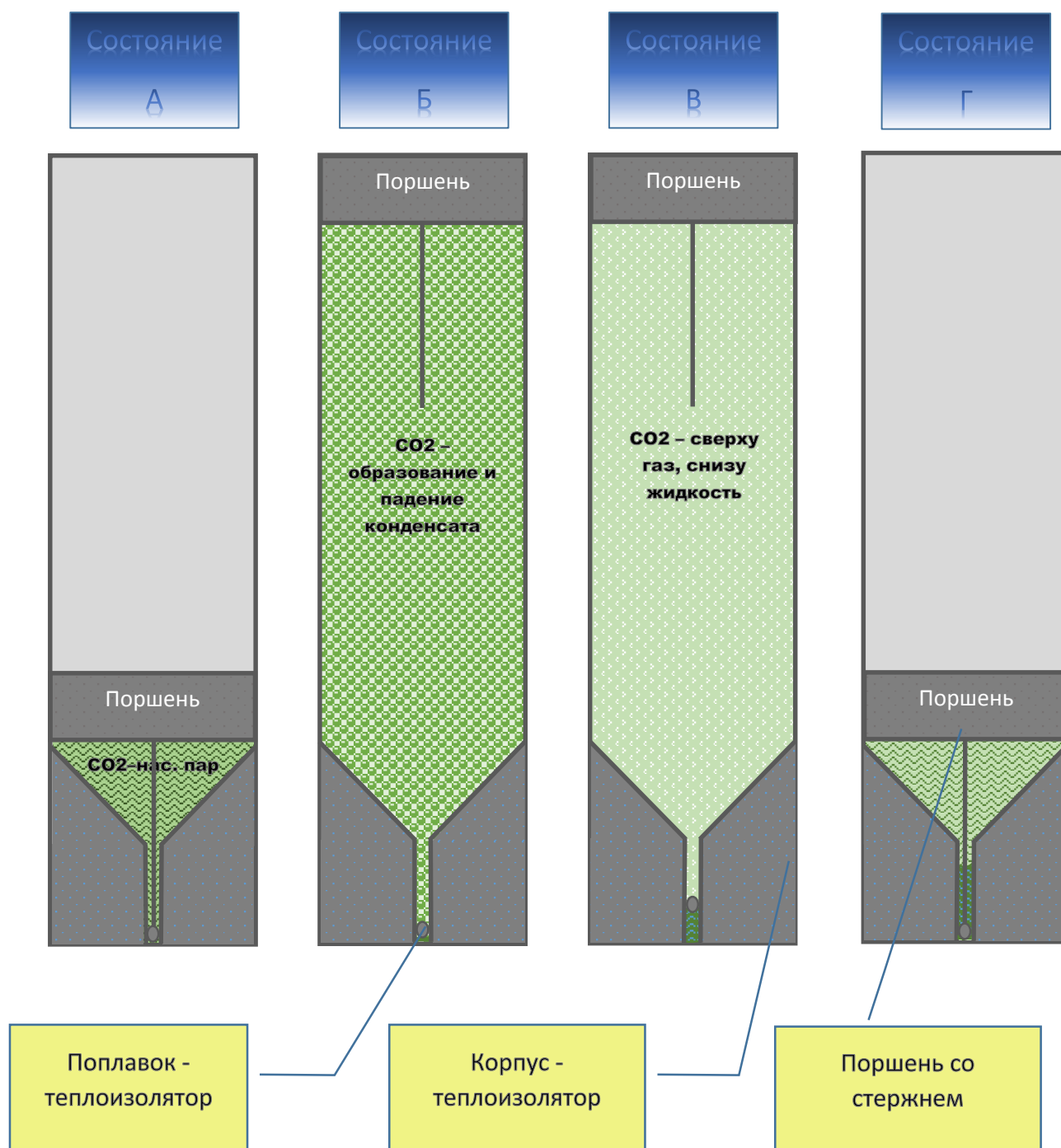


## Источник энергии: испарение – конденсация

Рассмотрим адиабатическое расширение и сжатие насыщенного пара углекислоты внутри герметичного цилиндра действием поршня через состояния А – Б – В – Г, см. рис. 1.

