

Выбор оптимальных соотношений компонентов дезактивирующего раствора с помощью математического моделирования

Приведены результаты разработки дезактивирующего средства спецодежды и средств индивидуальной защиты путем наложения ограничений по компонентному составу и применения математического аппарата для определения оптимального варианта.

Ключевые слова: дезактивация, радиоактивные отходы, спецодежда, средства индивидуальной защиты.

В. Г. Иванец

Вибір оптимальних співвідношень компонентів дезактивирующего розчину за допомогою математичного моделювання

Наведено результати розробки дезактивирующего засобу спецодежды та засобів індивідуального захисту шляхом накладання обмежень за компонентним складом та застосування математичного апарату для визначення оптимального варіанта.

Ключові слова: дезактивація, радіоактивні відходи, спецодежда, засоби індивідуального захисту.

© В. Г. Иванец, 2011

Основным способом дезактивации спецодежды и средств индивидуальной защиты персонала в настоящее время является стирка. В то же время в процессе стирки происходит значительное образование жидких радиоактивных отходов (ЖРО), имеющих повышенное содержание поверхностно активных веществ (ПАВ) и других реагентов, препятствующих их эффективной переработке в дальнейшем — упариванию и цементации. Соответственно разработка новых малореагентных способов дезактивации спецодежды и средств индивидуальной защиты является актуальной задачей, решение которой позволит повысить экологическую безопасность радиационных технологий при условии сохранения или увеличения эффективности по сравнению с существующими аналогами.

Подбирая основные и вспомогательные компоненты рецептур, руководствуются тем, что современные моюще-дезактивирующие средства, независимо от товарной формы, должны быть удобными для использования, обеспечивать высокое моющее и дезактивирующее действие, предотвращать старение и разрушение дезактивируемых поверхностей, быть стабильными при хранении, легко выделяться из сточных вод или разлагаться, не нанося экологического ущерба окружающей среде. При этом дезактивирующие средства также должны способствовать снижению энергоемкости процесса стирки, сокращению образования ЖРО и уменьшению их содержания, а также снижению затрат на переработку и хранение ЖРО.

Поскольку максимально удовлетворить все требования невозможно ввиду их противоречивости, а иногда и взаимоисключения, каждая рецептура разрабатывалась исходя из понимания, что конечный продукт должен представлять собой разумный компромисс основных функциональных и эксплуатационных свойств, а также стоимости. В связи с этим задача выбора оптимальных дезактивирующих рецептур должна сводиться к разработке дезактивирующих средств, обладающих наилучшими моющими и дезактивирующими способностями при заданных себестоимости и уровне воздействия на окружающую среду. При этом производство дезактивирующих средств должно быть технологичным, а заложенные в рецептуру компоненты доступными.

Технология дезактивации спецодежды и средств индивидуальной защиты должна исключать возможность образования труднорастворимых соединений в процессе стирки и способствовать переводу загрязнения в раствор как в форме водорастворимых соединений, так и в солибилизированной форме дисперсных труднорастворимых соединений. Система водный растворитель — изделия — загрязнения — усилители характеризуется сложностью и многофакторностью. В качестве основных факторов, непосредственно влияющих на процесс дезактивации при разработке нового состава, с учетом режимов стирки, были выбраны следующие:

моющая способность как комплексный показатель оценки потребительских свойств моющих средств, определенный по степени восстановления белизны загрязненной ткани после одной стирки, т. е. по отношению белизны (коэффициента отражения) выстиранной ткани к белизне (коэффициенту отражения) белой незагрязненной ткани в процентах;

коэффициент дезактивации;

пенообразование исследуемых растворов.

Таблица 1. Показатели исследуемых дезактивирующих растворов

Показатель	Вариант дезактивирующего раствора			
	1	2	3	4
Компонент: алкилбензолсульфонат натрия	7,5	9	8	9
стеарат натрия	0,2	0,5	2,5	3,5
триполифосфат натрия	20	20	15	20
Вода	До 100%	До 100%	До 100%	До 100%
Моющая способность, %	87	95	98	110
Уровни радиоактивного загрязнения: до дезактивации, β -част./($\text{см}^2 \cdot \text{мин}$)	550	450	550	570
после дезактивации, β -част./($\text{см}^2 \cdot \text{мин}$)	15	12	10	10
коэффициент дезактивации	36,67	37,50	55,00	57,00
Пенообразование по ДСТУ-2972-94 (ГОСТ 25644-95)	7,5	5,5	4,5	4,5

В результате работу по созданию нового дезактивирующего состава можно свести к определению и исследованию многокритериальной функции с определением значений факторов для разработки оптимального дезактивирующего состава.

