
МЕХАНИЗАЦИЯ С.-Х. ПРОИЗВОДСТВА

Известия ТСХА, выпуск 5, 1991 год

УДК 661.185:63

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА РЕГЕНЕРАЦИИ МОЮЩИХ И МОЮЩЕ-ДЕЗИНФИЦИРУЮЩИХ РАСТВОРОВ

С. Н. УХОВ

(Кафедра электрификации с.-х. производства)

С позиций теории моделирования дается анализ процессов накопления загрязнений в растворах при очистке сельскохозяйственной техники и их выделения из массы раствора при регенерации. При повышении степени дисперсности загрязнений в растворе энергозатраты на регенерацию возрастают. Эффективность того или иного способа регенерации определяется временем полного выделения загрязнений из раствора при одинаковых энергозатратах.

Очистка и дезинфекция машин, установок и агрегатов являются неотъемлемой частью технологического процесса при их эксплуатации, техническом обслуживании и ремонте. Для этой цели промышленность выпускает большую номенклатуру моющих и моюще-дезинфицирующих средств технического назначения, представляющих собой, как правило, смесь щелочных солей, поверхностно-активных веществ (ПАВ), ингибиторов коррозии и других добавок целевого назначения. Используют их в виде водных растворов с концентрацией от 3 до 20 г/л. Внедрение этих средств в производство позволяет улучшить качество чистки автотракторной техники при ремонте, качество дефектовки и увеличить послеремонтный ресурс машин и агрегатов. Кроме того, применение моющих и моюще-дезинфицирующих средств

при очистке и дезинфекции доильно-молочного оборудования дает возможность повысить сортность молока.

В настоящее время ежегодно выпускается более 70 тыс. т моющих и моюще-дезинфицирующих средств. Их разработчики стремились создать композиции, обладающие высокими стабилизирующими свойствами, т. е. способностью накапливать в массе раствора большое количество загрязнений, и сохраняющие в определенной степени свои технологические свойства. Это приводит к тому, что в 1 л раствора может накапливаться до 9—12 г органических примесей (нефтепродуктов, жиров и т. д.) и до 20 г взвешенных веществ (абразивной пыли, продуктов приработки деталей и др.). В результате снижается качество очистки деталей, а следовательно, и качество ремонта. Раствор

ры приходится довольно часто заменять. Данные растворы из-за высокой концентрации компонентов очищающих средств наряду с загрязнениями представляют собой высококонцентрированные стоки, и даже небольшой их общий объем может вызвать загрязнение природных вод на большой территории. Предельно допустимая концентрация нефтепродуктов в воде согласно ГОСТу 2874—82 не должна превышать 0,1 мг/л, а биологически мягких ПАВ — 0,3 мг/л. Исходя из того, что общий объем отработанных растворов в сельском хозяйстве колеблется от 8 до 12 млн м³, загрязненными оказываются многие миллионы кубометров природных вод. Таким образом, поддержание очищающей способности растворов на необходимом уровне, с одной стороны, и соблюдение требований экологии, с другой — обуславливают необходимость разработки средств регенерации растворов.

Выбор способа регенерации в каждом конкретном случае требует проведения длительного эксперимента, а поскольку эффективность того или иного способа зависит не только от типа СМС, но и от условий эксплуатации раствора, моделирование данных процессов в лабораторных условиях позволяет получить достоверные результаты. Рядом исследователей [1, 2] были предприняты попытки разработать модели процессов удаления загрязнений с поверхности деталей. Авторы делали упор на рассмотрение режимов очистки деталей путем воздействия разными СМС. Предложена термодинамическая модель стабилизации загрязнений в растворах и обоснована необходимость снижения концентрации ПАВ в композициях СМС [3]. В результате были созданы новые композиции СМС. Однако ни в одной из работ не дается универсальная модель процесса

«накопления-удаления» загрязнений в растворах СМС, что значительно затрудняет как выбор и сравнительную оценку новых композиций СМС в лабораторных условиях, так и выбор способа регенерации растворов.

