

## Тема 3 (Частина 1)

### Основные устройства укладочных автоматов

#### 1. Компоновка укладочных автоматов.

Укладочные автоматы состоят из следующих основных устройств: ориентирующе-питающего — для изделий, для подачи незаполненных коробок, укладочного, транспортирующего — для заполненных изделиями коробок. В некоторых конструкциях автоматов имеются вспомогательные устройства: магазины незаполненных коробок, для подачи бумаги из рулона, отрезания бумаги и выстилания ею коробки; для закрывания заполненных коробок крышками; взвешивающие; для простановки даты выпуска продукции.

Можно различать следующие основные компоновочные схемы укладочных автоматов: линейную, комбинированную (Г-образную, П-образную, Z-образную и др.) и карусельную.

#### 2. Устройства для накопления и подачи коробок

В зависимости от метода изготовления и места изготовления коробок могут быть применены следующие способы подачи коробок в укладочный автомат под заполнение продуктом:

1. Изготовление коробок из рулона картона на специальной машине, входящей в одну линию с укладочным автоматом, и подача их транспортером в укладочный автомат, причем коробка подается без крышки (крышка может изготавливаться из вырубленных заготовок на заполненной достаточно прочным продуктом коробке).

2. Готовые коробки вручную по одной подаются на транспортер укладочного автомата, причем после заполнения коробок изделиями надеваются крышки.

3. Изготовление коробки на специальном оборудовании, не входящем в одну линию с укладочным автоматом, причем коробки вручную укладываются в магазинное устройство укладочного автомата, которое периодически выдает одну коробку на транспортер подачи коробок под загрузку (если коробка поступает вместе с крышкой, то в этом случае должны быть устройства для снятия крышки и надевания ее после заполнения коробки продуктом).

Первый способ изготовления и подачи коробок осуществлен в линии прессования, сушки и упаковки кускового сахара. Второй способ применен в линейном укладочном автомате для кондитерских изделий и в механизированной линии для укладки конфет в коробки.

Схема устройства для подачи коробок из магазина показана на рис. 1. Стопа коробок уложена в магазин 9 и удерживается скобами 8. Одна коробка от стопы отделяется так: на валу 1 закреплен кулак 2, который сообщает качательное движение ры-

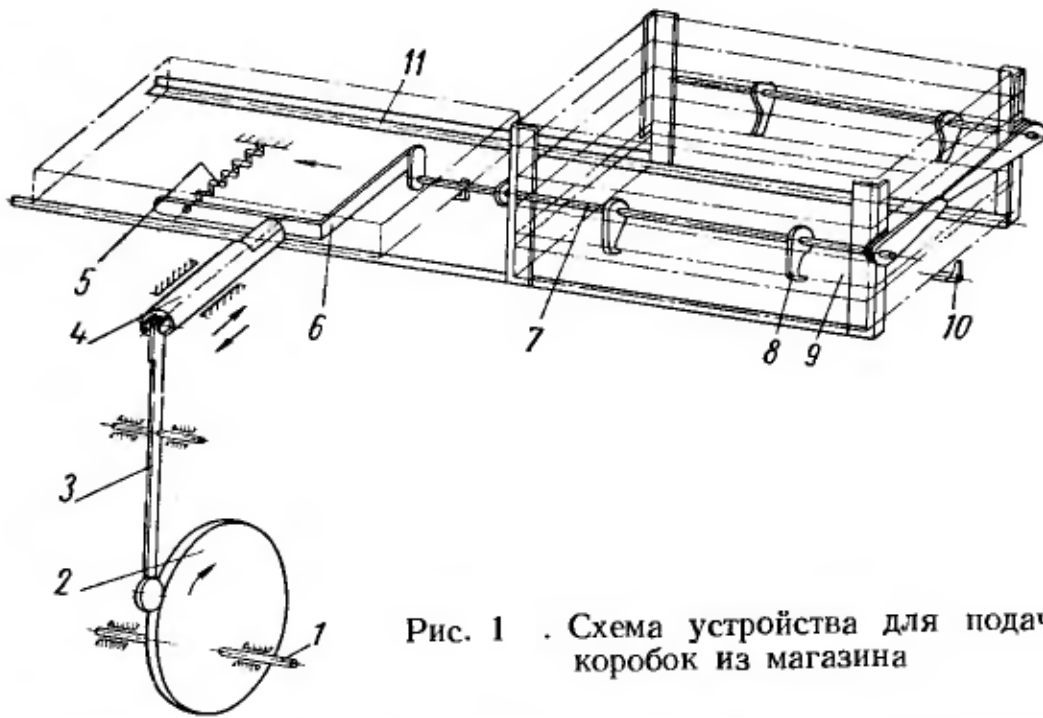


Рис. 1 . Схема устройства для подачи коробок из магазина

чагу 3. Последний сообщает возвратно-поступательное движение рамке 6 с помощью толкателя 4. При перемещении рамки к оси транспортера валик 7 получает качательное движение. При этом скобы 8 расходятся. Нижняя коробка освобождается и попадает на направляющие 11. Далее при перемещении цепного транспортера захват 10 ведет коробку к месту заполнения продуктом. При перемещении рамки 6 в исходное положение с помощью пружины 5 скобы 8 сходятся к оси транспортера, и стопа коробок, оставшихся в магазине, удерживается в магазине скобами 8.

