

УДК 546.06:51-74

А. Р. Камалиева, И. Д. Сорокина, А. Ф. Дресвянников

**КОМПЛЕКСНАЯ ОЦЕНКА КАЧЕСТВА АЛЮМО- И ЖЕЛЕЗОСОДЕРЖАЩИХ РЕАГЕНТОВ
ДЛЯ ОЧИСТКИ ВОДЫ**

Ключевые слова: единственный показатель качества, комплексный показатель качества, комплексная оценка уровня качества, неорганические коагулянты, очистка воды.

Предложены различные модели комплексных показателей качества алюмо- и железосодержащих коагулянтов для очистки воды и методы их расчета для поддержки принятия решения о качестве; описаны методики расчета комплексного показателя качества. Проведена комплексная оценка уровня качества алюмо- и железосодержащих коагулянтов для очистки воды по разным методикам.

Keywords: single indicator of quality, complex quality index, complex estimation the quality level, inorganic coagulants, water treatment.

Different models of integrated indicators of quality of aluminum- and iron-containing coagulants for water treatment and methods to support decision-making about the quality are proposed, methods of calculating the complex quality index are describes. The complex assessment of the quality level of aluminum- and iron-containing coagulants for water treatment by different methods carried out.

В процессах реагентной очистки воды наиболее массово применяют алюмо- и железосодержащие коагулянты.

В водоподготовке используют следующие алюмосодержащие коагулянты: сульфат алюминия (СА), оксихлорид алюминия (ОХА), алюминат натрия и, в меньшей степени, хлорид алюминия (табл. 1) [1].

Таблица 1 – Алюмосодержащие коагулянты

Коагулянт	Формула	Содержание, % по массе	
		Al ₂ O ₃	нерастворимых примесей
Сульфат алюминия неочищенный	Al ₂ (SO ₄) ₃ ·18H ₂ O	> 9	< 30
Сульфат алюминия очищенный	Al ₂ (SO ₄) ₃ ·18H ₂ O	> 13,5	< 1
	Al ₂ (SO ₄) ₃ ·14H ₂ O	17-19	–
	Al ₂ (SO ₄) ₃ ·12H ₂ O	28,5	3,1
Оксихлорид алюминия	Al ₂ (OH) ₅ Cl·6H ₂ O	40-44	–
Алюминат натрия	NaAlO ₂	45-55	6-8
Полиоксихлорид алюминия	Al _n (OH) _m Cl _{3n-m} , где n > 13	30 ± 3	–

Сульфат алюминия (Al₂(SO₄)₃·18H₂O) – неочищенный технический продукт, представляющий собой куски серовато-зеленоватого цвета, получаемые путем обработки бокситов, нефелинов или глин серной кислотой [2]. Он должен иметь не менее 9% Al₂O₃, что соответствует содержанию порядка

30% чистого сульфата алюминия. В нем также содержится около 30% нерастворимых примесей и до 35% кристаллизационной воды.

Очищенный СА (ГОСТ 12966-85) получают в виде плит серовато-перламутрового цвета из неочищенного продукта или глинозема растворением в серной кислоте [3]. Он должен иметь не менее 13,5% Al₂O₃, что соответствует содержанию 45% сульфата алюминия.

В России для обработки воды выпускается также 23-25%-ный раствор сульфата алюминия. При его применении отпадает необходимость в специальном оборудовании для растворения коагулянта, а также упрощаются и удешевляются погрузочно-разгрузочные работы и транспортирование [4].

В холодное время года при обработке воды с повышенным содержанием природных органических веществ используется оксихлорид алюминия [5]. ОХА известен под различными тривиальными наименованиями: полиалюминий гидроксид, хлоргидроксид алюминия, основной хлорид алюминия и др. и имеет общую формулу Al(OH)_mCl_{3n-m}. При обработке воды указанные соединения могут образовывать мономерные, полимерные и аморфные структуры [5].

