

# ВОДОПОДГОТОВКА И ВОДНЫЙ РЕЖИМ В ТЕПЛОГЕНЕРИРУЮЩИХ УСТАНОВКАХ

# ВАКУУМНЫЕ ДЕГАЗАТОРЫ

## **Физический способ обескислороживания воды.**

Работа вакуумных дегазаторов заключается в следующем: дегазируемая вода подается в верхнюю часть дегазатора с помощью устройств разбрызгивания по всей площади поперечного сечения аппарата. Внутри дегазатора располагается насадка (кольца Рашига или деревянная насадка и т. д.) по которой дегазируемая вода стекает вниз в виде пленки. От корпуса дегазатора отходит трубопровод к устройству, создающему вакуум внутри аппарата. Для этой цели используют вакуум-насосы, водоструйные или пароструйные эжекторы. Вакуум в дегазаторе должен соответствовать точке кипения дегазируемой воды или быть близким к ним.



Известно, что растворимость газов в кипящей воде падает до нуля, поэтому, чем ближе создаваемый вакуум в точке кипения воды, тем выше возможность эффекта дегазации. Для того чтобы вода при наличии вакуума в дегазаторе беспрепятственно стекала в резервуар, дегазатор располагают на высоте над приемным резервуаром, чтобы давление столба, воды в отводящем трубопроводе превышало величину вакуума в дегазаторе.

Для уменьшения этой высоты, возможно, отсасывать воду из дегазатора насосом.

# РАСЧЕТ ВАКУУМНЫХ ДЕГАЗАТОРОВ

Площадь поперечного сечения дегазатора вычисляют по плотности орошения насадки  $50 \text{ м}^3/\text{м}^2\text{час}$ .

$$f = q/50 \text{ м}$$

Значение  $CC_p$  (Средняя движущая сила десорбции) определяется по рис.3 в случае удаления свободной углекислоты и по рис. 8 в случае удаления кислорода. Коэф. десорбции  $K_{ж}$  определяют по рис.9 для удаления свободной углекислоты и по рис.10 для удаления кислорода.

Производительность устройства, создающего вакуум в дегазаторе, определяют по формуле, полученной из уравнения Клайперона:

$$V_{см} = \frac{G_{КД} (273 + t)}{A * P_k} ; \text{м}^3\text{ч}$$

где  $V_{\text{см}}$  - объем паро-газовой смеси, отсасываемой из дегазатора,  $\text{м}^3$ ;

$G_{\text{К.В.}}$  – вес кислорода, отсасываемого из дегазатора (с учетом кислорода, подсасываемого из атмосферы через не плотности вакуумной системы) в  $\text{кг}\backslash\text{час}$ .

$A$  – коэф. принимаемый при, удалении кислорода 377, при удалении углекислоты 520.

$G_{\text{К.Д.}}$  – вес кислорода, удаляемого из воды в  $\text{кг}\backslash\text{час}$ .

$$G_{\text{К.Д.}} = 1,312 * C_{\text{К.В.}}$$

$$\text{где } C_{\text{К.В.}} = \frac{q_{\text{час}} (C_{\text{ex}} - C_{\text{exх}})}{1000} ; \text{ кг}\backslash\text{час.}$$

$P_{\text{к}}$  – парциальное равновесное давление кислорода при данной температуре воды отвечающее заданной конечной концентрации кислорода.

$$P_{\text{к}} = \frac{C_{\text{exх}}}{H} ; \text{ ат.}$$

$C_{\text{ВЫХ}}$  – конечная концентрация кислорода в воде в г\м<sup>3</sup>;

$H$  – растворимость кислорода в воде при данной температуре и при парциальном давлении кислорода равном 1 ат в г\м<sup>3</sup> ат. Табл.7

Объем парогазовой смеси подсчитанной по формуле, соответствует температуре и давлению которые, имеют место в вакуумном дегазаторе.

Производительность вакуум-насосов в каталогах обычно относится к температуре 0<sup>0</sup> и давления 1 та. Для того чтобы привести объем газа, подсчитанного ранее к условиям принятым в каталогах можно воспользоваться законами Бойля-Мариотта и Гей-Люссака согласно которым

$$\frac{VP}{1 + 0.00366 t_0} = \frac{V_0 P_0}{1 + 0.00366 t_0}; \quad V_0 = \frac{VP}{1 + 0.00366 t};$$

где  $V_0$  – объем паро-газовой смеси при  $t = 0^0$  и  $P_0 = 1 \text{ ат}$ ,  $\text{м}^3 \backslash \text{час}$ .