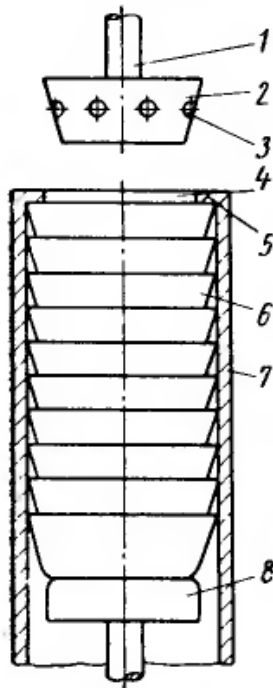


Рис. 2. Схема устройства для подачи розеток

Коробки с уложенными изделиями могут отводиться транспортером или собираться в стопки с помощью специального устройства, которое имеет шахту, столик подъема коробок и пружинные скобы для удержания стопы коробок.

Часто конфеты укладываются в коробки с бумажными розетками. Одно из устройств для подачи розеток в коробки показано на рис. 2. Розетки 6 находятся в магазине 7 одна в другой. Магазин в своей верхней части снабжен удерживающим бортиком 5. Розетки извлекаются через отверстие 4. Розетки внизу поддерживаются толкателем 8, который поднимается по мере уменьшения запаса розеток.

Вакуумный захват 2 вводится внутрь верхней розетки и через трубку 1 и отверстия 3 создается вакуум. При этом стенки розетки притягиваются к захвату и ее можно извлекать из магазина. Следующая розетка, не испытывающая действия вакуумного захвата, удерживается бортиком 5.

### 3. Укладываемые устройства

Укладываемым устройством называется комплекс механизмов и приспособлений для захвата набора изделий, организованно поступающих для укладки по транспортеру, удержания, перемещения и укладки их в коробки, причем изделия не должны повреждаться. Изделия пищевой промышленности могут захватываться механическими, вакуумными и комбинированными устройствами (пневмомеханическими, гидромеханическими, электромеханическими и т. п.).

Укладываемые устройства, применяемые для захвата штучных изделий пищевой промышленности, бывают с постоянным или переменным расстояниями между захватами отдельных изделий. Первые применяются для укладки в коробки набора изделий, имеющих строгие геометрические размеры и ровную поверхность. Такие изделия, например куски спрессованного под давлени-

ем в формах сахара, несложно сгруппировать в один плотный набор, а затем захватить такой набор и уложить в коробку. При сдвигании кусков сахара в один набор всегда можно обеспечить одинаковые расстояния между отдельными кусками сахара. Как уже отмечалось, это и осуществляется укладочным автоматом для кускового сахара.

Несколько другие условия создаются, когда требуется уложить в коробку набор конфет или уложить в лотки с ячейками набор яиц. Предварительное группирование этих изделий в один набор не обеспечивает постоянства расстояний между отдельными изделиями из-за непостоянства геометрических размеров и неровности поверхностей. В этих случаях применяются укладываемые устройства с переменными расстояниями между захватами. Схема одного из таких устройств показана на рис. 3.

На валу 1 насажен эксцентрик 2, сообщающий возвратно-поступательное движение рейке 3. Зубчатое колесо 4, находящееся в зацеплении с рейкой, сообщает валу 5 качательное движение. На валу 5 жестко закреплены рычаги 6, с которыми соединена труба 7, несущая захватывающую головку 8. В трубе 7 проходят штанги 9, на концах которых шарнирно закреплены рычаги 10, оканчивающиеся роликами 11. Ролики входят в пазы неподвижных копиров 12. Захватная головка состоит из пустотелых кронштейнов 13, соединенных между собой шарнирными планками 14. Полости кронштейнов 13 соединены между собой гофрированными трубками 15. При качании вала 5 вместе с ним качаются рычаги 6, труба 7 и штанги 9. При этом ролики 11 скользят по пазам копиров 12 и штангам 9 сообщается осевое перемещение. Через пальцы 16 осевое перемещение получают два кронштейна, а через шарнирные планки все остальные кронштейны с закрепленными на них вакуумными захватами. Разрежение к захватам подводится от вакуум-насоса через золотник 17 и трубку 18.

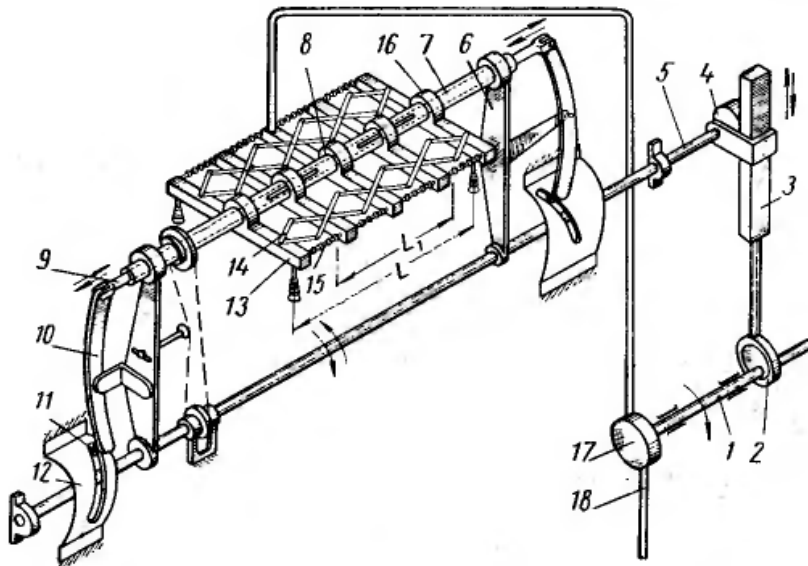


Рис. 3 Схема укладочного устройства с переменными расстояниями между захватами

Если внутренний размер коробки обозначить  $V$ , размер изделия  $b$ , расстояние между крайними захватами до сближения  $L$ , после него  $L_1$ , то сближение захватов  $L-L_1$  должно быть таким, чтобы удовлетворялось условие

$$V = L_1 + b + 2\Delta B,$$

где  $\Delta B$  — просвет между изделием и вертикальной стенкой коробки, необходимый для свободной укладки изделий, обычно принимаемый равным около 2—3 мм.