Неорганический катионный коагулянт ОХА обладает способностью образовывать комплексные соединения с широким спектром органических и неорганических веществ в воде. Практика применения ОХА продемонстрировала ряд преимуществ, напрямую влияющих на экономические показатели его использования (в том числе и в сравнении с традиционно используемым СА) [5]:

- представляя собой частично гидролизованную соль, ОХА обладает большей способностью к полимеризации, что ускоряет хлопьеобразование и осаждение коагулированной взвеси;
- подтверждена работа ОХА в более широком диапазоне рН по сравнению с СА;

- снижение щелочности при коагулировании ОХА существенно меньше. Это, наряду с отсутствием добавления сульфатов, приводит к снижению коррозионной активности воды, исключению стабилизационной обработки, улучшению состояния водопроводов городской распределительной сети и сохранению потребительских свойств воды при транспортировании, а также позволяет полностью отказаться от использования щелочных агентов и приводит к экономии таковых на средней станции водоочистки до 20 тонн ежемесячно;

- низкое остаточное содержание алюминия при высоких вводимых дозах;

- снижение рабочей дозы коагулянта в 1,5-2,0 раза по сравнению с СА;

- поставка в готовом рабочем растворе, что позволяет отказаться от процесса растворения коагулянта, приводя к экономии электроэнергии на размешивании на средней станции до 100 тыс. кВт/час ежегодно;

- снижение трудоемкости и эксплуатационных затрат по хранению, приготовлению и дозированию реагента, улучшение санитарно-гигиенических условий труда.

Алюминат натрия NaAlO_2 представляет собой твердые куски белого цвета с перламутровым блеском на изломе, получаемые растворением гидроксида или оксида алюминия в растворе гидроксида алюминия [3]. Сухой товарный продукт содержит 55% Al_2O_3 , 35% Na_2O и до 5% свободной щелочи NaOH . Растворимость $\text{NaAlO}_2 - 370$ г/л (при 20°C). Насыпная масса 1,2-1,8 т/м³.

Хлорид алюминия AlCl_3 – белый кристаллический порошок плотностью 2,47 г/см³, с температурой плавления $192,4^\circ\text{C}$ [2]. Растворимость хлорида алюминия в 100 г воды при 20°C составляет 46 г, в горячей воде соединение разлагается. Из водных растворов кристаллизуется $\text{AlCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ с плотностью 2,4 г/см³, расплывающийся на воздухе. При нагревании отщепляет воду и HCl с образованием Al_2O_3 . При низких температурах воды в паводковый период в качестве коагулянта возможно использование гидроксида алюминия [3].

В процессах водоподготовки применяют следующие железосодержащие коагулянты: хлорид железа, сульфаты железа(II) и железа(III), хлорированный железный купорос (табл. 2).

Таблица 2 – Железосодержащие коагулянты

Коагулянт	Формула	Содержание, вес. %	
		Fe_2O_3	нерастворимых примесей
Хлорид железа	$\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	> 95	–
Сульфат железа(II) (Железный купорос)	$\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	> 47	< 1
Сульфат железа(III)	$\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	68-76	< 40

Хлорид железа ($\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) (ГОСТ 11159-86) представляет собой темные с металлическим блеском кристаллы, очень гигроскопичные, поэтому транспортируют его в железных герметичных бочках [6]. Получают безводное хлорное железо хлорированием стальной стружки при температуре 700°C , а также как побочный продукт при производстве хлоридов металлов горячим хлорированием руд. Товарный продукт содержит не менее 98% FeCl_3 . Плотность 1,5 г/см³.

Сульфат железа(II) (СЖ) $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ (железный купорос по ГОСТ 6981-85) представляет собой прозрачные зеленовато-голубые кристаллы, легко бурящие на воздухе в результате окисления железа(II) [6]. Товарный продукт выпускается двух марок (А и Б), содержащих соответственно не менее 53% и 47% FeSO_4 , не более 0,25-1% свободной H_2SO_4 и не более 0,4-1% нерастворимого осадка. Плотность реагента – 1,5 г/см³. Этот коагулянт может применяться при $\text{pH} > 9-10$. Для уменьшения концентрации растворённого гидроксида железа(II) при более низких величинах pH проводят окисление двухвалентного железа в трёхвалентное.

Промышленность выпускает также и 30%-ный раствор сульфата железа(II), содержащий до 2% свободной серной кислоты. Транспортируют его в гуммированной таре [3].

Окисление гидроксида железа(II), образующегося при гидролизе СЖ при pH воды менее 8, протекает медленно, что приводит к неполному его осаждению и неудовлетворительному коагулированию [5]. Поэтому перед вводом СЖ в воду добавляют известь или хлор, либо оба реагента вместе, усложняя и удорожая тем самым технологический процесс. В связи с этим, СЖ используют, главным образом, в технологии известкового и известково-содового умягчения воды, когда при устранении магниевой жесткости значение pH поддерживают в пределах 10,2-13,2 и, поэтому соли алюминия не применимы.