Большое же количество выпускаемых промышленностью моющих средств, а также разнообразие конструкций очистного оборудования требуют выбора метода регенерации применительно к сложившимся условиям. Поэтому вначале разрабатываются моющее средство и моечная установка и лишь через определенное время их эксплуатации устройство регенерации растворов, поскольку в лабораторных условиях при современной методике испытания растворов моющих средств невозможно дать оценку стабилизирующих свойств растворов очищающих сред. Для решения данной проблемы нами сделана попытка разработать универсальную модель для анализа процесса накопления загрязнений в объеме раствора.

С позиций теории массообмена [4] процесс удаления загрязнений с поверхности деталей можно представить с учетом того, что обтекание очищающей поверхности потоком раствора с определенной скоростью (ω) приводит к изменению концентрации загрязнений (dC) в результате их перехода с поверхности в раствор. Во времени (τ) данный процесс можно выразить уравнением

$$\frac{dC}{d\tau} = - \left[\frac{d}{dx} (\omega x C) + \frac{d}{dy} (\omega y C) + \frac{d}{dz} (\omega z C) \right]. \quad (1)$$

Это уравнение показывает, что концентрации загрязнений на очищаемой поверхности изменяются во всех направлениях взаимодействия очищающей среды с поверх-

ностью. Знак (минус, плюс) означает направление изменения концентрации загрязнений. Скорость накопления загрязнений в массе раствора зависит от свойств самой очищающей среды и определяется скоростью образования новой поверхности раздела фаз «раствор — загрязнение» и может быть представлена в виде уравнения

$$\frac{dC}{dt} = \frac{d}{dx} \left(D \frac{dC}{dx} \right) + \frac{d}{dy} \left(D \frac{dC}{dy} \right) + \frac{d}{dz} \left(D \frac{dC}{dz} \right), \quad (2)$$

где D — коэффициент эффективности образования новой поверхности раздела фаз, m^2/c ; $\omega_x, \omega_y, \omega_z$ — скорость, m/c ; $\frac{dC}{dt}$ — скорость изменения концентрации загрязнений.

Отсюда общее уравнение скорости изменения концентрации загрязнений

$$\frac{dC}{dt} = - \left(\omega_x \frac{dC}{dx} + \omega_y \frac{dC}{dy} + \omega_z \frac{dC}{dz} \right) + D \left(\frac{d^2C}{dx^2} + \frac{d^2C}{dy^2} + \frac{d^2C}{dz^2} \right). \quad (3)$$

Решение полученного дифференциального уравнения аналитически не представляется возможным. Количественные же оценки анализируемого процесса целесообразнее всего произвести на физической модели, полученной методами теории подобия процессов. Для этой цели введем относительные величины

$$W_x = \frac{\omega_x}{U_0}; \quad W_y = \frac{\omega_y}{U_0}; \quad W_z = \frac{\omega_z}{U_0}; \\ X = \frac{x}{L}; \quad Y = \frac{y}{L}; \quad Z = \frac{z}{L}; \quad C = \frac{C}{C_0},$$

где L — характерный размер; U_0 — объемная скорость течения потока; C_0 — предельная концентрация.

После подстановки в уравнение (3) этих величин получим следующее безразмерное дифференциальное уравнение:

$$\frac{C_0 dC}{d\tau} = \left[- \frac{U_0 C_0}{L} \left(W_x \frac{dC}{dx} + W_y \frac{dC}{dy} + W_z \frac{dC}{dz} \right) \right] + \left(\frac{d^2C}{dx^2} + \frac{d^2C}{dy^2} + \frac{d^2C}{dz^2} \right) \frac{C_0 D}{L^2}. \quad (4)$$