#### 4. Рабочие органы укладываемых устройств

Для укладки в коробки и лотки пищевых продуктов и изделий в практике применяются укладочные автоматы с механическими и вакуумными рабочими органами. Механические рабочие органы

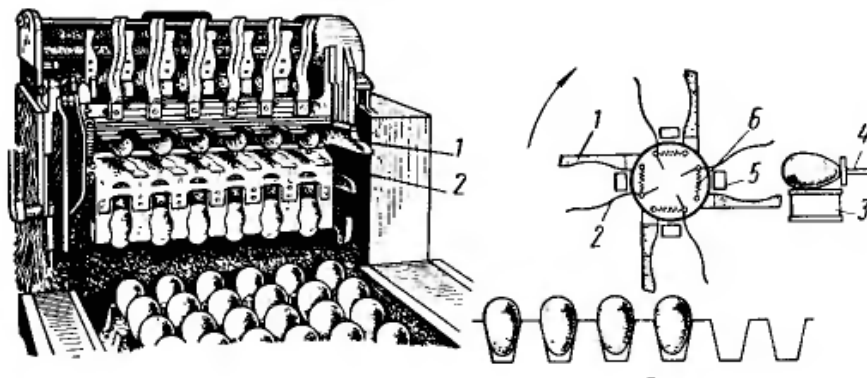


Рис. 4. Укладываемое устройство для яиц с механическими захватами

укладывающих устройств используются в основном для захвата прочных изделий, но применяются и для захвата таких продуктов как яйца.

На рис. 4 даны общий вид и схема действия укладываемого устройства с механическими захватами автомата для укладки яиц в ячейки лотков. На валу размещены крестообразно четыре секции с ячейками-захватами для яиц, по шесть ячеек на каждой секции. Ячейка образуется двумя выступами 1 из эластичного материала и фасонной упругой металлической пластиной 2. Яйца подаются поперечным транспортером 3 под ячейки-захваты укладочного устройства. Толкателем 4 яйца перемещаются в ячейки секции до эластичных упоров 5. При этом захваты раскрыты и не препятствуют яйцам свободно в них заходить. После того как яйца помещены в ячейки, с помощью пружин 6 пластины прижимают яйца к выступам 1. Затем секция с яйцами поворачивается на  $90^\circ$  и занимает вертикальное положение, где пластины 2 отжимаются и яйца укладываются в гнезда лотков, которые подаются по транспортеру.

В укладочных автоматах для пищевых продуктов самыми распространенными рабочими органами являются вакуумные захваты.

Основное преимущество вакуумных захватов перед механическими и другими заключается в их конструктивной простоте и неповреждаемости поверхности захватываемых изделий. Для пищевых продуктов последнее качество вакуумных захватов имеет особо важное значение.

Принцип работы вакуумного захвата заключается в том, что срез захвата 1 (рис. 5) подводится до соприкосновения с изделием 2, которое нужно захватить, удержать, переместить и уложить. При сближении среза захвата с изделием переключается распределительное устройство, и в полости захвата создается вакуум. При этом может быть некоторый просос воздуха через щель между изделием и срезом захвата. Далее срез захвата вплотную приближается к изделию и прижимается к нему так, чтобы между изделием и срезом захвата образовался плотный контакт. Изделие захватывается и удерживается за счет разности давлений под изделием и в полости захвата, если вес изделия и другие внешние силы меньше подъемной силы захвата. Для освобождения изделия необходимо устранить разрежение в полости захвата, т. е. соединить ее с атмосферой.

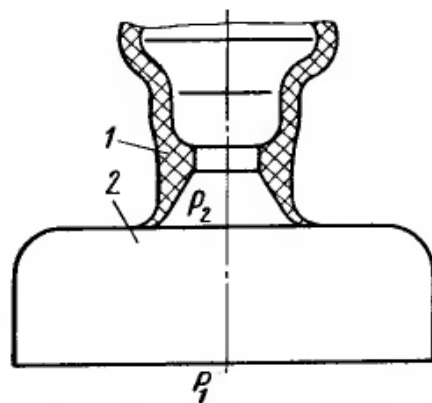


Рис. 5. Схема вакуумного захвата

Рассмотренный принцип работы вакуумных захватов конструктивно может быть осуществлен по-разному, но при этом должны соблюдаться некоторые общие условия. Захватить изделие можно только в том случае, если разность давлений  $p_1$  и  $p_2$  будет достаточна, а это будет при условии сравнительно большого сопротивления материала изделия просачиванию воздуха. Естественно, чем меньше будет сопротивляться материал изделия прониканию через него воздуха, тем большим должен быть вакуум в захвате. Захват должен располагаться относительно захватываемого изделия так,

чтобы был минимальным просос воздуха между изделием и срезом захвата. Площадь среза захвата должна быть такова, чтобы при заданном разрежении подъемная сила в нем была больше всех остальных противодействующих внешних сил.

Перечисленные условия накладывают определенные ограничения на применение вакуумных захватных устройств.

### 5. Классификация вакуумных захватов.

Вакуум в полости захватов укладочного автомата создается принудительно чаще всего от индивидуального вакуум-насоса или вентилятора, встроенного в автомат, но может создаваться и от вакуумной сети предприятия. Величина разрежения в полости вакуумных захватов укладочных автоматов для пищевых продуктов составляет от 76 до 400 мм рт. ст.



