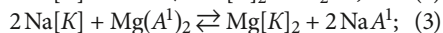
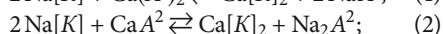
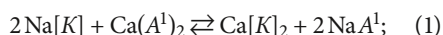


Состав сточных вод от автоматических натрий-катионитовых фильтров

В процессе проектирования технологической схемы химической водоподготовки (ХВО) с использованием автоматического фильтра умягчения методом Na-катионирования в пояснительной записке обязательно должна содержаться информация об объёме сточных вод, концентрации и массе загрязнений, сбрасываемых вместе с ними в городской коллектор или на рельеф местности.

С целью формализации расчёта загрязнений в сточных водах от Na-катионитового фильтра приняты допущения: в исходной воде, поступающей на умягчение, отсутствуют взвешенные вещества, железо и марганец; в процессе умягчения из исходной воды полностью удаляются ионы кальция Ca^{2+} и магния Mg^{2+} .

При умягчении воды методом Na-катионирования в молекулярной структуре сильноокислотного катионита происходит замена ионов натрия Na^+ на ионы жёсткости общей Ca^{2+} и Mg^{2+} , содержащиеся в умягчаемой воде. Процесс Na-катионирования в общем виде может быть описан следующими уравнениями:

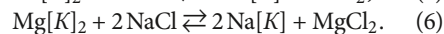


где $[K]$ — нерастворимая матрица полимера (сильноокислотного катионита); A^i — отрицательно заряженные ионы (анионы), содержащиеся в исходной воде; i — валентность анион-иона.

При исчерпании рабочей обменной ёмкости (РОЕ) фильтра умягчения он выводится из режима сервиса (умягчения) в режим регенерации. Регенерация фильтра состоит из нескольких этапов: обратная промывка, «засаливание» (обработка реагентом), прямая промывка и заполнение реагентного бака. На этапе «засаливание» производится обработка фильтрующей ионообменной загрузки раствором хлорида натрия NaCl . При этом ионы натрия Na^+ вытесняют из молекулярной структуры сильноокислотного катионита задержанные ионы Ca^{2+} и Mg^{2+} и занимают своё законное место, вновь перево-

При умягчении воды методом Na-катионирования в структуре сильноокислотного катионита происходит замена ионов натрия Na^+ на ионы жёсткости общей Ca^{2+} и Mg^{2+} , содержащиеся в умягчаемой воде

дя катионит в натриевую форму. Процесс регенерации описывается уравнениями:



Из формул (5), (6) следует, что в процессе автоматического фильтра умягчения в процессе регенерации поступают хлорид кальция CaCl_2 и хлорид магния MgCl_2 . При этом суммарное количество ионов Ca^{2+} и Mg^{2+} принимается равным рабочей обменной ёмкости (РОЕ) установки умягчения, численное значение которой должно быть приведено в паспорте на установку, например в [1]. Согласно [2], общая жёсткость природной воды может быть вычислена по формуле:

$$J_o = J_{\text{Ca}} + J_{\text{Mg}}, \quad (7)$$

где J_o — общая жёсткость, °Ж (мг-экв/л);

J_{Ca} — кальциевая жёсткость, мг-экв/л;

J_{Mg} — магниевая жёсткость, мг-экв/л.

Кальциевая жёсткость определяется:

$$J_{\text{Ca}} = C_{\text{Ca}}/20, \quad (8)$$

а магниевая жёсткость как:

$$J_{\text{Mg}} = C_{\text{Mg}}/12, \quad (9)$$

где C_{Ca} и C_{Mg} — концентрации ионов Ca^{2+} и Mg^{2+} в исходной воде, соответственно, мг/л; 20 — концентрация кальция, численно равная половине его моля, выраженная в мг/дм³ (г/м³); 12 — концентрация магния, численно равная половине его моля, выраженная в мг/дм³ (г/м³) [3].

Доля кальциевой жёсткости J_{Ca} в составе общей жёсткости J_o вычисляется:

$$K_{\text{Ca}} = J_{\text{Ca}}/J_o, \quad (10)$$

доля магниевой жёсткости J_{Mg} в составе общей жёсткости J_o — по формуле:

$$K_{\text{Mg}} = J_{\text{Mg}}/J_o. \quad (11)$$

Проверку правильности расчётов, выполненных по формулам (8)–(11), можно провести по формуле:

$$K_{\text{Ca}} + K_{\text{Mg}} = 1. \quad (12)$$

Рецензия эксперта на статью получена 20.11.2024 [The expert review of the article was received on November 20, 2024]

УДК 628.164.081.312.32; 628.312.2. Научная специальность: 2.1.4.

Состав сточных вод от автоматических натрий-катионитовых фильтров

Е. К. Злобин, д.т.н., доцент, начальник технического управления компании ООО «Гевфен» (г. Тула)

Приведена методика определения концентрации загрязнений в сточной воде от промывки автоматических фильтров умягчения методом натрий-катионирования.