Сульфат железа(III) $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ получают растворением оксида железа в серной кислоте [6]. Продукт кристаллический, очень гигроскопичный, хорошо растворяется в воде. Плотность его – 1,5 г/см³. Использование солей железа(III) в качестве коагулянта предпочтительнее по сравнению с сульфатом алюминия. При их применении улучшается коагуляция при низких температурах воды, на процесс мало влияет pH среды, ускоряется декантация скоагулированных примесей и уменьшается время отстаивания (плотность хлопьев гидроксида железа(III) в 1,5 раза больше, чем гидроксида алюминия). К числу недостатков солей железа(III) как коагулянтов относится необходимость их точной дозировки, так как ее нарушение приводит к проникновению железа в фильтрат. Хлопья гидроксида железа(III) осаждаются неравномерно, в связи с чем, в воде остается большое количество мелких хлопьев, поступающих на фильтры. Эти недостатки в значительной мере устраняются при добавлении СА.

Хлорированный железный купорос $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3 + \text{FeCl}_3$ получают непосредственно на водоочистных комплексах обработкой раствора СЖ

хлором, вводя на 1 г $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 0,160-0,220 г хлора [5].

Положительное качество солей железа как коагулянтов – высокая плотность гидроксида, обеспечивающая получение плотных, тяжёлых хлопьев, оседающих с большой скоростью.

Коагуляция с использованием солей железа неприемлема для сточных вод, содержащих фенолы, так как образующиеся растворимые в воде феноляты железа интенсивно окрашены. Кроме того, гидроксид железа является катализатором, способствующим окислению некоторых органических веществ и образующим комплексные окрашенные соединения, растворимые в воде.

Смешанный алюможелезный коагулянт получают из растворов СА и хлорного железа в пропорции 1:1 (по массе) [7]. Рекомендуемое соотношение может изменяться в конкретных условиях работы очистных сооружений. Максимальное отношение FeCl_3 к $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ при применении смешанного коагулянта по массе равно 2:1. Преимущества смешанного коагулянта: повышение эффективности очистки воды при низких температурах и улучшение седиментационных свойств хлопьев. Применение смешанного коагулянта позволяет существенно сократить расход реагентов. Составные части смешанного коагулянта можно вводить как отдельно, так и предварительно смешав растворы. Первый способ более гибок при переходе от одного оптимального соотношения реагентов к другому, однако, при втором – проще осуществлять дозирование. Однако трудности, связанные с хранением и приготовлением коагулянта, а также возможность повышения содержания ионов железа в очищенной воде при нарушении технологического процесса, ограничивают применение смешанного коагулянта.

В отдельных публикациях отмечено, что применение смешанных коагулянтов в ряде случаев обеспечивает наибольшую эффективность процесса осаждения дисперсной фазы, высокое качество очистки от взвешенных частиц и снижение расхода реагентов [7-10].

При предварительном отборе коагулянтов и флокулянтов как для лабораторных, так и для окончательных промышленных целей, необходимо принимать во внимание следующие параметры [3]:

1. Характеристики очищаемой воды: рН; содержание сухого вещества (г/л); потребность в ионах; соотношение минеральных и органических веществ и т. п.

2. Эксплуатационный режим: возможность мгновенного смешивания; условия смешивания; продолжительность контакта; продолжительность отстаивания и т. п.

3. Результаты, которые необходимо оценивать: взвешенные частицы; мутность; цвет; ХПК; скорость отстаивания.

Уровень качества продукции – относительная характеристика качества, основанная на сравнении значений ПК оцениваемой продукции с базовыми значениями соответствующих показателей [11].

Оценка уровня качества продукции производится для объективного решения следующих основных задач:

- обеспечение качества и управление качеством;
- аттестация продукции по категориям качества;
- выбор наилучшего (или оптимального) варианта продукции;
- контроль качества;
- анализ изменения уровня качества [12].

Проблема комплексной оценки уровня качества химических объектов, в частности, химической продукции рассматривается российскими учеными. Имеется ряд разработок для комплексной оценки различных свойств водных систем.

Так, в исследовании [13] разработаны индексно-балльные методы оценки устойчивости водоемов и водотоков к изменению параметров режимов, а также модели и методы интегральной оценки устойчивости водных объектов к изменению параметров естественного и антропогенного режимов; построение интегральных показателей для моделей выполняется на основе метода сводных показателей и метода рандомизированных сводных показателей. Разработаны также алгоритмы построения интегральных показателей на основе репрезентативных критериев, непрерывных оценочных шкал и обоснованных приоритетов оценивания как в условиях дефицита информации о них, так и в условиях достаточного информационного обеспечения.