Рис.6 Классификация вакуумных захватов

Одиночные вакуумные захваты имеют один рабочий орган, который выполняет заданные технологические операции. Рабочий орган одиночного вакуумного захвата может быть выполнен в виде среза (прямого или косого) металлической, пластмассовой или резиновой трубки. Торец среза металлической трубки может быть оснащен наконечником из пластмассы, жесткой либо мягкой резины. Одиночные вакуумные захваты могут выполняться в виде чашеобразных наконечников из эластичного материала. В зависимости от жесткости наконечника захваты можно характеризовать как жесткие, полужесткие и эластичные. Жесткие захваты — это такие, которые при соприкосновении с изделием не деформируются (например, изготовленные из металлической или пластмассовой трубки). Полужесткие захваты имеют жесткий корпус, снабженный эластичным наконечником, который при соприкосновении с изделием имеет возможность деформироваться (например, изготовленные из металлической или пластмассовой трубки, срез которой оснащен резиновым наконечником). В эластичных захватах корпус деформируется при соприкосновении с изделием (например, захваты, изготовленные из эластичной резины и снабженные гофрами).

Групповые вакуумные захваты имеют несколько рабочих органов. Они могут иметь разнообразные конструктивные формы и в зависимости от этого разделяются на секционные и плоские. Групповые вакуумные захваты так же, как и одиночные, могут быть жесткими, полужесткими и эластичными.

Секционные захваты получают группированием одиночных вакуумных захватов на одном основании или рамке, что дает воз-

можность одновременно захватить набор изделий. На рис. 137, а показана схема секционного эластичного вакуумного захвата, состоящего из пустотелого кронштейна 2, сидящего на оси 4, и шести эластичных захватов 3. Вакуум в полости захватов сообщается через трубку 1, соединенную с вакуумной сетью.

Плоский жесткий захват (рис. 7, б) представляет коробчатую конструкцию, в верхней части которой имеется бобышка 2 с резьбой для присоединения к вакуумной сети. Между корпусом 1 и пластиной 3 проложена прокладка 4 из уплотняющего материала. В пластине 3 выполнены в определенном порядке (в зависимости от расположения и формы захватываемых изделий) отверстия. В металлической пластине размером  $166 \times 110$  мм захвата укладочного автомата для прессованного сахара имеется 72 отверстия, из которых 38 отверстий  $\varnothing 5,5$  мм, 12 отверстий  $\varnothing 3,5$  и 22 отверстия  $\varnothing 2,5$  мм. Расположение отверстий видно из рисунка. Один такой захват захватывает 60 кусков сахара рафинада.

Нижняя пластина захвата может быть жесткой и может быть облицована накладкой из эластичного материала. Плоские за-

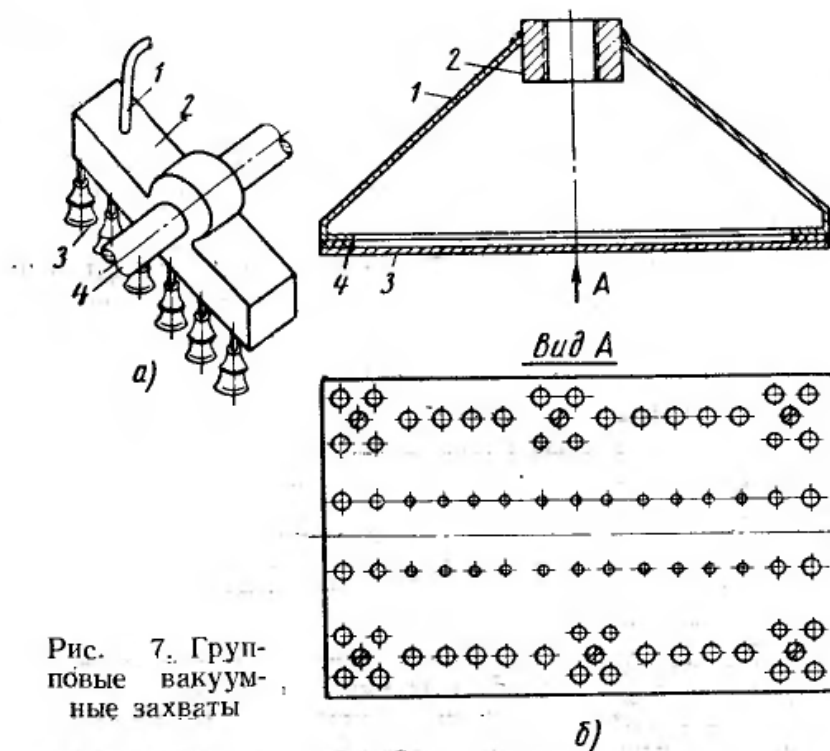


Рис. 7. Групповые вакуумные захваты

хваты можно применять для захватывания и укладки твердых штучных изделий с ровной поверхностью, например, кускового сахара.

#### 6. Конструктивные особенности вакуумных захватных устройств.

Характерной особенностью почти всех типов вакуумных захватных устройств является наличие компенсатора в виде пружин, комбинации пружин и элементов из эластичного материала или конструкция самого захвата обладает свойствами упругого компенсатора. Такие компенсаторы необходимы для плотного прилегания захвата к изделию и надежного захвата набора изделий с неодинаковыми размерами по высоте.

Второй особенностью вакуумных захватов, в частности для мелкоштучных изделий пищевой промышленности, является возможность их самоустанавливаться, что обеспечивает более надежный захват изделий.