$V$  – объем паро-газовой смеси найденной ранее  $\text{м}^3 \backslash \text{час}$ . (по форме 1)

$P$ - давление паро-газовой смеси в дегазаторе при температуре  $t$  рис.11

# РАСЧЕТ ДЕГАЗАТОРОВ ПРИНИМАЕМЫХ ПРИ ОБЕЗЖЕЛЕЗИВАНИИ ВОДЫ АЭРАЦИЕЙ

К этому типу дегазаторов можно отнести пленочные дегазаторы с загрузкой из колец Рашига или кусковой загрузкой (кокс, гравий и др) работающих в условиях противотока воды и воздуха подаваемого вентилятором, а так же дегазаторы пленочные типа с теми же загрузками ,но работающие без подачи воздуха (контактные градирни).

Сущность процесса обезжелезивания по отношению к большинству подземных вод заключается в окислении кислородом воздуха двухвалентного железа, в трехвалентное.

Скорость реакции окисления двухвалентного железа в трехвалентное зависит от значения рН воды, чем выше рН, тем скорее идет процесс.

Этот процесс происходит достаточно быстро и надежно при рН= 7,5, а значение рН воды подземных источников обычно ниже величины 6,5 – 7,2 . Для поднятия значения рН воды до 7,5 из нее удаляют некоторое кол-во свободной углекислоты, которое может быть найдено по номограмме 1.

Зная, начальное содержание свободной углекислоты в воде, и определив по номограмме концентрацию  $\text{CO}_2$  которая соответствует рН = 7,5, можно найти кол-во  $\text{CO}_2$ , которое должно быть удалено из воды, как разность концентраций начальной и оптимальной, соответствующей значению рН – 7,5 .

Кроме того, должно быть удалено то кол-во  $\text{CO}_2$ , которое образуется при гидролизе бикарбоната железа, т.к. наличие этой углекислоты в воде может препятствовать повешению рН до требуемого предела. Кол-во  $\text{CO}_2$ , выделившейся при гидролизе железа, согласно стехиометрическому, расчету, составляет 1,57 мг на 1 мг железа, содержащегося в исходной воде.

$$C_y = 1,57 * C_{\text{Fe}} + (C_{\text{нач.}} - C_{\text{опт.}})$$

где  $C_y$  – кол-во свободной углекислоты  $\text{CO}_2$ , которое должно быть удалено из воды, мг\л;

$C_{\text{Fe}}$  – общее содержание железа в обезжелезиваемой воде, мг\л;

$C_{\text{нач.}}$  – начальная концентрация  $\text{CO}_2$  в обезжелезиваемой воде, мг\л;

$C_{\text{опт.}}$  - концентрация  $\text{CO}_2$  в мг\л соответствующая оптимальному значению рН = 7,5 при данной щелочности воды (номограмма 1).

Остаточное содержание  $\text{CO}_2$  после дегазации будет равно

$$C_{\text{ост.}} = C_{\text{вх.}} - C_y = 1,57 * C_{\text{Fe}} + C_{\text{нач.}} - 1,57 * C_{\text{Fe}} - C_{\text{нач.}} +$$

$$C_{\text{опт.}} = C_{\text{опт.}}$$

Площадь поперечного сечения дегазатора

подсчитывают исходя из плотности орошения насадки от 540 до 90  $\text{м}^3/\text{м}^2$  час. В зависимости от размеров и характера насадки. Удельный расход воздуха следует принимать равным 4  $\text{м}^3/\text{м}^3$ .

Значение  $\Delta C_{\text{ср.}}$  для обезжелезивания воды аэрацией, можно определить по формуле:

$$\Delta C_{\text{ср.}} = \frac{C_{\text{вх.}} - C_{\text{опт.}}}{2,31 \ell_{\text{г}} \frac{C_{\text{вх.}}}{C_{\text{опт.}}}}, \text{ кг}/\text{м}^3$$

Здесь  $C_{\text{вх}}$  и  $C_{\text{опт}}$  кг\м<sup>3</sup> Величину  $K_{\text{ж}}$  находим по рас 6

При подсчете дегазаторов, работающих без принудительной подачи воздуха (контактные градирни), плотность орошения для всех насадок должно приниматься 10 м<sup>3</sup>\м<sup>2</sup> .  $K_{\text{ж}}$  по (рис.6).