Ключевые слова: натрий-катионитовый фильтр, умягчение, натрий, хлориды, кальций, магний, рабочая обменная ёмкость.

UDC 628.164.081.312.32; 628.312.2. Number of scientific speciality: 2.1.4.

The composition of wastewater from automatic sodium-cationite filters

E. K. Zlobin, Doctor of Technical Sciences, Docent, Head of the Technical Department of "Geffen", LLC (Tula city)

A method for determining the concentration of pollutants in wastewater from washing automatic softening filters by sodium cationation is presented.

Keywords: sodium-cationite filter, softening, sodium, chlorides, calcium, magnesium, working exchange capacity.

Часть POE , используемая на изъятие катионов кальция Ca^{2+} в процессе умягчения воды, рассчитывается по формуле:

$$POE_{Ca} = POE_{K_{Ca}}, \quad (13)$$

где POE — рабочая обменная ёмкость ионообменной смолы, загруженной в установку умягчения, г-экв; POE_{Ca} — часть POE , используемая на изъятие катионов кальция Ca^{2+} , г-экв. Соответственно, часть POE , используемая на изъятие катионов магния Mg^{2+} в процессе умягчения воды, рассчитывается по формуле:

$$POE_{Mg} = POE_{K_{Mg}}, \quad (14)$$

где POE_{Mg} — часть POE , используемая на изъятие катионов магния Mg^{2+} , г-экв.

Масса задержанных катионов Ca^{2+} за один фильтроцикл умягчения может быть вычислена по формуле:

$$M_{Ca} = POE_{Ca} \cdot 20, \quad (15)$$

где M_{Ca} — масса задержанных катионов Ca^{2+} в установке умягчения за один фильтроцикл, г. Соответственно, масса задержанных катионов Mg^{2+} за один фильтроцикл умягчения вычисляется как:

$$M_{Mg} = POE_{Mg} \cdot 12, \quad (16)$$

где M_{Mg} — масса задержанных катионов Mg^{2+} в установке умягчения за один фильтроцикл, г.

Если в процессе регенерации установки умягчения используется очищенная (умягченная) вода, то средняя концентрация ионов кальция в промывной воде определяется по формуле:

$$C_{Ca}^{per} = M_{Ca} / W_{per}, \quad (17)$$

а средняя концентрация ионов магния:

$$C_{Mg}^{per} = M_{Mg} / W_{per}, \quad (18)$$

где C_{Ca}^{per} и C_{Mg}^{per} — средние концентрации ионов кальция и магния в промывной воде от установки умягчения, г/м³ (мг/л); W_{per} — объём промстока (промывных вод), сбрасываемый за одну регенерацию установки умягчения в канализацию, м³. Значение W_{per} также должно быть приведено в паспорте на установку умягчения, например, в [1].

Но в современных технологических схемах ХВО автоматические автономные фильтры умягчения в большинстве случаев промываются не очищенной (умягченной), а исходной водой с концентрацией ионов кальция C_{Ca} и ионов магния C_{Mg} . Тогда средние концентрации ионов кальция и магния в промывной воде от установки умягчения рассчитываются по следующим формулам, соответственно:

$$C_{Ca}^{per} = C_{Ca} + M_{Ca} / W_{per}; \quad (19)$$

$$C_{Mg}^{per} = C_{Mg} + M_{Mg} / W_{per}. \quad (20)$$

Согласно формулам (5) и (6), для регенерации сильнокислотного катионита в натриевой форме используется раствор хлорида натрия $NaCl$. Доза реагента $NaCl$, расходуемая при проведении одной реге-

Для расчета концентрации загрязнений от Na-катионитового фильтра необходимо знать рабочую обменную емкость загрузки, дозу реагента NaCl, объем сточных вод, а также исходную концентрацию ионов

нерации, для каждой конкретной установки умягчения указывается в её техническом паспорте, например, в [1].

С целью обеспечения устойчивого проведения процесса регенерации в одном направлении и сдвига химических реакций регенерации (5) и (6) вправо доза реагента $NaCl$ принимается с избытком по сравнению со стехиометрическими уравнениями. Поэтому расчёты концентраций ионов натрия Na^+ и хлорид-ионов Cl^- в промстоке установки умягчения должны проводиться исходя из дозы реагента $NaCl$. Молекулярная масса $NaCl$ рассчитывается по уравнению:

$$23 + 35,5 = 58,5, \quad (21)$$

где 23 — масса атома натрия Na , а.е.м.; 35,5 — масса атома хлора Cl , а.е.м.

Доля ионов натрия Na^+ в соединении $NaCl$ составляет:

$$K_{Na} = 23/58,5 = 0,393. \quad (22)$$

Доля хлоридов Cl^- в соединении $NaCl$ составляет:

$$K_{Cl} = 35,5/58,5 = 0,607. \quad (23)$$

По формуле (24) проводится проверка:

$$K_{Na} + K_{Cl} = 1. \quad (24)$$

Исходя из дозы реагента и выражения (22) можно найти массу ионов натрия в растворе реагента $NaCl$:

$$M_{Na} = D_{NaCl} \cdot K_{Na}, \quad (25)$$

где M_{Na} — масса ионов натрия в растворе реагента $NaCl$, кг (г); D_{NaCl} — доза реагента $NaCl$ на регенерацию, кг (г).