Конструкция захвата, данная на рис. 8, а, обеспечивает захват изделий при различном их отклонении в горизонтальной и вертикальной плоскостях. К изделию 1 подводится захват 2, который закреплен на штуцере 3. Захват 2 соединен с распределителем вакуума 8 через трубку 7, держатель 5 и эластичный шланг 4.

Пружина 6 обеспечивает установку захвата по высоте изделия, а эластичный шланг 4 дает возможность захвату самоустанавливаться.



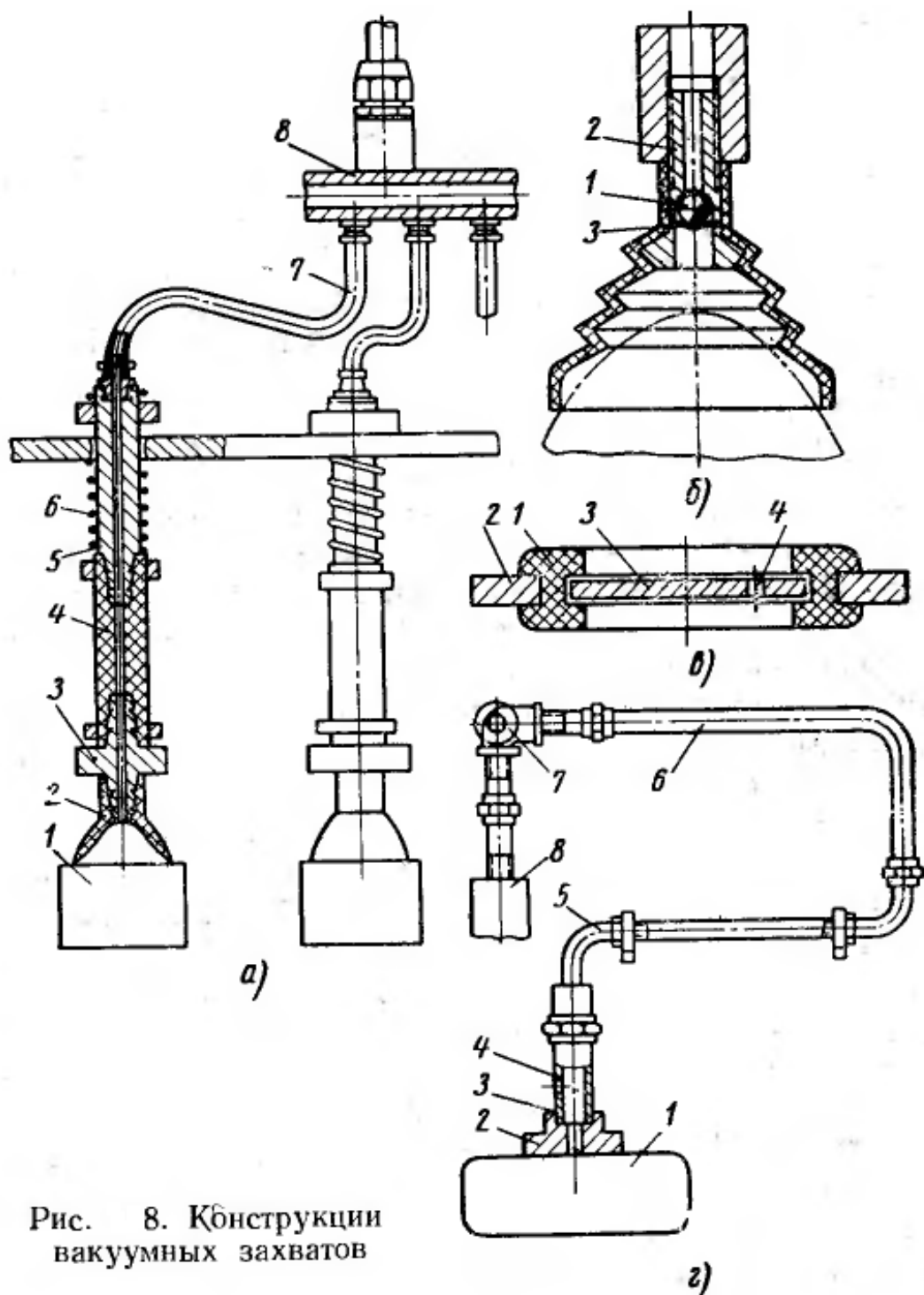


Рис. 8. Конструкции вакуумных захватов

Некоторые конструкции групповых захватов, чаще всего секционные, предназначенные для одновременного захвата группы изделий, имеют специальные устройства, предохраняющие систему от потери вакуума в случаях, когда один из захватов по той или иной причине не захватил изделие и отверстие захвата остается открытым для протекания воздуха. Так, шариковый клапан 1 (рис. 8, б) защищает захватное устройство от потери вакуума

и препятствует попаданию в систему инородных предметов, когда яйцо оказалось не захваченным или оно разбилось. Размеры шарика таковы, что он, прижимаясь к седлу 2, не до конца перекрывает канал. Шарик снизу ограничен штифтом 3.

В другом случае резиновое уплотнительное кольцо 1 (рис. 8, в) вставлено в днище обоймы 2 группового захвата. Кольцо 1 имеет на внутренней цилиндрической поверхности кольцевой паз, в котором расположен подвижный клапанный диск 3, диаметр которого несколько меньше диаметра кругового паза кольца. В клапанном диске имеется отверстие 4 небольшого диаметра. При сообщении вакуума и наличии захватываемого предмета небольшое количество воздуха просочится через отверстие 4 клапанного диска и через зазоры между диском и кольцевым пазом. В этом случае количество воздуха, прошедшего описанным путем, невелико и воздушный поток не увлечет за собой подвижный клапанный диск 3, он останется лежать на нижнем буртике кольцевого паза. Когда захватываемый предмет отсутствует, поток воздуха устремляется по всему сечению отверстия уплотнительного кольца, увлекает за собой подвижный клапанный диск 3, который прижимается к верхнему буртику кольцевого паза, перекрывая свободное прохождение воздуха и сохраняя тем самым вакуум в системе.