Рис. 1



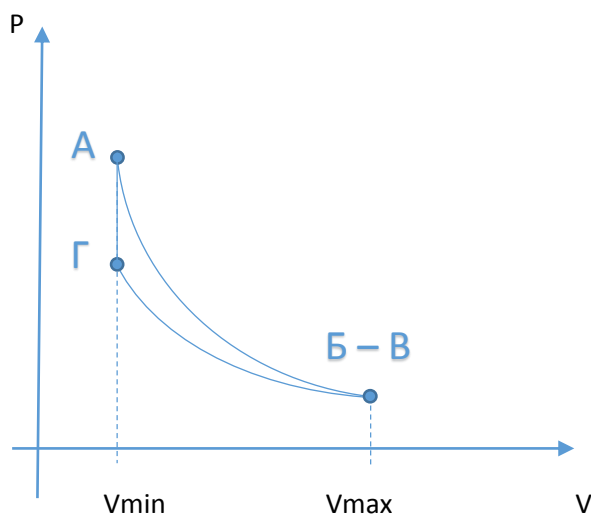
Герметичный цилиндр и поршень состоят из теплоизоляционного материала. Цилиндр имеет в своей нижней части сужение внутренней поверхности наподобие воронки с горловиной. При адиабатическом расширении углекислого газа (рис. 1, состояния А – Б), часть его молекул перейдёт в жидкую фазу вследствие сильного охлаждения газовой среды. Образованный конденсат углекислого газа при адиабатическом расширении под действием силы гравитации будет собираться в узкой горловине воронки, (рис. 1, состояние В).

В горловине воронки на поверхности жидкой фазы плавает поплавок – теплоизолятор, плотностью меньшей плотности образованного конденсата углекислого газа. Цель поплавка – воспрепятствовать теплообмену между конденсатом и паром углекислоты до тех пор, пока поршень не вернётся в исходное состояние. При возврате поршня в исходное состояние стержень, жёстко присоединённый к поршню, топит поплавок на дно горловины и, тем самым, открывает процесс теплообмена между конденсатом и паром углекислоты (рис. 1, состояние Г). В процессе этого теплообмена конденсат углекислоты переходит обратно в газовое состояние, а температура газа становится равной первоначальной, система «поршень - цилиндр» возвращается в исходное состояние, как замкнутая система (рис. 1, состояние А).

Сопровождающиеся при этом конденсация и испарение углекислоты могут являться источником энергии для потребителя, вследствие, образования разности давлений под поршнем за полный его поступательно-возвратный ход А – Б – В – Г, см. рис. 2. При отводе полезной работы потребителю внутренняя энергия системы «цилиндр – поршень» уменьшится на величину этой работы, это уменьшение можно восполнить теплообменом системы «цилиндр – поршень» с окружающей средой.

Полезная работа, которую можно отвести потребителю, равна площади фигуры А – Б – В – Г – А без учёта затрат энергии на преодоления сил трений, а также тепловых потерь.

Рис. 2



### Расчёт разности давления.

Запишем первый закон термодинамики:

$$E = U + Q + A, \quad (1)$$

здесь и далее:  $E$  - полная энергия системы, Дж.;  $U$  - внутренняя энергия системы, Дж.;  $Q$  - кол-во теплоты полученной или отданной системой, Дж.;  $A$  - работа, произведённая системой или над системой, Дж.

Для теплоизолированной системы с постоянным объёмом ( $u$  нас начальный объём равен конечному,  $V_{\min}$ , см. рис. 2) полная энергия системы равна её внутренней энергии:

$$\text{Поскольку: } A = P \times \Delta V; \quad \Delta V = 0; \quad A = 0; \quad Q = 0, \text{ то} \quad E = U, \quad (2)$$

здесь:  $P$  - давление газовой среды, Па;  $\Delta V$  - изменение объёма, м. куб.

Внутренняя энергия равняется:

$$U = Q_{\text{внутр.}} + P \times V, \quad (3)$$

здесь:  $Q_{\text{внутр.}}$  - кол-во теплоты, Дж., которое система может отдать в процессе теплообмена холодильнику с температурой 0 град. по Кельвину;  $(P \times V)$  - кол-во работы, Дж., которое система может воспроизвести с помощи поршня, расширяясь в вакуум;  $U$  - внутренняя энергия системы, Дж.

Если в теплоизолированной системе происходит конденсация пара в процессе адиабатического расширения, внутренняя энергия этой системы остаётся неизменной:

$$U = \text{const}, \quad \text{т. е.} \quad Q_{\text{внутр.}} + P \times V = \text{const}. \quad (4)$$

Поскольку конденсация происходит с выделением теплоты, то ( $\Delta$  - это прирост):

$$\Delta Q_{\text{внутр.}} > 0, \text{ а } \Delta P < 0, \quad \text{т. к.} \quad \Delta Q_{\text{внутр.}} + \Delta P \times V = 0, \text{ это следует из (4).}$$

$$\text{Получаем: } \Delta P = - Q_{\text{конд.}} / V, \quad (5)$$

здесь:  $\Delta Q_{\text{внутр.}} = Q_{\text{конд.}}$ ;  $Q_{\text{конд.}}$  - теплота конденсации;  $V = V_{\min}$  - равный начальному и конечному объёму подпоршневого пространства за цикл А - Б - В - Г.

Вывод: изменение давления конденсируемой газовой среды при адиабатическом процессе расширения равно с отрицательным знаком теплоте конденсации газовой среды поделённой на объём.