В работе [14] предложены алгоритмы применения обобщенной функции желательности для комплексной оценки качества сточных вод как многокомпонентных систем, которые позволяют сжать объем исходной информации, оперировать большими массивами данных, а также удовлетворяют требованиям адекватности, массовости, результативности и детерминированности. Введение весовых коэффициентов при расчете ОФЖ повысило степень дискриминации сравниваемых проб сточных вод, как по их химическому составу, так и токсичности. Применение ОФЖ дало возможность сравнивать качество возвратных вод в едином масштабе квалификационных оценок. При помощи предложенных алгоритмов проведена экодиагностика сточных вод, сбрасываемых из выпусков предприятий, позволившая ранжировать выпуски по качеству отводимых вод, определить приоритетные загрязняющие вещества в сточных водах каждого выпуска, а также оценить динамику качества возвратных вод в течение многолетнего периода.

В методических рекомендациях МР 2.1.4.0032-11 приведен порядок выполнения интегральной оценки питьевой воды централизованных систем водоснабжения по показателям химической безвредности на основе моделей оценки риска для здоровья населения. Методические рекомендации предназначены для оценки питьевой воды из поверхностных источников водоснабжения, но могут использоваться и для оценки питьевой воды из подземных источников водоснабжения [15].

В работе [16] предлагается полипараметрическая матричная экспресс-методика оценки реакгентной очистки вод как первый, безаналитический, этап выбора оптимального реагента. При этом выбранные, как наилучшие, технологические параметры реагентов на втором этапе сопровождаются аналитическим контролем обработанных вод. Суть методики заключается в следующем:

- составляется перечень возможных способов реакгентной обработки (выбирается тип коагулянта, флокулянта или их смеси и порядок их введения);

- по каждому из способов проводится пробное коагулирование;

- по его результатам оцениваются качественные показатели (например, степень осветления, объем шлама (или пены), pH жидкости, доза и количество введенных реагентов) каждого из способов очистки по 5-балльной шкале: 1 балл – «отличный результат», 2 – «хороший», 3 – «удовлетворительный», 4 – «плохой», 5 – «неприемлемый»;

- составляется сводная таблица, в которой по каждому из способов находится сумма рангов (баллов). При этом минимальная сумма является наилучшей и указывает на наиболее экологичный, экономичный и технологически эффективный способ очистки.

Таким образом, квалиметрический подход используется для оценки уровня качества (ПК) воды, материалов, некоторых видов химической продукции и т.д. Комплексная оценка качества коагулянтов для очистки воды и методический подход к ее реализации практически отсутствуют. В этой связи актуальным является применение квалиметрического подхода для комплексной оценки уровня качества коагулянтов.

Экспериментальная часть

Математические модели комплексного уровня качества

Комплексная оценка уровня качества s -го объекта представляет собой безразмерное число K_s (комплексный ПК), которое является многомерной функцией оценок единичных показателей

$$K_s = \varphi(q_{1s}, q_{2s}, \dots, q_{ms}), \quad (1)$$

Не существует каких-либо строгих доказательств относительно выбора функции (1). На практике применяют средневзвешенные оценки уровня качества, формируемые одним из указанных ниже способов.

а) Средневзвешенная арифметическая оценка комплексного уровня качества выглядит следующим образом

$$K_s = \sum_{j=1}^m \alpha_j q_{js} \quad \text{при} \quad \sum_{j=1}^m \alpha_j = 1; \quad (2)$$

$$q_{js} \text{ принадлежит } [0; 1], \quad (2)$$

где α_j – коэффициент весомости j -го показателя относительно других показателей ($j = 1, 2, \dots, n$); q_{js} – относительный j -ый ПК для s -го объекта.

Данная модель часто адекватна задачам получения наибольшего суммарного эффекта, когда считается допустимым, что низкое значение одного

показателя может компенсироваться высокой ценностью другого показателя.

б) Средневзвешенная геометрическая оценка комплексного уровня качества имеет вид

$$K_s = \prod_{j=1}^m q_{js}^{\alpha_j} \quad \text{при} \quad \sum_{j=1}^m \alpha_j = 1, \quad (3)$$

Подобная модель соответствует задачам, в которых допускается, что относительное изменение обобщенной оценки равно сумме относительных изменений частных оценок. Следовательно, относительное снижение одного показателя может компенсироваться относительным увеличением другого.