Обычно предмет, присосанный вакуумным захватом, освобождается от него довольно быстро за счет притока воздуха в полость захвата через неплотности после отключения от вакуумной сети и соединения полости захвата с атмосферой. Однако в некоторых случаях время самоотделения изделия от захвата оказывается большим, чем необходимо для рабочих операций. Для сокращения времени отделения изделия от захвата служат специальные устройства, одно из которых показано на рис. 8, г. Вакуумный захват 2 соединен через патрубок 3, резиновый шланг 5, трубопровод 6, вентиль управления 7 с магистралью 8. В патрубке 3 в непосредственной близости к захвату имеется отверстие 4. После поворота вентиля 7 отключается вакуумная магистраль. Через отверстие 4 давление в полости захвата практически мгновенно выравнивается с атмосферным давлением, и изделие 1 освобождается от захвата. Наличие такого отверстия в конструкции вакуумного захвата должно быть учтено при проектировании магистрали и подборе вакуум-насоса, так как через это отверстие все время подсасывается воздух.

## 7. Расчет вакуумных захватов

Задача расчета вакуумных захватов — это определение необходимой и достаточной подъемной силы захвата в зависимости от разрежения в нем, геометрических размеров среза и сил, стремящихся переместить изделие относительно захвата. Силы, удерживающие изделие, — подъемная сила захвата и сила трения скольжения между изделием и захватом.

Задача расчета вакуумных захватов — это определение необходимой и достаточной подъемной силы захвата в зависимости от разрежения в нем, геометрических размеров среза и сил, стремящихся переместить изделие относительно захвата. Силы, удерживающие изделие, — подъемная сила захвата и сила трения скольжения между изделием и захватом. Силы, стремящиеся переместить изделие относительно захвата, это вес изделия, силы инерции и сопротивления воздуха как внешней среды. Кроме того, на изделие действует сила реакции захвата. При захвате некоторых пищевых продуктов поверхность их способна прилипать к поверхности захвата (например, у мармелада), поэтому возникают силы адгезии захватываемого изделия с захватом, которые способствуют удержанию изделия.

Для случая захвата штучных изделий расчетная схема центрального круглого захвата (без учета сил адгезии) представлена на рис. 9. Значение силы сопротивления воздуха  $P$  в расчет не принимается ввиду малых площадей сопротивления и незначительных ее величин. Моментами, возникающими от действия сил сопротивления и инерционных сил, пренебрегаем из-за весьма малых действительных значений плеч приложения сил.

Теоретическую подъемную силу  $N_T$  вакуумного захвата с круглым срезом можно подсчитать по формуле

$$N_T = \frac{\pi d^2}{4} (p_1 - p_2), \quad (1)$$

где  $N_T$  — теоретическая подъемная сила захвата в кг;  
 $p_1$  — давление окружающей среды в кг/см<sup>2</sup>;  
 $p_2$  — давление разреженного воздуха в захвате в кг/см<sup>2</sup>;  
 $d$  — диаметр среза захвата в месте соприкосновения с изделием в см.

Так как захваты могут иметь не только круглую форму среза, а эластичные круглые захваты, как показали исследования, под действием вакуума теряют круглую форму, то целесообразно формулу (1) записать в следующем виде:

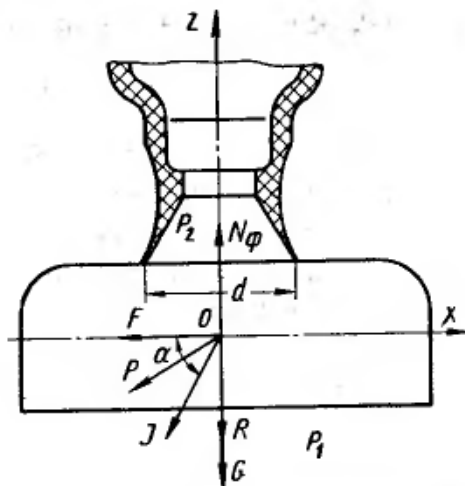


Рис. 9. Схема действия сил

$$N_T = S (p_1 - p_2), \quad (2)$$

где  $S$  — площадь, ограниченная внутренним контуром вакуумного захвата в месте соприкосновения с изделием, в  $\text{см}^2$ .

Проведенные исследования показали, что значения действительной подъемной силы вакуумных захватов отличаются от теоретических при определенных значениях вакуума в полости захватов. Поэтому в формулу для подсчета подъемной силы вводим поправочный коэффициент  $\kappa_1 < 1$ , который зависит от конструкции захватов, характера захватываемой поверхности, величины вакуума в полости захвата и других факторов.

Тогда

$$N_\phi = \kappa_1 N_T, \quad (3)$$

где  $N_\phi$  — фактическая подъемная сила захвата в  $\text{кг}$ ;  
 $\kappa_1$  — экспериментально определяемый коэффициент, учитывающий расхождение фактической и теоретической подъемной силы.

Для надежного удержания изделия необходимо, чтобы было соблюдено условие

$$N_\phi > (G + \dot{I} \sin \alpha);$$

это условие можно выразить уравнением

$$\kappa_1 N_T = \kappa_2 (G + \dot{I} \sin \alpha), \quad (4)$$

где  $G$  — вес изделия в  $\text{кг}$ ;

$\dot{I}$  — инерционная сила, возникающая при перемещении захватов, в  $\text{кг}$ ;

$\kappa_2$  — коэффициент надежности удержания изделия в плоскости, перпендикулярной к плоскости соприкосновения среза захвата с изделием.

