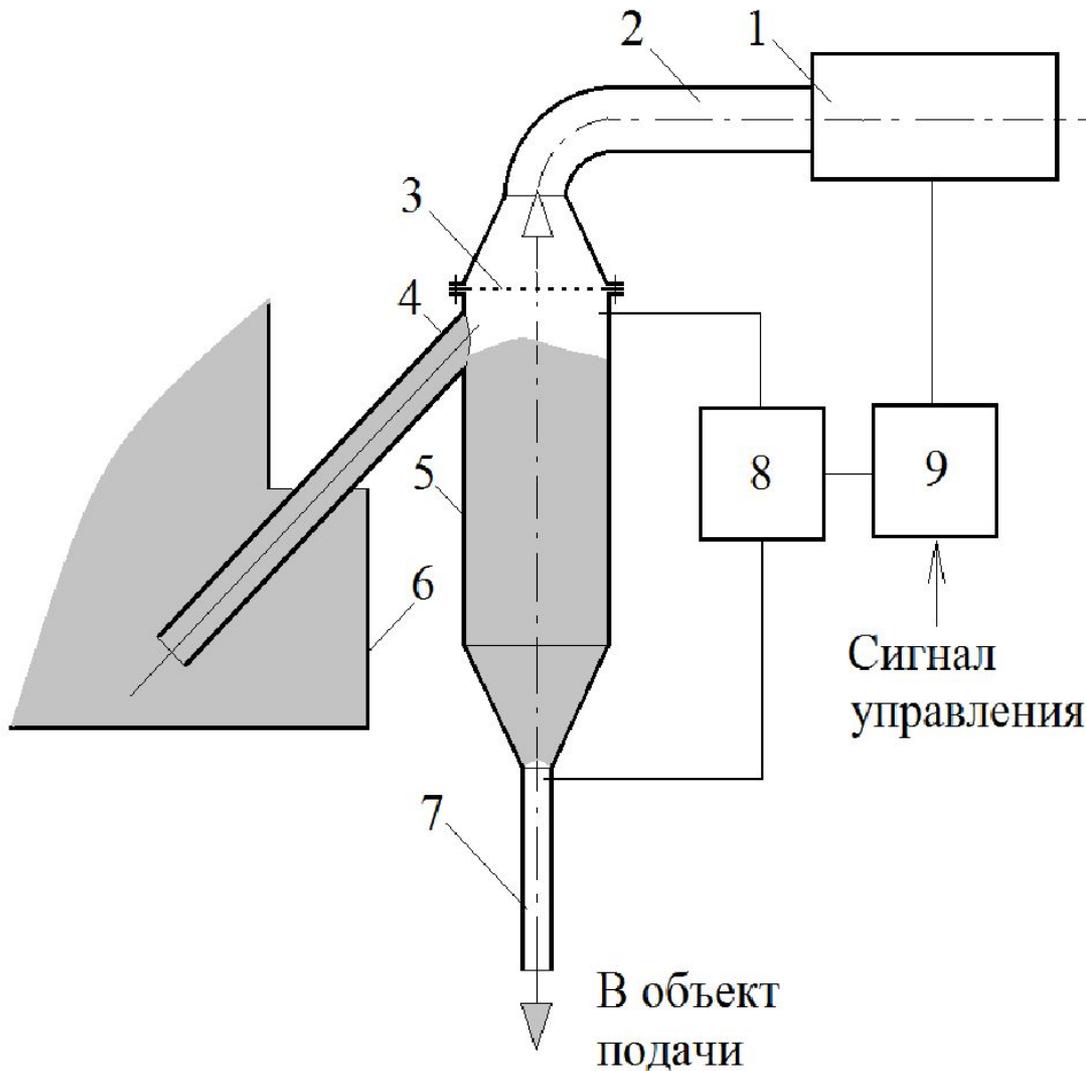
$$S_{\Sigma} = \sqrt{S_{\theta}^2 + S_{\bar{X}}^2}$$

$$0,8\% < \delta = \frac{\Delta}{\bar{W}} < 1,5\%$$

СПОСОБ ПОВЫШЕНИЯ БЫСТРОДЕЙСТВИЯ ВАКУУМНОГО ДОЗАТОРА



ИМПУЛЬСНАЯ СИСТЕМА АВТОМАТИЧЕСКОГО ДОЗИРОВАНИЯ (на базе вакуумного ИУ)



- 1 – ВАКУУМНЫЙ АГРЕГАТ
- 2 – ВОЗДУХОВОД
- 3 – ФИЛЬТР
- 4 – ЗАГРУЗОЧНЫЙ ПАТРУБОК
- 5 – МЕРНАЯ ЁМКОСТЬ
- 6 – РАСХОДНЫЙ БУНКЕР
- 7 – ВЫПУСКНОЙ СТВОЛ
- 8 – РЕЛЕ ДАВЛЕНИЯ
- 9 – ПУСКОВОЕ УСТРОЙСТВО

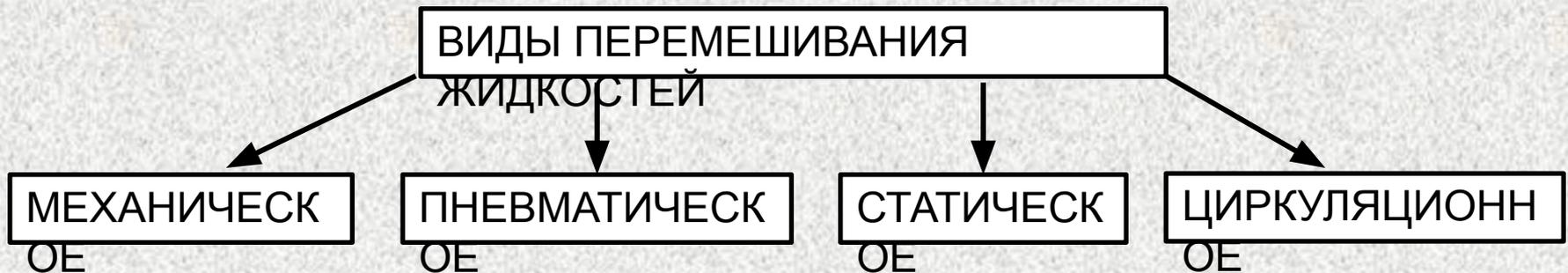
МЕХАНИЗАЦИЯ ОСНОВНЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

ПЕРЕМЕШИВАНИЕ ВЕЩЕСТВ

НАЗНАЧЕНИЕ:

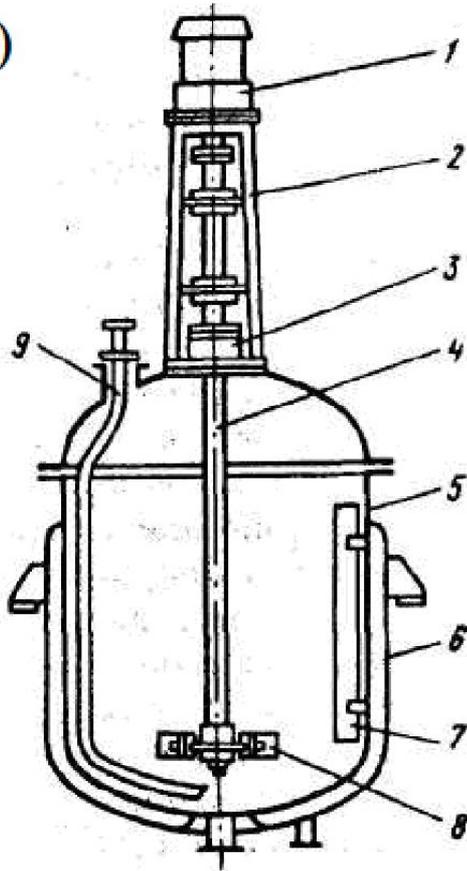
- РАВНОМЕРНОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ КОМПОНЕНТОВ И ТЕПЛОТЫ ПО ОБЪЁМУ АППАРАТА
- ИНТЕНСИФИКАЦИЯ ТЕПЛОПЕРЕНОСА, МАССОПЕРЕНОСА И ХИМИЧЕСКОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ

ПЕРЕМЕШИВАНИЕ ЖИДКОСТЕЙ

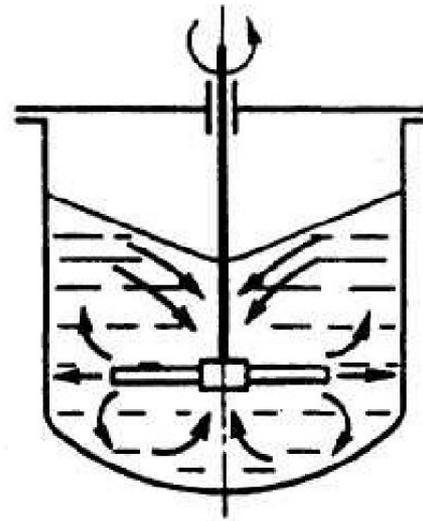


АППАРАТ С ЛОПАСТНОЙ МЕШАЛКОЙ

а)



б)



- 1 – ПРИВОД
- 2 – РАМА
- 3 – УПЛОТНЕНИЕ
- 4 – ВАЛ
- 5 – КОРПУС
- 6 – РУБАШКА
- 7 – ПЕРЕГОРОДКА
- 8 – ЛОПАСТЬ
- 9 – ВВОДНАЯ ТРУБА

ВИДЫ МЕХАНИЧЕСКИХ МЕШАЛОК ДЛЯ ЖИДКОСТЕЙ (с угловым приводом)



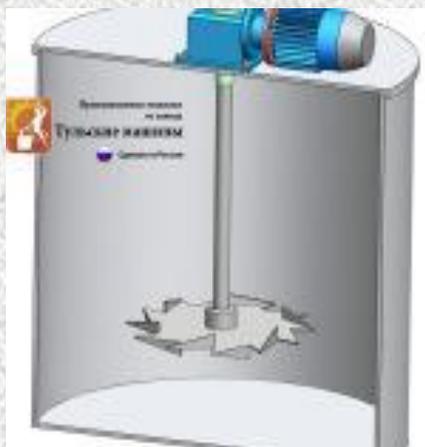
ТУРБИННАЯ



ЛОПАСТНАЯ



РАМНАЯ



ФРЕЗЕРНАЯ



ПРОПЕЛЛЕРНАЯ



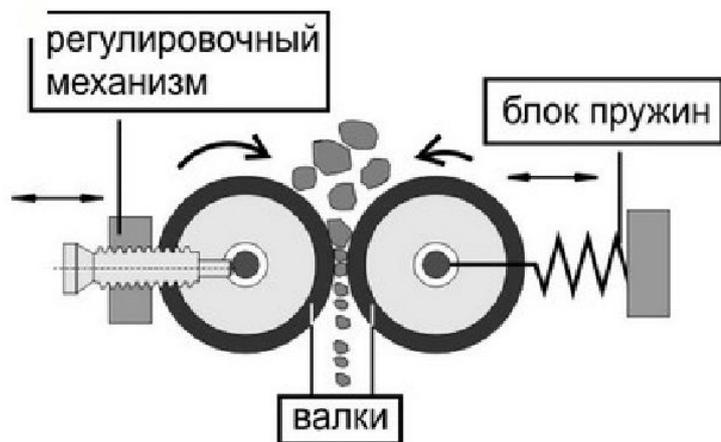
СКЛАДНАЯ

ПЕРЕМЕШИВАНИЕ СЫПУЧИХ

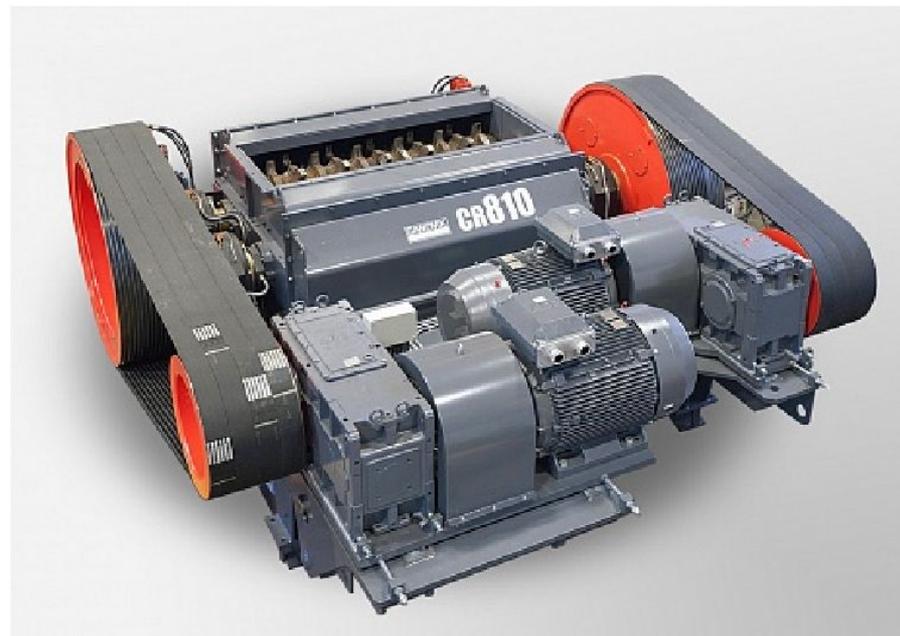
МЕХАНИЧЕСКОЕ ПНЕВМАТИЧЕСКОЕ ВИБРАЦИОННОЕ

ВАЛКОВАЯ ДРОБИЛКА

а)



б)