в) Средневзвешенная гармоническая оценка комплексного уровня качества записывается в виде

$$K_s = \left(\sum_{j=1}^m \alpha_j q_{js}^{-1} \right)^{-1}, \quad \text{при} \quad \sum_{j=1}^m \alpha_j = 1, \quad (4)$$

г) Средневзвешенная квадратическая оценка комплексного уровня качества равна

$$K_s = \left(\sum_{j=1}^m \alpha_j q_{js}^2 \right)^{0,5}, \quad \text{при} \quad \sum_{j=1}^m \alpha_j = 1, \quad (5)$$

д) Модернизированная квадратическая оценка комплексного уровня качества определяется формулой

$$K_s = 1 - \left[\sum_{j=1}^m \alpha_j (1 - q_{js})^2 \right]^{0,5}, \quad \text{при} \quad \sum_{j=1}^m \alpha_j = 1, \quad (6)$$

В данном случае сначала находят средневзвешенную квадратическую оценку «удаленности» объекта от базового образца («расстояние» от оценки до оценки базового образца, принятого за 1), а затем уже саму оценку объекта.

Предпочтительнее работать с нормированной математической моделью уровня качества. Для этого при использовании базового образца принимают $q_{j\beta} = 1$ и $K_\beta = 1$, т.е. полагают, что по всем единичным ПК базовый образец является лучшим (даже в отсутствии реального базового образца полагают, что комплексный ПК равен 1).

Геометрическая модель комплексного ПК

Методика комплексной оценки уровня качества заключается в построении геометрической модели комплексного показателя качества. Для этого используются наиболее важные единичные ПК неорганических коагулянтов (важность определяется задачей использования коагулянта, в частности, входными характеристиками очищаемой воды).

1. Переводят значения ПК в безразмерный вид. Для этого используют формулы:

$$\alpha_j = P_j / P_{j\beta}, \quad (7)$$

$$\alpha_j = P_{j\beta} / P_j, \quad (8)$$

где P_j – числовое значение j -го показателя качества оцениваемой продукции; $P_{j\beta}$ – числовое значение j -го показателя качества базового образца.

Формула (7) используется, когда увеличению абсолютного значения ПК соответствует улучшение качества продукции. По формуле (8) относительный показатель качества определяется тогда,

когда увеличение абсолютного значения показателя соответствуют ухудшению качества продукции.

2. От начала декартовой системы координат против часовой стрелки в порядке возрастания значимости соответствующих свойств строят векторы длиной q_j . Соединяют концы векторов a_j ($j = 1, 2, \dots, m$) – получают m -угольник M .

3. Определяют центр тяжести m -угольника M .

4. Проводят вектор r_C – направленный из начала координат к точке центра тяжести $C(x_C, y_C)$.

5. Отмечают угол φ_C – образованный вектором r_C при вращении в направлении значимости единичных показателей q_j (против часовой стрелки), рассчитывают r_C и φ_C по формулам:

$$r_C = \sqrt{x_C^2 + y_C^2}, \quad (9)$$

$$\varphi_C = \arccos \frac{x_C}{\sqrt{x_C^2 + y_C^2}}, \quad (10)$$

6. Рассчитывают комплексный показатель качества – площадь сектора, образованного векторами r_C и углом φ_C по формуле:

$$K_s = u(r_C, \varphi_C) = \frac{1}{2} r_C^2 \varphi_C, \quad (11)$$

7. Сравнивают полученные результаты со значением базового образца. За значение базового образца принимают единицу.

Объекты исследования

Квалиметрическая оценка была проведена для коагулянтов, использовавшихся для очистки речной воды (исходная мутность 15 мг/л; pH 8,20 проба взята в теплое время года (весна)): алюможелезный коагулянт АЖК (патент РФ № 2418746); ПОХА «Аква-Аурат™ 10» (АА-10) ТУ 2163-069-00205067-2007.

Экспериментальное определение ПК

Для оценки качества экспериментально были определены ПК коагулянтов АЖК и АА-10 (физико-химические свойства этих коагулянтов представлены в таблице 3). Испытания коагулирующей способности АЖК проводили на природной поверхностной воде (р. Казанка) во время паводка (исходные показатели очищаемой воды представлены в табл. 4). Аналогичные испытания провели и для АА-10. Для определения ПК коагулянтов проводили следующее: брали фиксированное количество (100 мл) речной воды и дозировано добавляли коагулянт (доза от 0,5 до 5 мг/л). Проводили контроль по следующим ПК:

– водородный показатель pH по ГОСТ Р 51232-98 «Вода питьевая. Общие требования к организации и методам контроля качества»;

– цветность по ГОСТ 3351-74 «Вода питьевая. Методы определения вкуса, запаха, цветности и мутности»;

– мутность по ГОСТ 3351-74 «Вода питьевая. Методы определения вкуса, запаха, цветности и мутности»;

– содержание железа по ГОСТ 4011-72 «Вода питьевая. Методы измерения массовой концентрации общего железа»;

– содержание алюминия по ГОСТ 18165-89 «Вода питьевая. Метод определения массовой концентрации алюминия»;

– окисляемость по ИСО 8467-93 «Качество воды. Определение перманганатного индекса».