Уравнение (4) является условием удержания изделия в направлении, перпендикулярном к плоскости соприкосновения среза захвата с поверхностью изделия.

Рассмотрим силы, действующие в плоскости соприкосновения захвата с поверхностью изделия.

Сила трения удерживает изделие от сдвигающих усилий в рассматриваемой плоскости при его перемещении. Она возникает от действия нормальной силы, величина которой в данном случае равна разности

$$N_\phi - (G + \dot{I} \sin \alpha).$$

Значение силы трения определяется формулой

$$F = \mu [N_\phi - (G + \dot{I} \sin \alpha)], \quad (5)$$

где  $F$  — сила трения скольжения между изделием и захватом в  $\kappa\Gamma$ ;  
 $\mu$  — коэффициент трения между материалом захвата и материалом захватываемого изделия.

Для надежного удержания изделия от сдвигания необходимо, чтобы

$$F > I \cos \alpha;$$

это условие можно записать в таком виде:

$$F = \kappa_3 I \cos \alpha, \quad (6)$$

где  $\kappa_3$  — коэффициент надежности удержания изделия в плоскости соприкосновения среза захвата с поверхностью изделия.

Уравнение (6) является условием удержания изделия в плоскости соприкосновения среза захвата с поверхностью изделия. Из приведенных уравнений определим разность давлений окружающей среды  $p_1$  и разреженного воздуха в захвате  $p_2$ , при которой захватываемое изделие будет надежно удерживаться. Для этого в уравнение (5) подставим значение  $N_\phi$  из уравнения (3) с учетом выражения (2). Тогда

$$F = \mu [k_1 S (p_1 - p_2) - (G + I \sin \alpha)]. \quad (7)$$

Из уравнения (4) следует

$$G + I \sin \alpha = \frac{\kappa_1 S (p_1 - p_2)}{\kappa_2}; \quad (8)$$

это выражение подставим в формулу (7), тогда

$$F = \mu \left[ k_1 S (p_1 - p_2) - \frac{\kappa_1 S (p_1 - p_2)}{\kappa_2} \right]. \quad (9)$$

Подставив значение  $F$  из формулы (6) в левую часть уравнения (9), получаем

$$\kappa_3 I \cos \alpha = \mu k_1 S (p_1 - p_2) - \mu \frac{\kappa_1}{\kappa_2} S (p_1 - p_2), \quad (10)$$

откуда

$$p_1 - p_2 = \frac{I \cos \alpha}{\mu S} \cdot \frac{\kappa_3}{\kappa_1 \left(1 - \frac{1}{\kappa_2}\right)}. \quad (11)$$

Для равных условий надежности удержания изделия при его отрывании от захвата и сдвигании относительно захвата примем, что

$$\kappa_2 = \kappa_3 = \kappa.$$

Тогда уравнение (11) примет следующий вид:

$$p_1 - p_2 = \frac{I \cos \alpha}{\mu S} \cdot \frac{\kappa^2}{\kappa_1 (\kappa - 1)}. \quad (12)$$

Если по условиям работы вакуумного захвата сдвигающее усилие отсутствует, что может иметь место, например, в захватах, работающих только на подъем изделия, то необходимая разность давлений  $p_1$  и  $p_2$  определится из уравнений (2) и (4) в следующем виде:

$$p_1 - p_2 = \frac{G + I \sin \alpha}{S} \cdot \frac{\kappa}{\kappa_1}. \quad (13)$$

Из уравнений (12) и (13) видно, что силы, противодействующие силам, стремящимся оторвать изделие от захвата и сдвинуть его относительно среза захвата, пропорциональны площади  $S$ , ограниченной внутренним контуром вакуумного захвата в месте соприкосновения с изделием, коэффициенту  $\kappa_1$ , а при наличии сдвигающей силы и коэффициенту трения  $\mu$ .

Для расчета элементов вакуумной системы и подбора вакуум-насоса укладочного автомата с вакуумными захватами нужно знать, какое количество воздуха в единицу времени протекает через систему. В указанном автомате цикл работы укладочного устройства с вакуумными захватами состоит из перемещения его к изделиям, опускания захватов на изделия, присасывания изделий, переноса их и отпускания. Проведенные исследования показали, что протекание воздуха через открытые жиклеры вакуумных захватов имеет место при открывании крана в период присасывания изделий, а после захвата изделий воздух протекает через материал (вещество) захватываемого изделия и через неплотности между изделием и захватом. Расход воздуха происходит и через неплотности в соединениях элементов вакуумной системы укладочного автомата. На основании данного анализа элементов расхода воздуха можно подсчитать полный расход воздуха за один цикл работы автомата — цикловый расход, а зная его, нетрудно подобрать вакуум-насос требуемой производительности.

Для подсчета циклового расхода воздуха укладочного автомата может служить формула

$$Q_u = Q_1 + Q_2 + Q_3, \quad (14)$$

где  $Q_u$  — расход воздуха за время одного цикла работы устройства с вакуумными захватами укладочного автомата;  
 $Q_1$  — расход воздуха через жиклеры вакуумных захватов за время, в течение которого они открыты, подсчитывается по формулам;

- $Q_2$  — расход воздуха за время одного цикла через неплотности в соединениях элементов вакуумной системы укладочного автомата, определяется экспериментально;
- $Q_3$  — расход воздуха через материал (вещество) изделия и через неплотности между изделием и захватами, определяется экспериментально.