Принципиальная схема

Внешний вид

ЩЕКОВАЯ ДРОБИЛКА

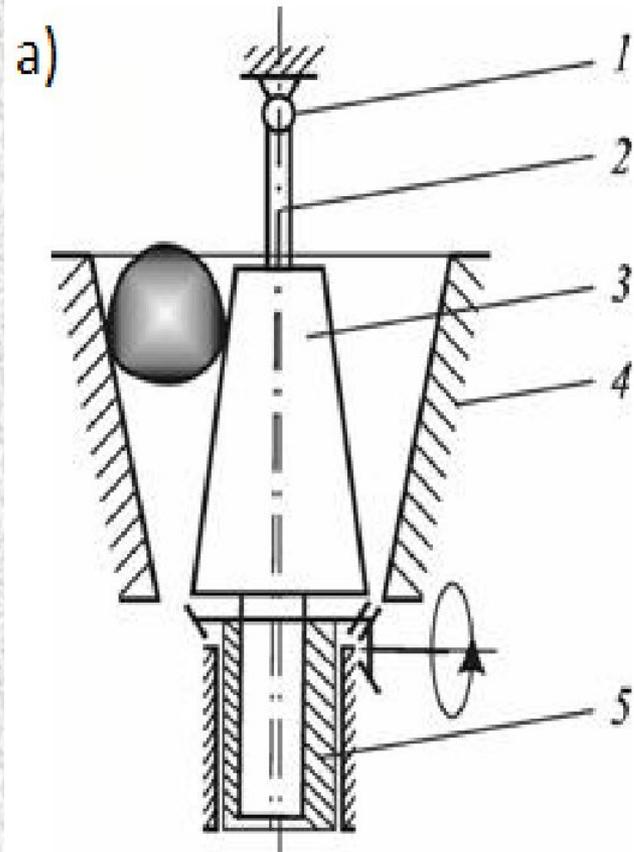
а)



б)



КОНУСНАЯ ДРОБИЛКА



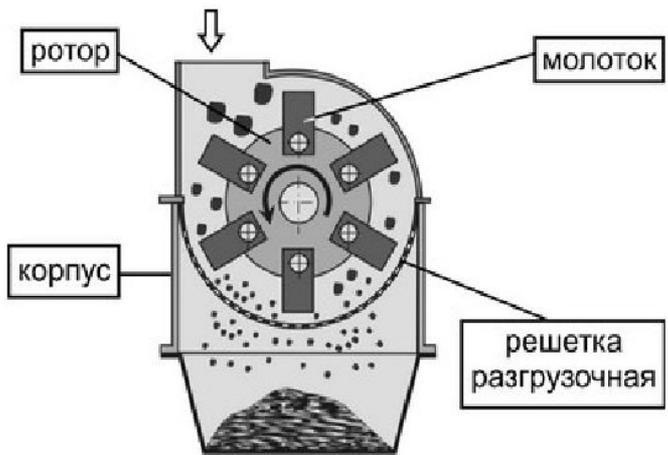
б)



МОЛОТКОВАЯ ДРОБИЛКА



а)



б)