1.Площадь поперечного сечения дегазатора:

$$f = m^2$$

2.Плотность орошения насадки дегазатора по обезжелезиванию равна 50-90 м<sup>3</sup>\м<sup>2</sup>час

$$C_{\text{опт}} = C_{\text{ном}} * \alpha * \beta, \text{ мг\л}$$

$$3. C_{\text{вх}} = 1,57 * C_{\text{Fe}} + C_{\text{нач}}$$

4.  $S$  – поверхность насадки (таб.6) м<sup>2</sup>\м<sup>3</sup>

# РАСЧЕТ ДЕГАЗАТОРА С НАСАДКОЙ ИЗ КОЛЕЦ РАШИГА

Самым совершенным типом дегазатора для глубокого удаления из воды углекислоты считается пленочный дегазатор, загруженный кольцами Рашига. Он обеспечивает наиболее устойчивый эффект дегазации, долговечен, требует меньшей площади и высоты, а также меньшего расхода воздуха.

Наиболее целесообразно применять эти дегазаторы на крупных установках и при большом содержании свободной углекислоты.

После пленочного дегазатора с кольцами Рашига и подачей воздуха вентилятором содержание диоксида углерода в воде составляет не более 3...5 мг\л. При удалении сероводорода этим методом воду следует подкислять до  $pH=5$  с последующим подщелачиванием ее до необходимого значения  $pH$ .

Для удаления свободной углекислоты из воды при процессе обезжелезивания так же целесообразно использовать дегазаторы, загруженные кольцами Рашига. Кольца Рашига – полые цилиндры с равными высотой и наружным диаметром. Промышленностью выпускаются керамические кольца Рашига размерами 25\*25; 35\*35; 50\*50 мм и больших размеров.

Для уменьшения высоты дегазатора применяют кольца более мелкого размера т.к. единица объема насадки таких колец имеет большую поверхность.

Для загрузки дегазатора можно применять кольца размером 25\*25\*3 мм т.к. общее сопротивление насадки из таких колец не превосходит величины напора, развиваемого вентиляторами.

Площадь поперечного сечения дегазатора, загруженного кольцами Рашига, следует принимать исходя из удельной нагрузки  $60 \text{ м}^3/\text{м}^2$  час, удельный расход воздуха в этом случае, должен приниматься равным  $15 \text{ м}^3/\text{м}^3$ .

Необходимую поверхность насадки (из колец Рашига) находят по формуле

$$F = \frac{G}{K_{\text{ж}} * \Delta C_{\text{ср}}}$$

где  $F$  - площадь поверхности насадки,  $\text{м}^2$ ;

$K_{\text{ж}}$  – коэф. десорбции,  $\text{м}^3/\text{час}$ . (рис.4);

$\Delta C_{\text{ср}}$  – средняя движущая сила процесса десорбции,  $\text{кг}/\text{м}^3$  (рас.3);

$G$  – кол-во свободной углекислоты подлежащей удалению  $\text{кг}/\text{час}$ .

$$G = \frac{q_{\text{час}} (C_{\text{ex.}} - C_{\text{вых.}})}{1000}, \text{ кг/час.}$$

Объем насадки

$$W = \frac{F}{S}, \text{ м}^3$$

F = площадь насадки, м<sup>2</sup>

S – поверхность насадки (таб.4) м<sup>2</sup>\м<sup>3</sup>

# РАСЧЕТ ДЕГАЗАТОРА С ДЕРЕВЯННОЙ ХОРДОВОЙ НАСАДКОЙ

Площадь поперечного сечения и диаметр дегазатора определяют по таб.3, оптимальная плотность орошения насадки, равной  $40 \text{ м}^3/\text{м}^2 \text{ час}$ .

Площадь поверхности насадки, при которой обеспечивается заданная степень удаления свободной углекислоты (или другого газа) определяется по формуле:

$$F = \frac{G}{K_{ж} * \Delta C_{ср}}$$

где  $F$  – площадь насадки в  $\text{м}^2$ ;

$G$  – кол-во углекислоты подлежащей удалению в  $\text{кг}/\text{час}$ .;

$$G = \frac{q_{\text{час}} (C_{\text{вх.}} - C_{\text{вых.}})}{1000}, \text{ кг}/\text{час}.$$

$q_{\text{час}}$  – производительность дегазатора в  $\text{м}^3/\text{час}$ ;  $C_{\text{вх}}$  и  $C_{\text{вых}}$  – Концентрация удаляемого газа на входе и на выходе из дегазатора,  $\text{мг}/\text{л}$ ;

$K_{\text{ж}}$  – коэф. десорбции т.е. кол-во газа, передаваемого в единицу времени, через единицу поверхности, при движущей силе процесса десорбции в  $\text{кг}/(\text{час} * \text{м}^2 * \text{кг}/\text{м}^3)$  или  $\text{м}/\text{час}$ ;

$\Delta C_{\text{ср.}}$  – средняя движущая сила процесса десорбции,  $\text{кг}/\text{м}^3$ .