Составляющую  $Q_1$  циклового расхода воздуха можно подсчитывать по формулам [52]. Рассмотрим истечение газа через малое отверстие жиклера сечением  $f$  вакуумного захвата из области с высоким (атмосферным) давлением  $p_1$  в область низкого давления  $p_2$ . При уменьшении давления  $p_2$  скорость истечения и, следовательно, количество протекающего газа непрерывно увеличивается до тех пор, пока скорость истечения через отверстие не становится равной скорости звука. Это достигается при определенном значении отношения  $\frac{p_2}{p_1}$ , которое получило название критического.

Дальнейшее уменьшение  $p_2$  не приводит к увеличению скорости и количества протекающего газа, они остаются постоянными.

Поток газа, проходящий через сечение при  $\frac{p_2}{p_1} < \left(\frac{p_2}{p_1}\right)_{кр}$ , выражается формулой

$$Q = \sqrt{\frac{2\gamma}{\gamma-1} \cdot \frac{\kappa T_1}{m_2}} r^{\frac{1}{\gamma}} \sqrt{1 - r^{\frac{\gamma-1}{\gamma}}} p_1 f, \quad (15)$$

где  $r = \frac{p_2}{p_1} \leq 1$ ;

$f$  — площадь сечения отверстия;

$\gamma = \frac{C_p}{C_v}$ ;

$\kappa$  — постоянная Больцмана;

$m_2$  — масса молекулы газа;

$T_1$  — абсолютная температура в области с давлением  $p_1$ .

Для воздуха при  $20^\circ \text{C}$   $\gamma = 1,403$ ;  $T_1 = 293^\circ \text{K}$ .

$$Q = 76,6 r^{0,712} \sqrt{1 - r^{0,288}} p_1 f. \quad (16)$$

В этой формуле  $Q$  в мм рт. ст. · л/сек;  $p$  в мм рт. ст.;  $f$  в см<sup>2</sup>. Максимальное значение  $Q$  будет при

$$r_{кр} = \left(\frac{2}{\gamma+1}\right)^{\frac{\gamma}{\gamma-1}}; \quad (17)$$

для воздуха  $r_{кр} = 0,525$ .

Поток газа  $Q$  представляет собой по существу объемный расход, приведенный к единичному давлению:

$$Q = Q_1 p_2,$$

где  $Q_1$  — объем газа, проходящий через сечение в единицу времени, измеренный при давлении  $p_2$ ;  
отсюда при  $0,52 \leq r \leq 1$

$$Q_1 = 76,6 \left( \frac{p_2}{p_1} \right)^{0,712} \sqrt{1 - \left( \frac{p_2}{p_1} \right)^{0,288}} \cdot \frac{f}{p_1} \quad ( )$$

В вакуумную систему автомата входит ресивер, объем которого необходимо рассчитать. Если продолжительность нерабочего состояния вакуумной системы велика, то целесообразно на этот период выключать двигатель насоса, если же смена рабочего и нерабочего состояний чередуется часто, то в этом случае удобнее и экономичнее применять насосную установку с ресивером, выбрав объем ресивера и производительность насоса, соответствующие технологическому режиму работы системы. Это позволит использовать при эксплуатации насосы с производительностью бо-

лее низкой, так как насос может продолжать откачку воздуха из ресивера и во время нерабочего состояния системы.

Для определения зависимости между производительностью вакуум-насоса и объемом ресивера укладочного автомата примем [6], что время полного цикла работы вакуумной системы составляет  $\tau_1$  мин, из которых рабочее время составляет  $\tau_2$  мин. Производительность вакуум-насоса обозначим  $G_1$  кг/мин, а количество потребляемого вакуумной системой воздуха в процессе ее работы  $G_2$  кг/мин. По условиям, поставленным выше,  $G_2 > G_1$ . Таким образом, для обеспечения работы системы вакуумный насос должен откачать общее количество воздуха

$$G_1 \tau_1 = G_2 \tau_2. \quad (19)$$

Если нормальное рабочее давление в ресивере должно быть  $p$ , причем

$$p = \frac{p_{\max} + p_{\min}}{2}, \quad (20)$$

где  $p_{\max}$  и  $p_{\min}$  — соответственно допускаемые отступления от нормального давления и, следовательно, предельные давления в ресивере, то допускаемое падение давления будет

$$p_{\max} - p_{\min} = \Delta p. \quad (21)$$

Считая для упрощения температуру воздуха в ресивере постоянной, определим дополнительный расход воздуха из него за время работы системы, для чего все члены последнего уравнения умножим на величину  $\frac{V}{RT}$ ,

где  $V$  — объем ресивера в  $m^3$ ;

$R$  — газовая постоянная воздуха;

$T$  — абсолютная температура воздуха в ресивере:



$$\frac{Vp_{\max}}{RT} - \frac{Vp_{\min}}{RT} = \frac{V\Delta p}{RT} = G_{\text{дон}}. \quad (22)$$

Это дополнительное количество воздуха  $G_{\text{дон}}$  показывает разность расхода и откачки в ресивере в течение  $\tau_2$ , следовательно,

$$\frac{V\Delta p}{RT} = (G_2 - G_1) \tau_2, \quad (23)$$

откуда объем ресивера

$$V = \frac{(G_2 - G_1)}{\Delta p} \tau_2 RT \text{ м}^3, \quad (24)$$

или, подставляя вместо  $G_2$  его значение из уравнения (19), получаем

$$V = \frac{G_1 (\tau_1 - \tau_2) RT}{\Delta p} \text{ м}^3, \quad (25)$$

где  $\tau_1 - \tau_2$  — время восстановления давления в ресивере.