Таблица 3 – Физико-химические свойства коагулянтов

Свойства	АЖК	АА-10
Физическое состояние	Водный раствор, прозрачная коричневая жидкость с зеленым оттенком	Водный раствор, желтоватая прозрачная жидкость
Плотность (при 20 ⁰ С), г/см ³	1,130±0,018	1,240±0,02
Вязкость, мПа·с	2,630±0,013	–
pH	0,5-1,0	2,5±0,5
T замерзания, ⁰ С	-20	-15
T кипения, ⁰ С	100-120	100-120
Растворимость в воде, при 20 ⁰ С	Полная	Полная

Таблица 4 – Некоторые показатели качества природной воды до и после обработки коагулянтами

Показатели качества воды	Исходная вода	ПДК, СанПИН 2.1.4.1074-01	После обработки коагулянтами	
			АА-10	АЖК
pH	8,2	6,9	6,5	6,4
Цветность, ⁰	127,5	20	17,0	8,0
Мутность, мг/дм ³	15,0	2,0	1,0	1,2
Содержание железа, мг/дм ³	1,9	0,3	0,05	0,06
Содержание алюминия, мг/дм ³	0,5	0,5	0,02	0,005
Окисляемость, мг О/дм ³	7,87	5,0	4,56	4,5

Обсуждение результатов

Единичные ПК коагулянтов представлены в таблице 5.

Абсолютные значения ПК переводили в относительные по формулам (7) и (8). За значения показателей базового образца для ПК, регламентированных СанПИН 2.1.4.1074-01, брали соответствующие нормативы. Для ПК – эффективность очистки и содержание основного компонента – в каче-

стве базовых значений брали 100%. Для дозы коагулянта качестве базового брали значение наименьшего ПК. Единичные ПК воды, обработанной коагулянтом, в относительных единицах представлены в табл. 6.

Таблица 5 – Единичные ПК коагулянтов АА-10 и АЖК

ПК	АА-10	АЖК
Доза, мг/л	0,20	0,25
Мутность, мг/л	0	0
Цветность, ⁰	17,0	8,0
Содержание железа в очищенной воде, мг/л	0,05	0,06
Содержание алюминия в очищенной воде, мг/л	0,02	0,005
рН очищенной воды	–	–
Окисляемость мг О/дм ³	4,56	4,50
Содержание основного компонента, %	10,0	60,0
Стоимость единицы, руб.	37,0	9,0

Таблица 6 – Относительные единичные ПК коагулянтов

ПК	Нумерация для матрицы предпочтений	АА-10	АЖК
Доза, мг/л	1	1	0,8
Мутность, мг/л	2	1	1
Цветность, ⁰	3	1	1
Содержание железа в очищенной воде, мг/л	4	1	1
Содержание алюминия в очищенной воде, мг/л	5	0,75	1
рН очищенной воды	6	0,93	0,92
Окисляемость, мг О/дм ³	7	1	1
Содержание основного компонента, %	8	0,1	0,6
Стоимость единицы, руб.	9	0,24	1

В случае, когда ПК принимали значение больше единицы (т.е. ПК коагулянтов намного ниже ПДК), им также присваивали единицу.

Квалиметрическая оценка уровня качества по различным математическим моделям

Коэффициенты весомости ПК определяли методом попарного сопоставления. К этой процедуре было привлечено шесть экспертов. Пример матрицы с предпочтениями эксперта представлен в табл. 7.

Расчеты проводили по алгоритму, приведенному выше. Коэффициенты весомости представлены в табл. 8.

Таблица 7 – Матрица предпочтений эксперта 1

№	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1.	//	2	3	1	5	1	7	1	1
2.		//	2	2	5	2	7	2	9
3.			//	3	5	3	3	3	9
4.				//	5	4	7	4	9
5.					//	5	5	5	9
6.						//	7	6	9
7.							//	7	9
8.								//	9
9.									//

Таблица 8 – Коэффициенты весомости α_i ПК

ПК	α_i
Доза, мг/л	0,12
Мутность, мг/л	0,14
Цветность, ⁰	0,12
Содержание железа в очищенной воде, мг/л	0,06
Содержание алюминия в очищенной воде, мг/л	0,19
рН очищенной воды	0,04
Окисляемость, мг О/дм ³	0,13
Содержание основного компонента, %	0,01
Стоимость единицы, руб.	0,19

Проводили квалиметрическую оценку уровня качества по формулам (2) – (6), используя данные табл. 5-8. Полученные результаты сведены в табл. 9.