Например, для разработки нового дезактивирующего состава были выбраны алкилбензолсульфонат натрия с концентрацией вещества в исследуемых составах 7,5...9,0 %, стеарат натрия с концентрацией 0,2...3,5 % и триполифосфат натрия — 15,0...20,0 %. В результате приняты для рассмотрения четыре варианта дезактивирующих растворов (табл. 1).

Рассчитаем оптимальные соотношения компонентов алкилбензолсульфоната натрия, стеарата натрия и триполифосфата натрия, обозначив их концентрации соответственно через x_1, x_2, x_3 . С учетом ограничений, приведенных выше, имеем:

$$\begin{cases} 6,8 \leq x_1 \leq 9; \\ 0,5 \leq x_2 \leq 3,5; \\ 15 \leq x_3 \leq 20. \end{cases} \quad (1)$$

Данная система является брусом в трехмерном пространстве.

Пусть $L_1 = a_1x_1 + a_2x_2 + a_3x_3 + a_4$ — моющая способность раствора, где a_1, a_2, a_3 — некоторые коэффициенты моющей способности раствора, a_4 — компенсирующий коэффициент.

Тогда, исходя из данных табл. 1, получим систему для определения коэффициентов a_1, a_2, a_3, a_4 :

$$\begin{cases} 75a_1 + 2a_2 + 200a_3 + 10a_4 = 870; \\ 90a_1 + 5a_2 + 200a_3 + 10a_4 = 950; \\ 80a_1 + 25a_2 + 150a_3 + 10a_4 = 980; \\ 90a_1 + 35a_2 + 200a_3 + 10a_4 = 1100. \end{cases}$$

Решим данную систему методом Гаусса:

$$\begin{pmatrix} 75 & 2 & 200 & 10 & 870 \\ 90 & 5 & 200 & 10 & 950 \\ 80 & 25 & 150 & 10 & 980 \\ 90 & 35 & 200 & 10 & 1100 \end{pmatrix} \sim \begin{pmatrix} 75 & 2 & 200 & 10 & 870 \\ 0 & 30 & 0 & 0 & 150 \\ 10 & 10 & 50 & 0 & 120 \\ 15 & 33 & 0 & 0 & 230 \end{pmatrix} \sim \begin{pmatrix} 15 & 0 & 0 & 0 & 65 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 5 \\ 0 & 0 & 150 & 0 & 80 \\ 75 & 2 & 200 & 10 & 870 \end{pmatrix} \sim \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 13/3 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 5 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 8/15 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 1285/30 \end{pmatrix}$$

Получаем $a_1 = \frac{13}{3}, a_2 = 5, a_3 = \frac{8}{15}, a_4 = \frac{1285}{30}$, откуда

$$L_1 = \frac{13}{3}x_1 + 5x_2 + \frac{8}{15}x_3 + \frac{1285}{30}.$$

Пусть $L_2 = b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3 + b_4$ — коэффициент дезактивации. Тогда исходя из данных табл. 1, аналогично определению моющей способности L_1 , получим:

$$\begin{cases} 75b_1 + 2b_2 + 200b_3 + 10b_4 = 355; \\ 90b_1 + 5b_2 + 200b_3 + 10b_4 = 375; \\ 80b_1 + 25b_2 + 150b_3 + 10b_4 = 500; \\ 90b_1 + 35b_2 + 200b_3 + 10b_4 = 570. \end{cases}$$

Решим данную систему методом Гаусса: $b_1 = \frac{1}{30}, b_2 = \frac{13}{2}, b_3 = \frac{14}{150}, b_4 = \frac{385}{12}$, откуда

$$L_2 = \frac{x_1}{30} + \frac{13x_2}{2} + \frac{14x_3}{150} + \frac{385}{12}.$$

Пусть выражение $L_3 = c_1x_1 + c_2x_2 + c_3x_3 + c_4$ описывает пенообразование.