После преобразования будем иметь

$$\frac{dCL^2}{d\tau D} = \left[- \frac{U_0 L}{D} \left(W_x \frac{dC}{dx} + W_y \frac{dC}{dy} + W_z \frac{dC}{dz} \right) \right] + \left(\frac{d^2C}{dx^2} + \frac{d^2C}{dy^2} + \frac{d^2C}{dz^2} \right). \quad (5)$$

Так как исходное дифференциальное уравнение (1) связывает входящие в него функционально величины, то такая же функциональная связь будет наблюдаться между безразмерными критериями, входящими в уравнение (5). Следовательно, решением дифференциального уравнения (5) будет критерияльное уравнение

$$\frac{U_0 L}{D} = f \left(\frac{D\tau}{L^2} \right). \quad (6)$$

Присоединив условия равнозначности процессов, т. е. соотношение размеров при обтекании детали раствором очищающей среды $\frac{l_i}{L}$ (где l_i — размер в одном направлении), также задав начальное поле скоростей среды $\frac{\omega}{U_0}$, где ω — скорость в любом месте сечения потока, среды, получим уравнение процесса накопления загрязнений в растворе

$$\frac{dC}{d\tau} = f \left(\frac{D}{U_0 L}; \frac{l_i}{L}; \frac{\omega}{U_0}; \frac{D\tau}{L^2} \right). \quad (7)$$

Как видно из уравнения (7), определяемым параметром является коэффициент D . Таким образом, при всех прочих равных условиях скорость накопления загрязнений в растворе во многом зависит от интенсивности образования новой поверхности раздела фаз «загрязнение — раствор». Иначе говоря, стабильность раствора определяется степенью дисперсности частиц загрязнений, стабилизированных в растворе. Именно коэффициент D обуславливает стабильность раствора и должен служить отправной точкой в выборе способа регенерации. Количественная оценка степени стабилизации любого раствора может быть дана на физической модели, построенной с использованием уравнения (7). Составленное критериальное уравнение позволяет моделировать в лабораторных условиях физический процесс накопления загрязнений, подобный реальному. Условие подобия процессов сводится к соблюдению равенства одноименных критериев подобия. Исходя из данного положения, нами была разработана модель, состоящая из моечной камеры с форсунками, насоса для побуждения раствора, устройств для подогрева раствора и перемещения очищаемых объектов. В качестве очищающих сред были испытаны растворы мою-

щих и моюще-дезинфицирующих средств типа Лабомид, МС, МСЖ и т. п.

В соответствии с критериальным уравнением за характерный размер L было принято расстояние от детали (очищаемого образца) до форсунки; l_i — определяющий линейный размер детали (очищаемого образца); U_0 — объемная скорость потока, которая задается в соответствии с производительностью насоса подачи очищающей среды и объемом моечной камеры; ω — скорость среды на выходе из форсунки, которая задается исходя из диаметра форсунки. Данная модель была использована для оценки в лабораторных условиях растворов любых очищающих сред во всем диапазоне изменения технологических факторов. Оценка дисперсного состава загрязнений проводилась методом микроскопирования с использованием масштабной сетки.

Результаты экспериментов представлены в табл. 1. Гранулометрический состав загрязнений позволяет оценить стабилизирующие свойства растворов. По концентрации и гранулометрическому составу загрязнений в растворах современных композиций типа МС можно судить о степени их стабилизации. Это подтверждается и тем, что растворы данных композиций наи-

Таблица 1
Гранулометрический состав загрязнений в растворах СМС

Тип очищающего средства (концентрация 10 г/л)	Гранулометрический состав загрязнений, мкм			Общая концентрация стабилизированных загрязнений в растворе, г/л
	5—10	10—20	100 и выше	
Раствор	—	—	Более 100	3—5
Лабомид-101	—	—	75—70	9
МС-8	10—12	67—70	21—20	15—17
МС-17	20—25	75—79	2—5	15—17
МСЖ-3С	—	25—30	75	10
Марка А	—	—	90—98	7

более трудно подвергаются регенерации. Таким образом, дальнейшее улучшение стабилизирующих свойств композиций СМС является экологически необоснованным.