Все результаты оценки уровня качества практически коррелируют друг с другом, за исключением случая δ , что объясняется спецификой алгоритма расчета.

Таблица 9 – Результаты квалиметрической оценки уровня качества коагулянтов

Коагулянт	Вид комплексной оценки				
	Средневзвеш. арифметическая	Средневзвеш. геометрическая	Средневзвеш. гармоническая	Средневзвеш. квадратическая	Модернизированный квадратическая
АА-10	0,97	0,97	1,38	0,85	0,64
АЖК	0,8	0,7	1,06	0,76	0,92

Графическое представление результатов квалиметрической оценки представлено на рис. 1.

Из рис. 1 следует, что более предпочтительным коагулянтом для заданных условий эксплуатации является АА-10.

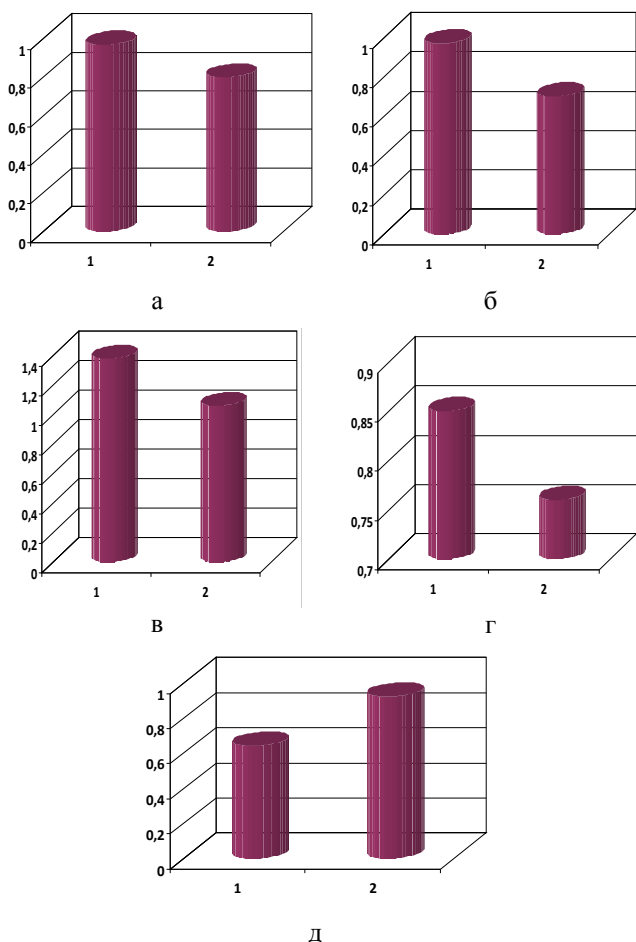


Рис. 1 – Результаты оценки уровня качества коагулянтов по различным математическим моделям: а) средневзвешенной арифметической; б) средневзвешенной геометрической; в) средневзвешенной гармонической; г) средневзвешенной квадратической; 1 – АА-10; 2 – АЖК

Квалиметрическая оценка коагулянтов, основанная на построении геометрической модели

Кроме того, проводили комплексную оценку АА-10 и АЖК с помощью геометрической модели по девяти показателям: доза, мг/л; мутность, мг/л; цветность, °; содержание железа в очищенной воде, мг/л; содержание алюминия в очищенной воде, мг/л; рН очищенной воды; окисляемость, мг О/дм³; содержание основного компонента, %; стоимость единицы, руб.

Полученные результаты представлены на рис. 2. Из рис. 2 очевидно, что оба коагулянта имеют практически одинаковое значение комплексного показателя качества (КПК).

Таким образом, по результатам проведенных комплексных оценок уровня качества коагулянтов, предлагается для выбора более предпочтительного реагента для заданных условий эксплуатации использовать различные математические модели. Геометрическая модель более трудоемка, однако не требует использования коэффициентов весомости ПК. Определение коэффициентов весомости – процедура субъективная и трудоемкая. В случае, если имеются коэффициенты весомости, для комплексной

оценки уровня качества коагулянтов удобнее использовать модели средневзвешенной арифметической и средневзвешенной геометрической оценок.