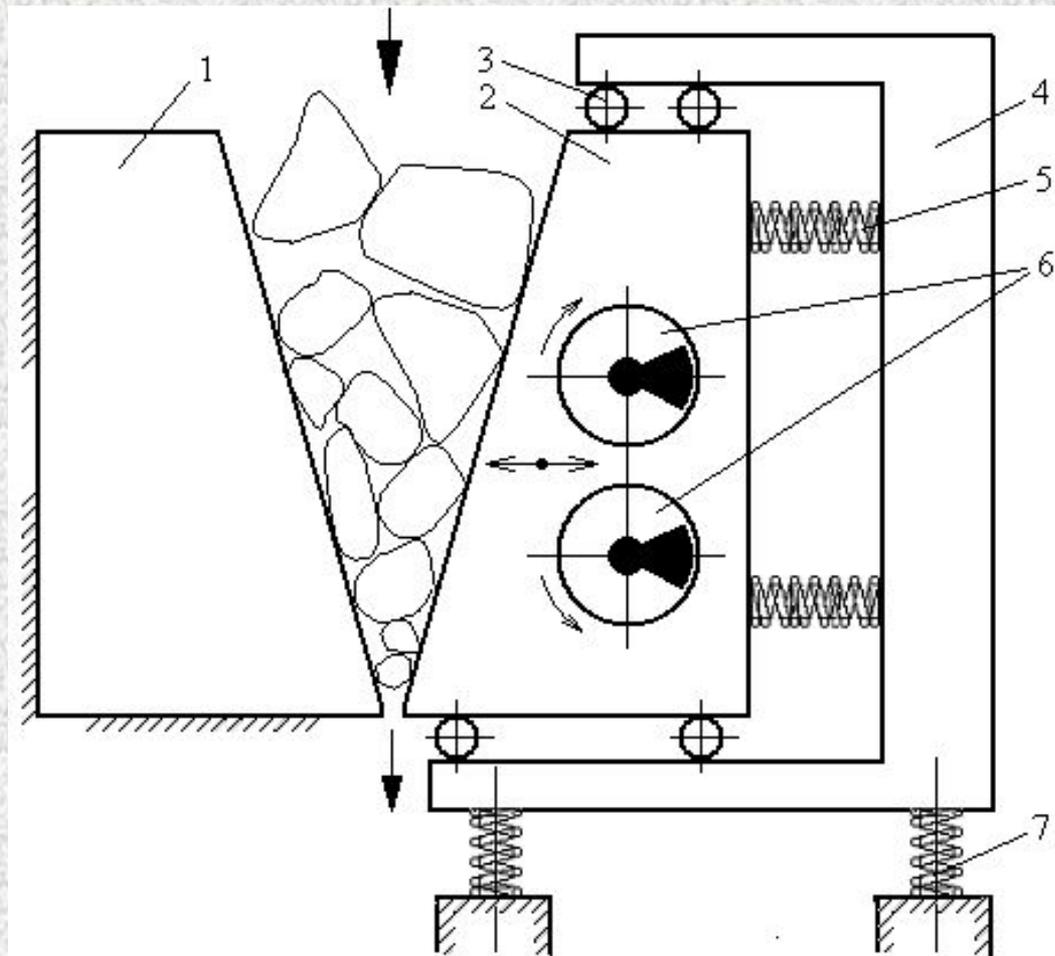


Принципиальная
схема

Внешний вид



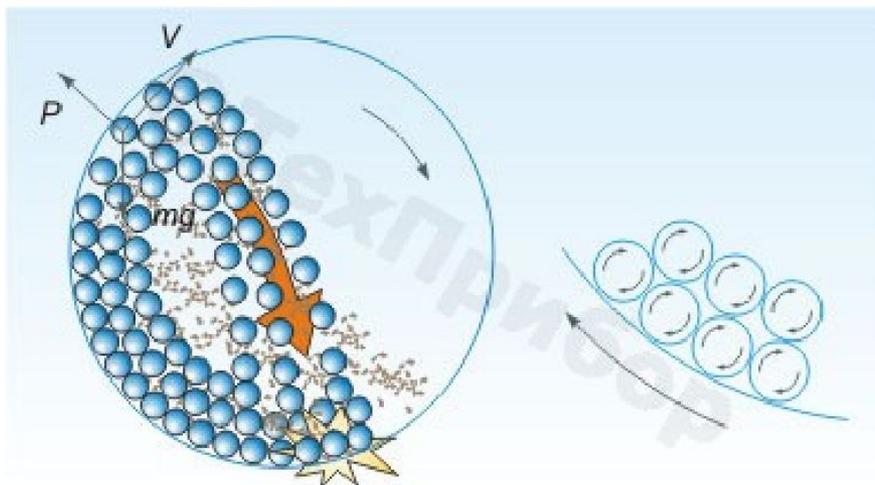
ВИБРАЦИОННАЯ ДВУЩЕКОВАЯ ДРОБИЛКА



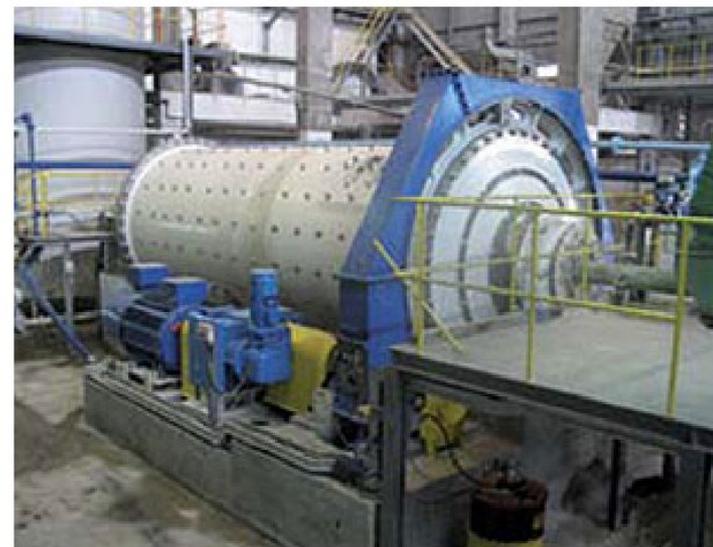
- 1 – неподвижная щека;
- 2 – подвижная щека;
- 3 – катки;
- 4 – корпус;
- 5 – пружина;
- 6 – дебалансный вибропривод;
- 7 – упругая опора.

ШАРОВАЯ МЕЛЬНИЦА

а)

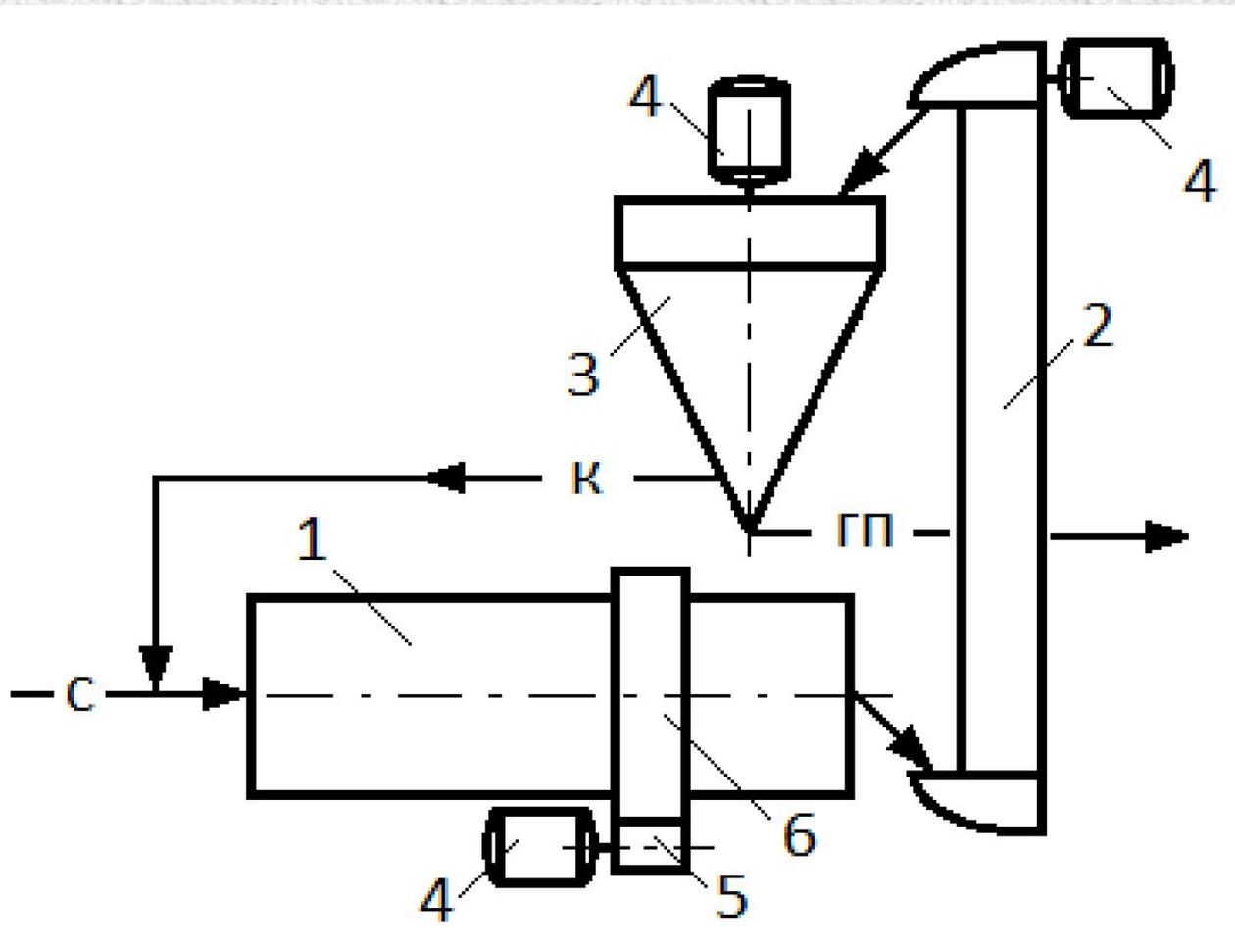


б)