Процесс регенерации растворов технических моющих средств состоит из двух операций: удаление из массы раствора накопившихся загрязнений и последующая коррекция раствора моющим средством и водой. Если вторая операция не сопряжена с какими-либо трудностями, то первая — весьма сложна и трудноосуществима. Это подтверждается данными о составе загрязнений водного раствора средства МС-8 при различных способах регенерации (табл. 2).

Как видно из табл. 2, существующие средства регенерации позволяют в некоторой степени снизить темпы накопления загрязнений в растворе. При отсутствии регенерации концентрация загрязнений в первые 10—15 ч работы моющей установки достигает 9—12 г/л и раствор подлежит замене. Однако использование только этих способов не решает проблему. Выбор же других способов затруднен отсутствием единого подхода к оценке их

эффективности, поскольку необходимо обосновать параметр оценки эффективности способа регенерации и его связь с характеристиками раствора. В соответствии с этим целесообразно рассмотреть процесс регенерации с позиций теории моделирования физических процессов. Отработанный моющий раствор, помещенный в устройство регенерации, можно представить как систему. Поведение данной системы определяется воздействием силы (F), способствующей выделению загрязнений из раствора, и противодействием внутренних факторов. Эти внутренние факторы обусловлены физико-химическими и коллоидными свойствами эмульсии «раствор — загрязнение». Представим рассматриваемый процесс в виде физической модели, состоящей из цилиндра, заполненного жидкостью, с поршнем и перепускной трубы с вентилем. Поршень движется в цилиндре под действием пружины и заставляя перемещаться воду из одной части цилиндра в другую через перепускную трубу. Начальному времени t_0 соответствует нижнее положение поршня, при котором пружина полностью сжата. Это со-

Таблица 2
Состав загрязнений водного раствора средства МС-8 при различных способах регенерации

Вид загрязнения	Содержание загрязнений в растворе (г/л) при времени работы, ч			
	30	50	90	150
<i>Отстаивание</i>				
Карбены, карбоиды	1,700	2,778	4,443	3,673
Асфальтены, масла, смолы	1,586	1,560	3,108	2,908
<i>Центрифугирование</i>				
Карбены, карбоиды	1,413	2,135	2,175	2,910
Асфальтены, масла, смолы	1,118	1,295	2,05	1,776
<i>Фильтрация</i>				
Карбены, карбоиды	0,920	1,545	2,523	2,055
Асфальтены, масла, смолы	1,502	1,396	2,407	2,475

стояние характеризует момент начала разделения эмульсии «раствор — загрязнение». Потенциальная энергия системы максимальна, а концентрация загрязнений соответствует исходной величине. При движении поршня вверх в каждую единицу времени через вентиль протекает определенное количество жидкости $Q = D\Delta p$, где Δp — перепад давления; D — коэффициент сопротивления трубы, т. е. стабилизирующее свойство раствора. Пружина при этом воздействует на поршень с силой F , определяющей силу разделения эмульсии

$$F = K(h_m - h), \quad (8)$$

где K — упругая постоянная пружина; h_m — конечное положение поршня; h — текущее положение поршня.

Объем жидкости, перетекающей за время dt , равный Qdt , соответствует изменению объема при перемещении поршня на величину dh

$$Qdt = S_n dh, \quad (9)$$

где S_n — площадь сечения цилиндра.

Сопротивление системы поршень — перепускная труба R определяется перепадом давления Δp под поршнем

$$R = \Delta p S_r \quad (10)$$

Из уравнений (2) и (3) имеем

$$R = \frac{S_n^2}{D} \cdot \frac{dh}{dt} = 2A \frac{dh}{dt}, \quad (11)$$

где $2A$ — единичная сила сопротивления, приходящаяся на единицу скорости ($\frac{S_n}{D} = 2A$).