В процессе регенерации ионообменная смола забирает часть ионов натрия, масса которых может быть определена как:

$$M_{Na}^{per} = POE \cdot 23, \quad (26)$$

где M_{Na}^{per} — масса ионов натрия, используемых на регенерацию ионообменной смолы, кг (г).

Не использованные в процессе регенерации ионы натрия направляются с промывными водами в канализацию. Масса избытка ионов натрия вычисляется как:

$$\Delta M_{Na} = M_{Na} - M_{Na}^{per}, \quad (27)$$

где ΔM_{Na} — масса избытка ионов натрия, не принимающих участия в регенерации, то есть в процессе ионного обмена, кг (г).

Если при регенерации установки умягчения используется вода, не содержащая ионов натрия, то средняя концентрация ионов натрия в промывной воде рассчитывается по формуле:

$$C_{Na}^{per} = \Delta M_{Na} / W_{per}, \quad (28)$$

где C_{Na}^{per} — концентрация ионов натрия в промывной воде, г/м³ (мг/л).

Если при регенерации установки умягчения используется вода, содержащая ионы натрия, то средняя концентрация ионов натрия в промывной воде рассчитывается по формуле:

$$C_{Na}^{per} = C_{Na} + \Delta M_{Na} / W_{per}, \quad (29)$$

где C_{Na} — концентрация ионов натрия в воде, используемой при регенерации установки умягчения, г/м³ (мг/л).

Массу хлорид-ионов в растворе реагента $NaCl$ можно найти по формуле:

$$M_{Cl} = D_{NaCl} \cdot K_{Cl}, \quad (30)$$

где M_{Cl} — масса хлорид-ионов в растворе реагента $NaCl$, кг (г).

Если при регенерации установки умягчения используется вода, не содержащая хлорид-ионов, то средняя концентрация хлоридов в промывной воде рассчитывается по формуле:

$$C_{Cl}^{per} = M_{Cl} / W_{per}, \quad (31)$$

где C_{Cl}^{per} — средняя концентрация хлоридов в промывной воде, г/м³ (мг/л).

Если при регенерации установки умягчения используется вода, содержащая хлорид-ионы, то средняя концентрация хлоридов в промывной воде рассчитывается по формуле:

$$C_{Cl}^{per} = C_{Cl} + M_{Cl} / W_{per}, \quad (32)$$

где C_{Cl} — концентрация хлоридов в воде, используемой при регенерации установки умягчения, г/м³ (мг/л).

Таким образом, представлены алгоритмы нахождения в промывной воде концентраций ионов Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ и Cl^- . Концентрации других примесей, содержащихся в промывной воде, будут равны концентрациям этих примесей в воде, используемой при регенерации Na -катионитовых фильтров.

Выводы

1. Для расчёта концентраций загрязнений в промывной воде от Na -катионитового фильтра необходимо знать рабочую обменную ёмкость фильтрующей загрузки, дозу реагента $NaCl$ на одну регенерацию, объём сточных вод, образующихся при регенерации, а также концентрацию в исходной воде ионов кальция, магния, натрия и хлоридов.
2. Концентрации других примесей, содержащихся в промывной воде, будут равны концентрациям этих примесей в воде, используемой при регенерации фильтра. ●

1. Установка умягчения периодического действия «Ёлка. WS-1,0... 4,0-Rx-(SC)»: Руководство по монтажу и эксплуатации. — Тула: ООО «Гейфен», 2022. 26 с.
2. Клячко В.А., Апельцин И.Э. Очистка природных вод. — М.: Стройиздат, 1971. 579 с.
3. ГОСТ 31865-2012. Вода. Единица жёсткости / Дата введ.: 01.01.2014.

References — see page 80.

The composition of wastewater from automatic sodium-cationite filters.
Pp. 14–15.

Evgeniy K. Zlobin, Doctor of Technical Sciences, Docent, Head of the Technical Department of “Geffen”, LLC (Tula city)

-
1. *Ustanovka umjagchenija periodicheskogo dejstvija “Yolka.WS-1.0... 4.0-Rx-(SC)”* [“Yolka.WS-1.0 4.0-Rx-(SC)” intermittent water softening unit. Installation and operation manual]. Tula. OOO “Geffen” [“Geffen”, LLC]. 2022. 26 p. [In Russian]
 2. V.A. Klyachko, I.Je. Apeltsin. *Ochistka prirodnnykh vod* [Purification of natural waters]. Moscow. Strojizdat [Publishing House of Literature on the Construction and Architecture (“Stroiizdat” Publishers)]. 1971. 579 p. [In Russian]
 3. GOST 31865–2012 [The State Industry Standard of Russia No. 31865–2012]. *Voda. Edinit-sa zhjostkosti* [Water. Hardness unit]. Date of impl.: January 1, 2014. [In Russian]