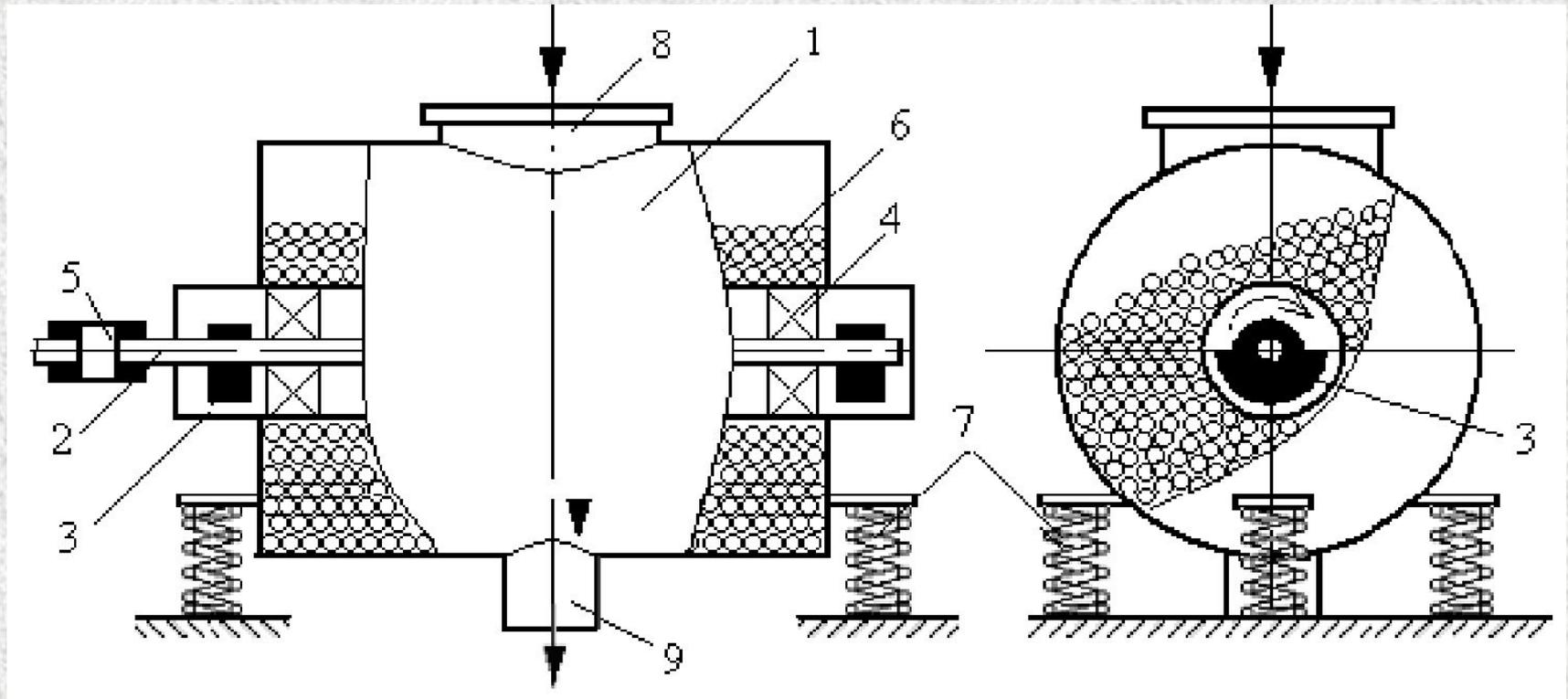
а) схема движения шаров; б) внешний вид

СХЕМА ПОМОЛА С РЕЦИКЛОМ



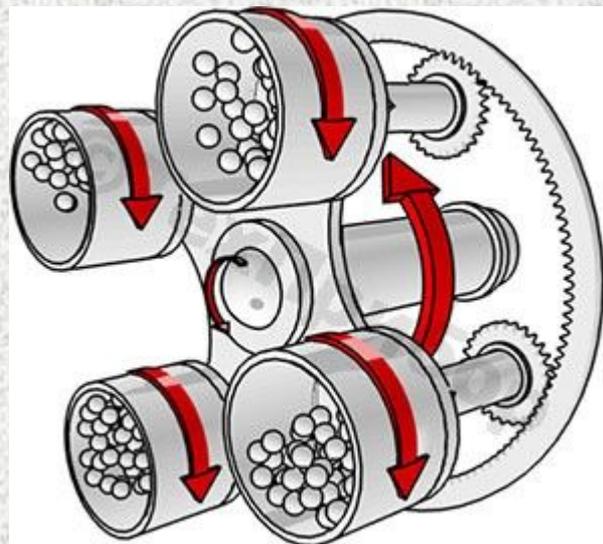
- 1 – шаровая мельница;
- 2 – элеватор;
- 3 – сепаратор;
- 4 – электроприводы;
- 5 – подвенечная шестерня;
- 6 – венцовая шестерня.

ВИБРАЦИОННАЯ МЕЛЬНИЦА С ВНУТРЕННИМ ДЕБАЛАНСНЫМ ВИБРОПРИВОДОМ



1 – короб; 2 – вал вибропривода; 3 – неуравновешенный груз; 4 – подшипник;
5 – гибкая муфта; 6 – мелющие тела (шары); 7 – упругие опоры;
8 – загрузочный люк; 9 – разгрузочный люк.

ПЛАНЕТАРНАЯ МЕЛЬНИЦА



В ПРИМЕРЕ:

Крупность исходного сырья, мм — до 5

Производительность, т/час

- менее 75 мкм — до 2,0

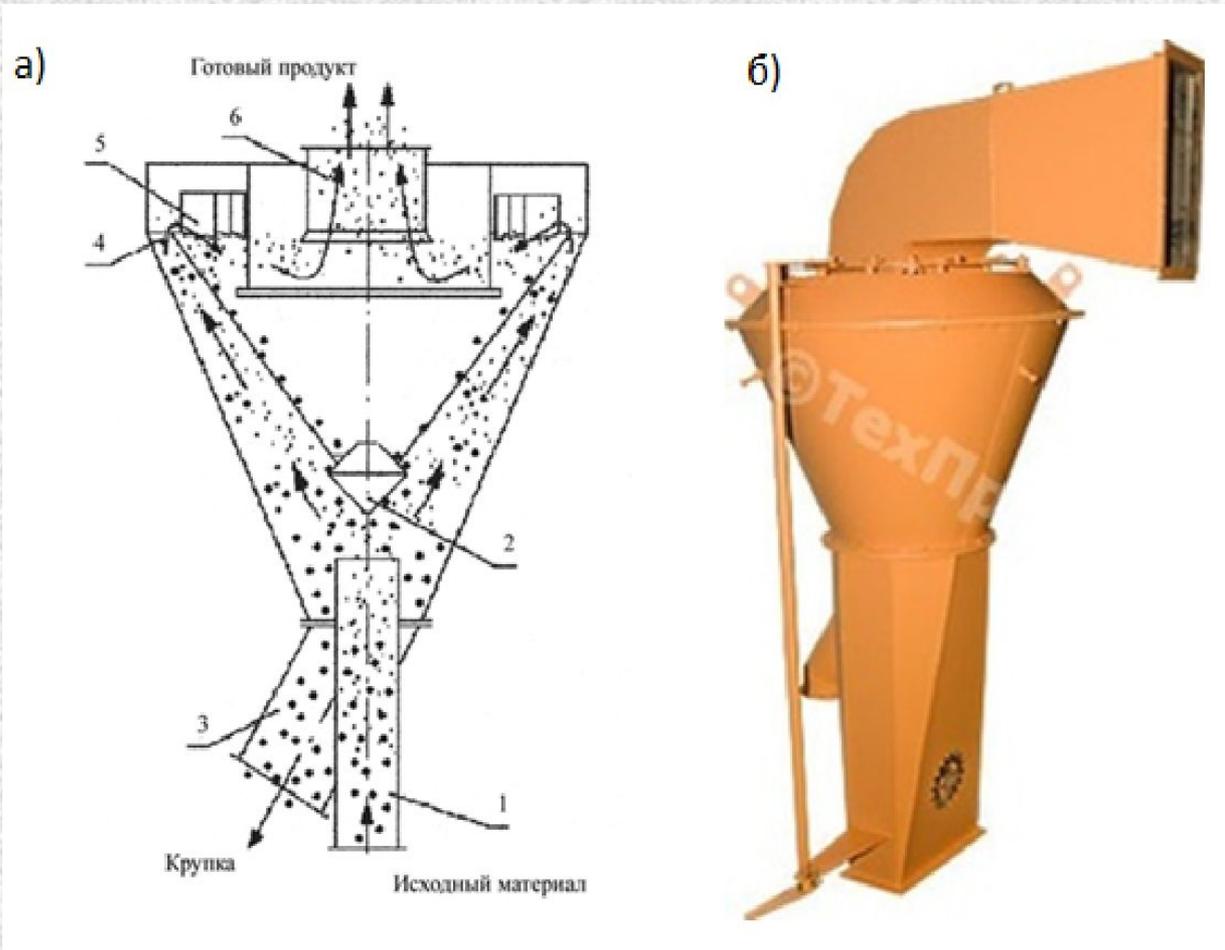
- менее 10 мкм — до 0,7

УСКОРЕНИЕ:

Лабораторные до 60 г

Промышленные до 20 г

АЭРОДИНАМИЧЕСКОЕ РАЗДЕЛЕНИЕ СУХИХ СЫПУЧИХ МАТЕРИАЛОВ ПО КРУПНОСТИ

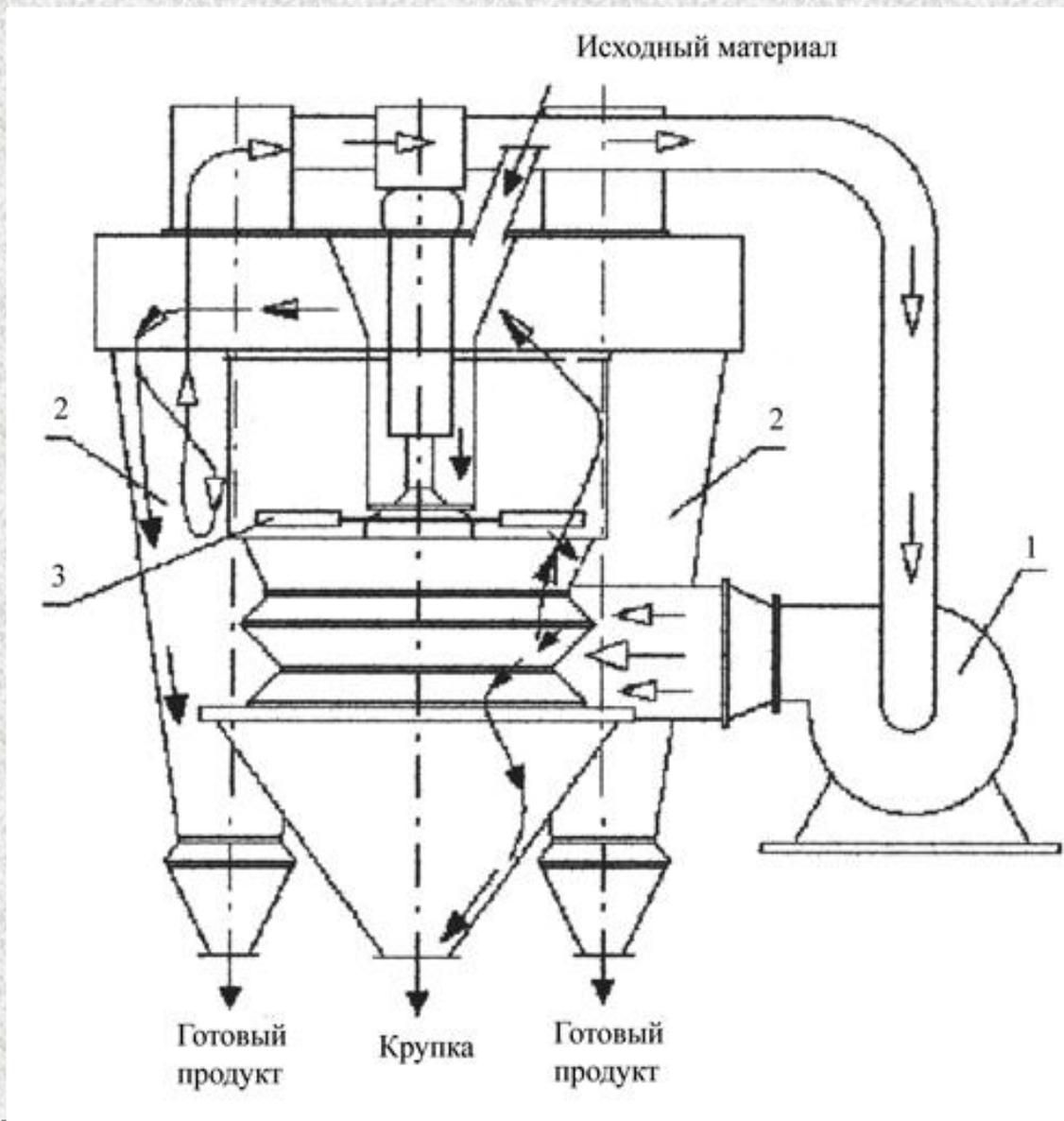


- 1 – патрубок подачи Исходного материала в потоке воздуха;
- 2 – распределительный (отбойный) конус;
- 3 – течка крупки;
- 4 – проходная щель;
- 5 – лопатки;
- 6 – внутренний полый конус.