С учетом сил инерции движущихся масс условие равновесия дает

$$K(h_m - h) = 2A \frac{dh}{dt} + m \frac{d^2h}{dt^2}, \quad (12)$$

где $m \frac{d^2h}{dt^2}$ — сила инерции (сила

динамического сопротивления).

Согласно законам термодинамики, свободная энергия неустойчивых процессов стремится к нулю. Процесс регенерации растворов относится именно к этой категории. Мы всячески стараемся нарушить агрегативную устойчивость эмульсий и привести их к разделению. Таким же образом потенциальная энергия механической модели стремится к нулю и процесс, происходящий в растворе при регенерации, идентичен процессу в механической модели. Переписав уравнение (5)

$$m \frac{d^2h}{dt^2} + 2A \frac{dh}{dt} + K(h_m - h) = 0, \quad (13)$$

т. е. приравняв к нулю сумму сил, действующих в модели, получим дифференциальное уравнение, описывающее процесс разделения эмульсии «раствор — загрязнение». Для решения уравнения введем замену переменных $\frac{d^2h}{dt^2} = x^2$; $\frac{dh}{dt} = x$; $(h_m - h) = 1$ и, разделив обе части уравнения на m , получим

$$x^2 + 2 \frac{A}{m} x + \frac{K}{m} = 0. \quad (14)$$

Таким образом, решение линейного дифференциального уравнения второго порядка мы привели к решению характеристического уравнения (14). Корни уравнения

$$x_{1,2} = -\frac{A}{m} \pm \sqrt{\left(\frac{A}{m}\right)^2 - \frac{K}{m}}. \quad (15)$$

При решении уравнения возможны 3 случая: корни равны друг другу; они вещественны и различны по величине; корни комплексные. В нашем случае интересны лишь два первых решения. Корни вещественны и равны

$$x_{1,2} = -\frac{A}{m} = \sqrt{\frac{K}{m}} = \frac{1}{T}, \quad (16)$$

где T — коэффициент характерис-

тического уравнения с размерностью времени. Корни вещественны и различны по величине, в этом случае $\sqrt{\frac{K}{m}} > 0$

$$x_1 = -\frac{1}{T}; x_2 = \frac{1}{T}, \quad (17)$$

$$\text{или } \left| \frac{A}{m} \right| = \left| \frac{1}{T} \right| |T| = \left| \frac{m}{A} \right| \quad (18)$$

или с учетом (4) $T=D$.

Таким образом, время разделения эмульсий определяется стабилизирующими свойствами раствора и является основным фактором, определяющим эффективность того или иного способа регенерации при одинаковых энергозатратах.

Заключение

Предложена универсальная модель процесса «накопление-выделение» загрязнений в растворах очи-

щающих сред при очистке сельскохозяйственного оборудования.

Степень дисперсности загрязнений в растворах очищающих сред обуславливает стабильность растворов и является определяющим условием выбора способа регенерации.

ЛИТЕРАТУРА

1. Дегтерева Г. П. Интенсификация технологических процессов очистки доильно-молочного оборудования при техническом обслуживании и ремонте.— Автореф. докт. дис. М., 1988.—
2. Дэвинс Д. Энергия.— М.: Энергоатомиздат, 1985.—
3. Гурвич Л. М. Перспективы экологического совершенствования процессов очистки поверхностей от нефтепродуктов.— В сб.: Состояние и перспективы разработки моющих средств в СССР.— Белгород, 1990.—
4. Манукян Л. С. Очистка деталей ремонтируемых машин от старых лакокрасочных покрытий.— Автореф. канд. дис. М., 1990.

SUMMARY

The analysis is performed from the point of view of the theory of simulating the processes of accumulating pollutions in solutions after cleaning farm machinery and extraction of these pollutions from the solution at regeneration. With higher pollution dispersity in the solution, power consumption for regeneration increase. The efficiency of the regeneration practice is determined by the time required for complete extraction of pollutions from the solution with the same power consumption.