Для обеспечения расчета дегазаторов составлены таблицы  $\Delta C_{\text{ср.}}$  - рис.3, ;  $K_{\text{ж}}$  – рис. 2

Помимо площади щитов насадки нужно учитывать площадь внутренней поверхности самого аппарата, поскольку эта поверхность является так же поверхностью соприкосновения жидкой и газообразной фаз. Величина этой поверхности составляет около 7,5% от площади поверхности насадки.

От площади поверхности насадки ( $F$ ) находят требуемое кол-во щитов, поделив ( $F$ ) площадь поверхности насадки на поверхность одного щита, которая подсчитана для каждой производительности дегазатора (таб.3 площадь поверхности насадки в одном щите с учетом ребер жесткости)  $m^2$ ;

$$n = \frac{F}{f_{п.н.}}, \text{ шт.} \quad (F = F - \frac{7,5\%}{F})$$

Часть высоты аппарата, занятая насадкой определяют по формуле:

$$H = 2n (h + \delta) - h, \text{ мм.}$$

$H$  – часть высоты аппарата, занятая насадкой в мм;

$n$  – кол-во щитов, шт.

$h$  – высота между рядами и между щитами в мм, (таб.3 примечание берется 50 мм для всех производительностей);

$\delta$  (дельта) – толщина досок насадки в мм, 13 мм. (таб.3 гр.4)

$f_{п.н.}$  – площадь поверхности насадки в одном щите (с учетом ребер жесткости) м<sup>2</sup> (таб.3)

Производительность вентилятора следует подбирать исходя из необходимого расхода воздуха для заданного расхода воды (таб.3 гр.3).

# УДАЛЕНИЕ ИЗ ВОДЫ СЕРОВОДОРОДА

Сероводород хорошо удаляется из воды при помощи аэрации, дегазатор применяется из колец Рашига работающий в условиях противотока воды и воздуха подаваемого вентилятором.

Содержащиеся в воде соединения сероводорода могут состоять из свободного сероводорода ( $\text{H}_2\text{S}$ ), гидросульфидного иона ( $\text{HS}^-$ ) и сульфидного иона ( $\text{S}^{2-}$ ).

Только при  $\text{pH} \leq 5$  все сульфидные соединения присутствуют в виде свободного сероводорода. Поэтому удаление сульфидных соединений возможно лишь при предварительном подкислении исходной воды или в цикле H-Na-катионитового умягчения или ионитового обессоливания воды.

Расчет дегазаторов для удаления из воды, свободного сероводорода следует производить исходя из следующих данных:

1. площадь поперечного сечения (таб.8 по производительности), плотность орошения насадки (кольца Рашига) –  $60 \text{ м}^3/\text{м}^2\text{час}$ , удельный расход воздуха –  $12 \text{ м}^3/\text{м}^3$ .

2.  $G$  – кол-во свободной углекислоты подлежащей удалению  $\text{кг}/\text{час}$ .

$$G = \frac{q_{\text{час}} (C_{\text{ex.}} - C_{\text{вых.}})}{1000}, \text{ кг}/\text{час.}$$

Содержание сероводорода опр. По рН таб,14 в %

3. значение средней движущей силы десорбции  $\Delta C_{\text{ср}}$ ,  $\text{кг}/\text{м}^3$  определяется по рис.12 или по формуле:

$$\Delta C_{\text{ср}} = \frac{C_{\text{ex}} - C_{\text{онт}}}{2,31 l q \left( \frac{C_{\text{ex}}}{C_{\text{онт}}} \right)}; \text{ кг}/\text{м}^3$$

где  $C_{\text{ВЫХ}}$  - концентрация удаляемого газа в воде  
соответственно на выходе ее в аппарат, кг\м<sup>3</sup>

$C_{\text{опт}}$  - содержание свободного сероводорода  
соответствующее оптимальному значению рН ≤ 5.