Принципиальная
схема

Внешний
вид

СЕПАРАТОР С ВЫНОСНЫМ ВЕНТИЛЯТОРОМ



- 1 - вентилятор;
- 2 - циклон;
- 3 - крыльчатка



РАЗДЕЛЕНИЕ СМЕСЕЙ

ПЛОСКИЙ ГРОХОТ

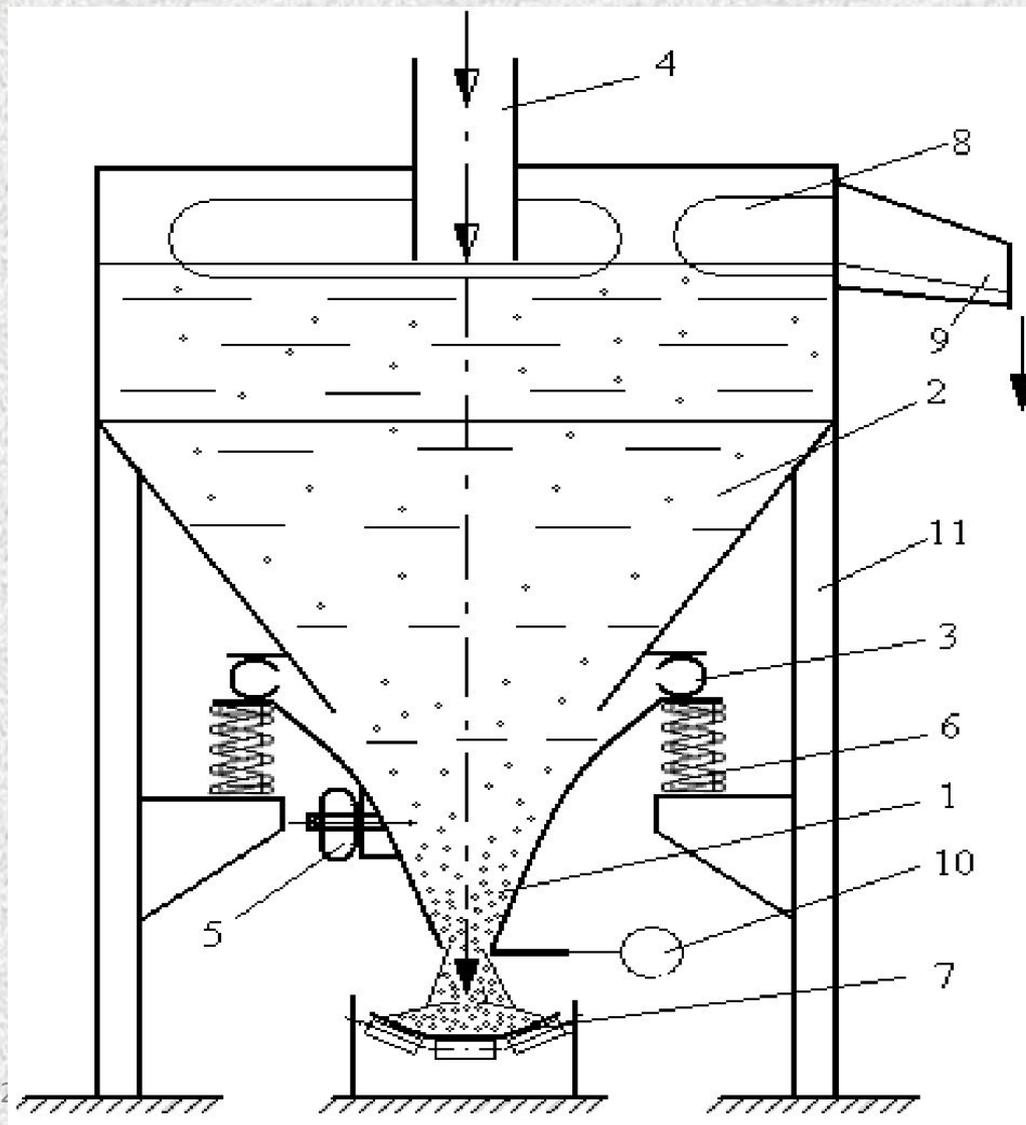


ВРАЩАЮЩИЙСЯ ГРОХОТ



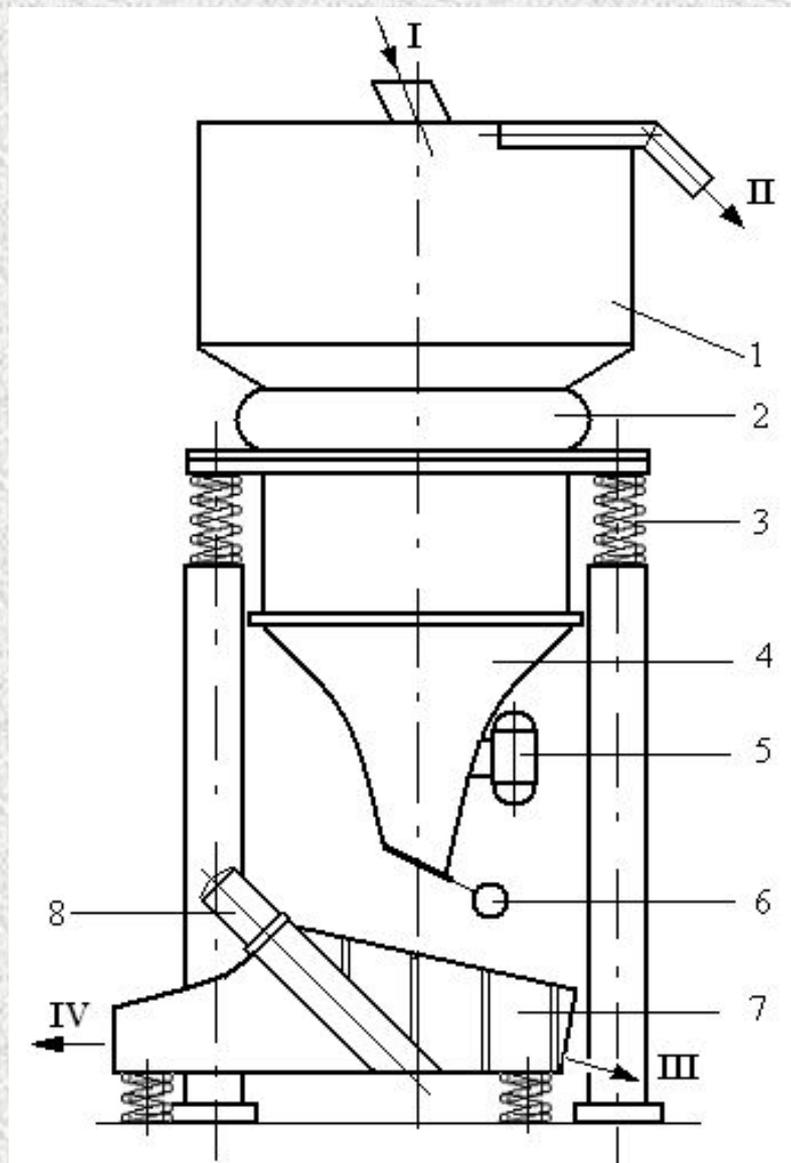
РАЗДЕЛЕНИЕ ТВЕРДОГО И ЖИДКОСТИ

ГИДРОКЛАССИФИКАТОР



- 1 – профилированная виброворонка;
- 2 – статический отстойник;
- 3 – эластичная манжета,
- 4 – пульпопровод;
- 5 – вибропривод;
- 6 – упругая опора;
- 7 – транспортёр;
- 8 – окно;
- 9 – слив;
- 10 – заслонка с приводом