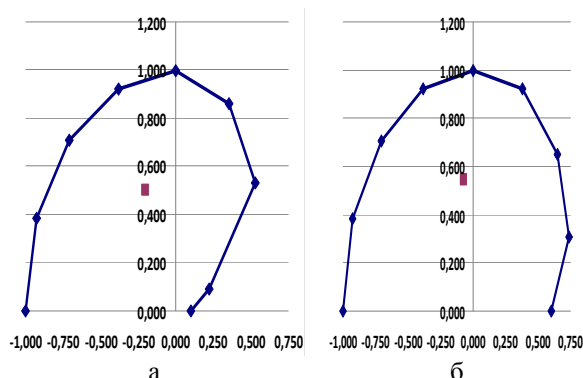


Рис. 2 – Оценка уровня качества коагулянтов с использованием геометрической модели: а) АА-10; б) АЖК

Литература

1. Фрог, Б.Н. Водоподготовка. – М.: МГУ, 2001. – 680 с.
2. Шевченко, Т.В. Прикладная и коллоидная химия: коагуляция и коагулянты. – Кемерово: Изд-во Кемеровского Технол. Ин-та Пищ. Пром-ти, 2007. – 144 с.
3. Гетманцев, С.В. Очистка промышленных сточных вод коагулянтами и флокулянтами / С.В. Гетманцев [и др.]. – М.: Изд-во Ассоциации строительных вузов, 2008. – 272 с.
4. Сорокина, И.Д. Получение, физико-химические и эксплуатационные свойства железо-алюминиевого коагулянта для очистки природных и сточных вод / И.Д. Сорокина, А.Ф. Дресвянников // Журнал «Вода: химия и экология». – 2009. – № 9. – С. 16-21.
5. Кульский, Л.А. Технология очистки природных вод / Л.А. Кульский, П.П. Строкач. – Киев: Вища школа, 1982. – 328 с.
6. Драгинский, В.Л. Коагуляция в технологии очистки природных вод / В.Л. Драгинский, Л.П. Алексеева, С.В. Гетманцев. – М.: ГУП ВИМИ, 2005. – 576 с.
7. Кульский, Л.А. Указания по применению смешанного алюможелезного коагулянта для осветления и осветления воды / Л.А. Кульский, А.М. Когановский. – Киев: Изд-во Акад. Архитектуры УССР, 1955. – 16 с.
8. Потанина, В.А. Эффективность применения алюможелезного коагулянта для очистки сточных вод / В.А. Потанина, А.А. Хачатуров, Л.И. Тонков // Водоснабжение и санитарная техника. – 2005. – № 3. – С. 36-39.
9. Мамченко, А.В. Смешанный хлорсодержащий коагулянт – реагент для очистки природной и сточной вод / А.В. Мамченко // Химия и технология воды. – 2008. – №3. – С.328-338.
10. Mamchenko, A.V. Efficiency of aluminium –iron coagulants when purifying water of clayey and humic matter / A.V. Mamchenko // Khimiya i tehnologia vody. – 2007. – №5. – P.433-443.
11. ИСО 8402:1994. Управление качеством и обеспечение качества. Словарь. – Введ. 93-01-07. – М.: Изд-во стандартов, 2003. – 15с.
12. Федюкин, В.К. Квалиметрия. Измерение качества промышленной продукции / В.К. Федюкин. – М.: Кнорус, 2010. – 320 с.
13. Примак, Е.А. Интегральная оценка устойчивости и экологического благополучия водных объектов: автореферат дис. ... канд. геогр. наук / Е.А. Примак. – СПб, 2009. – 17 с.

14. *Лисовенко, А.В.* Комплексная оценка качества сточных вод по показателям токсичности и химического состава в системе экологического мониторинга на примере предприятий машиностроительного комплекса: автореферат дис. ... канд. биол. наук / А.В. Лисовенко. – Н.Новгород, 2011. – 21с.
15. МР 2.1.4.0032-11. Интегральная оценка питьевой воды централизованных систем водоснабжения по показателям химической безвредности.
17. *Гурова, Е.В.* Сравнительная оценка и оптимизация методик выбора реагентов для очистки вод / Е.В. Гурова, Н.Н. Гризодуб // Науковедение. – 2012. – № 4 – С. 25-30.

© **А. Р. Камалиева** – магистрант кафедры аналитической химии, сертификации и менеджмента качества КНИТУ; **И. Д. Сорокина** – канд. техн. наук, доцент той же кафедры, nich140@mail.ru; **А. Ф. Дресвянников** – д-р хим. наук, проф. той же кафедры.