Значение коэф. десорбции определяется по формуле

$$K_{\text{жс}} = \frac{760 \left( \frac{1}{50,7 + \frac{109,9}{f^{0,324}}} \right)}{H} ; \text{м\час.}$$

где  $f$  – площадь поперечного сечения ,  $f, f^{0,324}$   
приведены в табл.8 м<sup>2</sup>.

$H$  – растворимость сероводорода в воде в кг\м<sup>3</sup> ат. при  
данной температуре и при парциальном давлении  
сероводорода 1 ат. рис.13.

#### 4. Объем насадки

$$W = \frac{F}{S}, \text{ м}^3$$

F = площадь насадки, м<sup>2</sup>

S – поверхность насадки (таб.4) м<sup>2</sup>\м<sup>3</sup>

5.

$$F = \frac{G}{K_{\text{ж}} * \Delta C_{\text{ср}}};$$

где F - площадь поверхности насадки, м<sup>2</sup>;

K<sub>ж</sub> – коэф. десорбции, м\час.

# РАСЧЕТ ДЕКАРБОНИЗАТОРА

Вода в декарбонизатор поступает после химической обработки т. е умягчения на H-Na катионитовых фильтрах.

Находят концентрации  $\text{CO}_2$  после H-Na катионитовых установок по формуле:

$$C_{\text{общ. ex}}^{\text{общ. ex}} = C_{\text{исх. ex}}^{\text{исх. ex}} + 44 \cdot \Delta J_{\text{к}}$$

где  $J_{\text{к}}$  - карбонатная жесткость в исходной воде до поступления на Na катионитовые фильтры, т.е. после подкисления на H катионитовых фильтрах мг-экв./л.

$$\Delta J_{\text{к}} = \text{Щ}_{\text{нач}} - \text{Щ}_{\text{н.н.}}$$

$Щ_{нач}$  – щелочность исходной воды, после Н катионитовых фильтров, мг-экв./л.

$Щ_{п.п.}$  – щелочность после подкисления мг-экв./л.

$C_{вх.}^{исх}$  – содержание  $CO_2$  в исходной воде, мг/л

2. Определяется кол-во  $CO_2$  по формуле:

$$G = \frac{q_{час} (C_{вх.}^{общ} - C_{вых.}^{ост.})}{1000}, \text{ кг/час. ;}$$

$C_{вых.}^{ост.}$  – дана в условиях задачи, мг/л.

3. Необходимая площадь поверхности насадки,  $m^2$

$$F = \frac{G}{K_{ж} * \Delta C_{ср}}$$

где  $F$  - площадь поверхности насадки,  $\text{м}^2$ ;

$K_{\text{ж}}$  – коэф. десорбции,  $\text{м}^3/\text{час}$ . (рис.4)

$\Delta C_{\text{ср}}$  – рис.3 при  $C_{\text{вх}}$  и  $C_{\text{вых}}$ .

4. Объем насадки,  $\text{м}^3$

$$W = F/S$$

$F$  - площадь насадки,  $\text{м}^2$

$S$  – поверхность насадки (таб.4)  $\text{м}^2/\text{м}^3$

5 Находим необходимый объем воздуха подаваемого на декарбонизацию по формуле,  $\text{м}^3/\text{час}$

$$V_{\text{д.к.}} = d * q.$$

$d$  – удельный расход воздуха, определяют по справочнику О. В. Левшица «Справочник по водоподготовке котельных установок»

1976г. в котором рекомендовано принимать величину  $d = 25 \text{ м}^3/\text{м}^3$  при умягчении воды,

$d = 40 \text{ м}^3/\text{м}^3$  при обессоливании,  $d = 30 \text{ м}^3/\text{м}^3$

с подкислением подпиточной воды теплосети (которую принимаем).

6. Площадь поперечного сечения, м<sup>2</sup>

$$f = q / 60$$

7. Диаметр внутренней колонны декарбонизатора, таб.5 в зависимости от производительности.

8. Скорость воздуха м\сек.

$$V = V_{\text{д.к.}} \cdot 3600 \cdot f$$

$V_{\text{д.к.}}$  – необходимый расход воздуха в декарбонизаторе, м<sup>3</sup>\час. (по расчету)

$f$ - площадь поперечного сечения в декарбонизаторе, м<sup>2</sup> (расчет).

9. Высота насадки, м

$$h = W \cdot f$$