КОМПЛЕКС ДЛЯ ОБЕЗВОЖИВАНИЯ ФОСФОРИТНОГО КОНЦЕНТРАТА

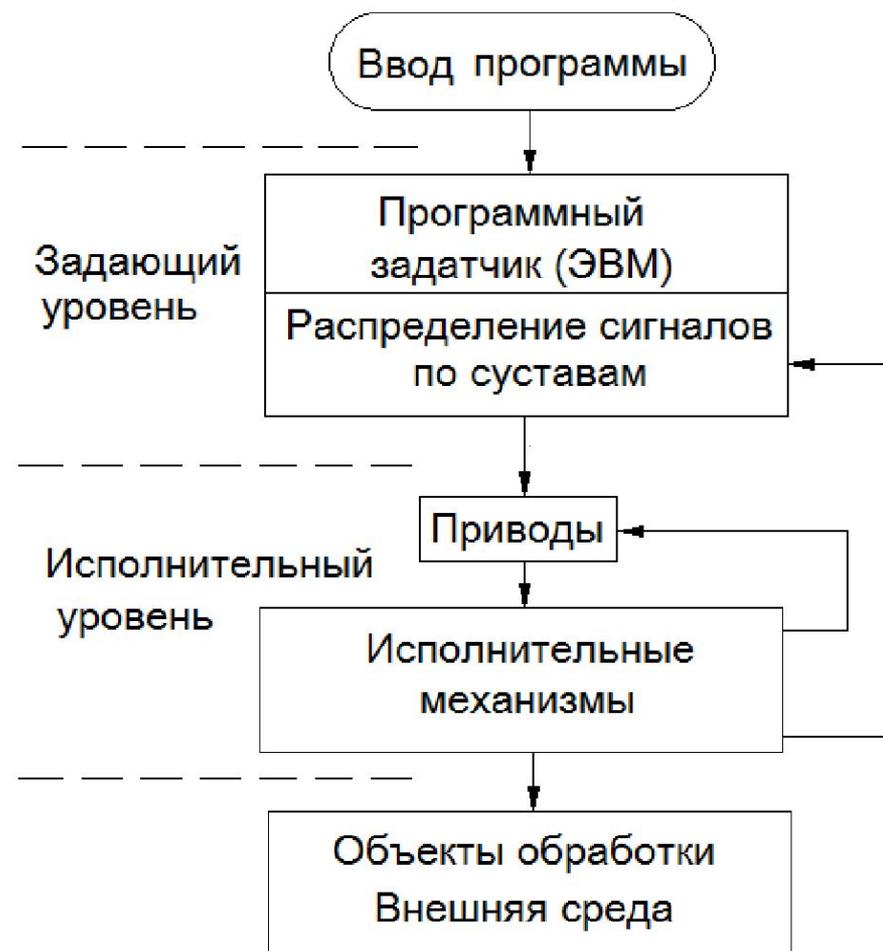


1 – отстойник; 2 – эластичная манжета; 3 – упругая опора; 4 – виброворонка; 5 – вибропривод; 6 – шибер; 7 – грохот; 8 – вибропривод грохота.

I – исходная смесь; II – осветленная вода;
III, IV – концентрат

РОБОТОТЕХНИЧЕСКИЕ КОМПЛЕКСЫ

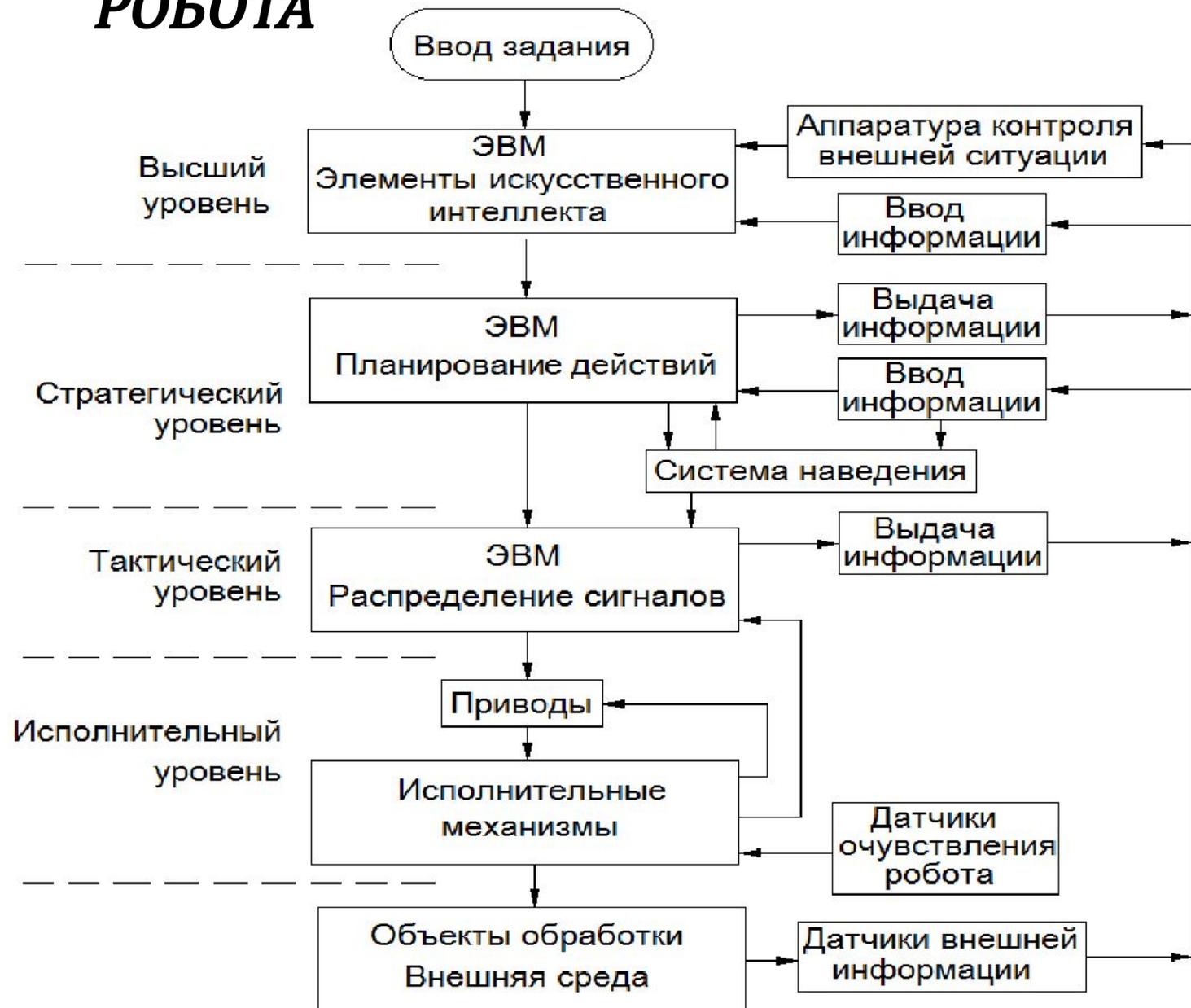
Структура программного робота



СТРУКТУРА АДАПТИВНОГО РОБОТА



СТРУКТУРА ИНТЕЛЛЕКТНОГО РОБОТА





По каналу «давление на поршне – расход рабочей жидкости»

Уравнение Бернулли

$$L \frac{dF}{dt} + \frac{F^2}{2 \cdot \alpha^2 S_{TP}^2 \cdot d_{TP} \cdot \rho} = P_P \cdot S_{TP} \quad (1)$$

На линейном участке статической характеристики

$$k \cdot L \cdot \frac{dF}{dt} + F = k \cdot S_{TP} \cdot P_P \quad (2)$$

Передаточная функция

$$W(p) = \frac{K}{T \cdot p + 1} \quad (3)$$