Исходя из данных табл. 1, получим:

$$\begin{cases} 75c_1 + 2c_2 + 200c_3 + 10c_4 = 75; \\ 90c_1 + 5c_2 + 200c_3 + 10c_4 = 75; \\ 80c_1 + 25c_2 + 150c_3 + 10c_4 = 45; \\ 90c_1 + 35c_2 + 200c_3 + 10c_4 = 45. \end{cases}$$

Решим эту систему методом Гаусса: $c_1 = -\frac{19}{15}, c_2 = -\frac{1}{3}, c_3 = \frac{8}{25}, c_4 = \frac{32}{3}$, откуда

$$L_3 = -\frac{19x_1}{15} - \frac{x_2}{3} + \frac{8x_3}{25} + \frac{32}{3}.$$

Исходя из поставленной задачи, исследуем линейную зависимость

$$L_1 = \left(\frac{13}{3} + \frac{1}{30} + \frac{19}{15}\right)x_1 + \left(5 + \frac{13}{2} + \frac{1}{3}\right)x_2 + \left(\frac{8}{15} + \frac{14}{150} - \frac{8}{25}\right)x_3 + \left(\frac{1285}{30} + \frac{385}{12} - \frac{32}{3}\right) = \frac{169}{30}x_1 + \frac{71}{6}x_2 + \frac{46}{150}x_3 + \frac{771}{12}.$$

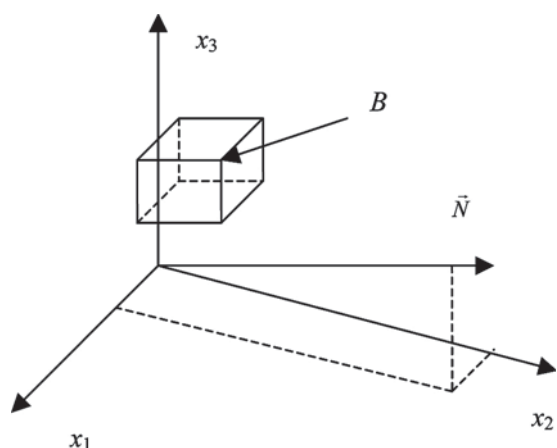


Рис. 1. Нахождение оптимального варианта дезактивирующей рецептуры

Соответственно $\vec{N} = \left(\frac{169}{30}; \frac{71}{6}; \frac{46}{150} \right)$ является нормальным вектором L .

Двигаясь вдоль вектора \vec{N} в его направлении, необходимо найти опорную плоскость выражения (1). Найденная опорная плоскость проходит через точку B (рис. 1) с координатами (9; 3,5; 20). Тем самым оптимальная концентрация дезактивационного раствора соответствует следующим параметрам: $x_1 = 9$, $x_2 = 3,5$, $x_3 = 20$, что соответствует варианту 4 дезактивирующего раствора.

Выводы

Предлагаемая методика исследований может быть с успехом адаптирована для других случаев проведения дезактивационных работ. Это позволит выявить оптимальные дезактивационные средства для технологического цикла предприятия в целом и соответственно снизить затраты на проведение дезактивационных работ, а также дозовые нагрузки на персонал, проводящий дезактивационные работы.

Список литературы

1. Носовский А. В., Гавриш В. М., Ключников А. А., Ткачев Д. А. Дезактивация. — К.: Основа, 2009. — 298 с.
2. Подиновский В. В., Гаврилов В. М. Оптимизация по последовательно применяемым критериям. — М.: Сов. радио, 1975. — 192 с.
3. Патент на винахід № 65169 від 15.08.2005 «Дезактивуєчий мийний засіб із зниженим піноутворенням».
4. Патент на винахід № 66017 від 15.12.2006 «Спосіб дезактивації спецодягу від радіоактивних забруднень».
5. Патент на винахід № 78517 від 10.2007 «Спосіб дезактивації спецодягу від радіоактивних забруднень».
6. Иванец В. Г. Разработка средства дезактивации спецодежды и средств индивидуальной защиты на основе малореагентных химических составов // Ядерна та радіаційна безпека. — 2010. — № 3(47). — С. 50–52.

Надійшла до редакції 25.10.2010.