

УДК 658.562:[628.535:621.311]

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ КРИТЕРИЯ СРЕДНЕЙ ЧАСТОТЫ ВЫБРОСОВ В ПРОЦЕССЕ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ

Н. А. Любимова

Кандидат технических наук, доцент
Кафедра животноводства и безопасности
жизнедеятельности
Харьковский национальный аграрный
университет им. В. В. Докучаева
пгт. «Коммунист-1»,
Харьковская обл., Украина, 62483
E-мэйл: n.lioubimova@mail.ru

В статті запропоновано використання в процесі екологічного контролю газоподібних викидів та рідинних скидів енергоємних підприємств в якості критерію середню густину викидів параметрів, що контролюються. Розглянута математична модель контролю у вигляді амплітудної та фазової складових дозволить сформулювати вимоги до вибору її оптимальних параметрів для мінімізації помилок, підвищити вірогідність, чутливість контролю

Ключові слова: контроль, екологія, техніка, статистика, обробка, модель, критерій, вірогідність, чутливість, якість

В статье предлагается использовать в процессе экологического контроля газообразных выбросов и жидких сбросов энергоемких предприятий в качестве критерия среднюю частоту выбросов контролируемых параметров. Рассмотренная математическая модель контроля в виде суммы амплитудной и фазовой составляющих позволит сформулировать требования к выбору ее оптимальных параметров для минимизации ошибок, повысить достоверность, чувствительность контроля

Ключевые слова: контроль, экология, техника, статистика, обработка, модель, критерий, достоверность, чувствительность, качество

1. Введение

Требования сегодняшнего дня, перспективы сотрудничества Украины в Европейском Союзе диктуют необходимость пересмотра многих ныне действующих регламентов экологического контроля и координацию их с существующими в передовых странах. В энергетике, которая является одним из основных объектов экологического контроля, затраченные минеральные ресурсы целиком превращаются в отходы и поступают в окружающую среду в виде газообразных и твердых продуктов сгорания. При сжигании на ТЭС природного газа они в 5 раз, а при сжигании угля в 4 раза превышают массу использованного топлива. Нагрузка антропогенного загрязнения в этой отрасли составляет до 30 % от общего загрязнения. Это обуславливает необходимость контроля и управления для снижения ее негативного и необратимого воздействия на окружающую среду. При проведении данного вида контроля с одной стороны нужно сохранить его достоверность, чувствительность и не пропустить аварийные ситуации 1-го и 2-го рода, с другой стороны – вложиться в экономические рамки отпущенных для этого средств. Совершенствование технических средств, повышение качества основных показателей и методов контроля этих процессов – является актуальной проблемой и нуждается в дополнительной проработке.

2. Анализ литературных данных и постановка проблемы

Концентрации и ритм поступления вредных составляющих дымовых газов нестабильны. Способы очистки

зависят от физико-химических свойств загрязняющих веществ, их агрегатных состояний, концентрации, температуры и др. Для очистки от них дымовых газов используются различные устройства, технологии и методы. Случайные технологические нарушения провоцируют случайность выбросов контролируемых параметров. Такие нарушения порождают дополнительную неопределенность при контроле, усложняя вероятностные свойства и динамические особенности процессов [1–3]. В настоящее время известные методы повышения достоверности контроля выбросов практически не используются, в большинстве случаев речь идет лишь об экологическом мониторинге [4, 5].

Для принятия соответствующих решений и эффективного проведения мероприятий активного контроля необходима адекватная информация об исходных параметрах. Число измерений контролируемых параметров, как правило, велико, и получение необходимой информации связано с большими материальными издержками. Поэтому выбор необходимых критериев оценки качества контролируемого объекта является одной из основных задач. Вследствие своей относительной простоты наибольшее распространение получил критерий минимума среднего квадрата ошибки (СКО) [1]. Критерий СКО, как и всякий другой, не является универсальным. Он логичен, когда нежелательность ошибки пропорциональна квадрату ее величины.

Однако во всех случаях речь идет о математических моделях обнаружения нарушений стационарности информационных процессов, в основном, одномерных. Что касается величин и интенсивностей максимальных выбросов продуктов загрязнения промышленными объектами, то исследование параметров и вероятностных

свойств выбросов как случайных процессов теоретически не исследовано. Во многих практически важных задачах все достаточно большие ошибки могут быть одинаково нежелательны и повлечь серьезные технологические нарушения. В этом случае целесообразно применять другой критерий, учитывающий это обстоятельство. Разработке его аналитического выражения с целью нахождения оптимума посвящено данное исследование.

3. Цель и задачи исследования

Целью исследования является разработка аналитических выражений средней частоты выбросов (СЧВ) контролируемого процесса и формулировка общих соответствующих требований к выбору ее оптимальных параметров для минимизации ошибок контроля выбросов и сбросов энергоемких предприятий.

Для достижения поставленной цели решались следующие задачи:

- разработать и проанализировать модели критериев качества контроля и метод расчета средней частоты выбросов контролируемых параметров;
- оценить условия оптимальности модели для минимизации ошибок контроля;
- на конкретном примере применить разработанную модель и оценить ее эффективность.

4. Выбор модели контроля с использованием критерия средней частоты выбросов контролируемых параметров

В основу синтеза систем многоточечного позиционного управления предложен критерий минимума средней частоты выбросов (СЧВ) управляемого процесса загрязнения за технологические границы. Этот критерий особенно важен при управлении величинами, отклонения которых от нормы оказывают необратимое влияние на технологический процесс.

Формально задачу о средней частоте выбросов за верхнюю технологическую границу можно свести к следующей (рис. 1) [6].

Имеется случайный процесс загрязнения $x(t)$ с известными числовыми характеристиками. Непрерывно фиксируются моменты t_0 пересечения процессом некоторого уровня сравнения x_0 снизу вверх. Спустя небольшое время τ_k , среднее значение процесса снижается на величину $\kappa(p)a_k$, ($\kappa(p)$ – передаточная функция линейных звеньев системы) и внутри интервала (t_k, t_0) (например, при пересечении процессом уровня x_0 сверху вниз – момент t_0^1) вновь принимает исходное значение. Необходимо определить среднюю частоту выходов процесса $x(t)$ на заданный уровень x ($x > x_0$).

Аналогичную постановку задачи можно принять и для средней частоты выбросов за нижнюю технологическую границу.

4.1. Представление СЧВ управляемого процесса загрязнения в виде суммы амплитудной и фазовой составляющих

Средняя частота выбросов является сложной функцией нескольких параметров управления, и, в частно-

сти, величины управляемого сигнала – коррекции a_k и длительности ее запаздывания τ_k . Установление количественных взаимоотношений между различными параметрами можно существенно упростить, представив СЧВ в виде суммы двух составляющих, одна из которых, зависит только от величины коррекции, а другая зависит только от ее запаздывания. Возможность такого представления предлагается в одной из работ [8]. Первую назовем амплитудной, вторую фазовой составляющей СЧВ.

Вначале изучим модель управления по верхнему отклонению с «чистым» запаздыванием, то есть будем считать, что в момент введения коррекции контролируемый процесс мгновенно реагирует на нее, скачком уменьшаясь или увеличиваясь на соответствующую величину (иначе $K(p)=const$). Графическая модель рассматриваемого процесса представлена на рис. 1.

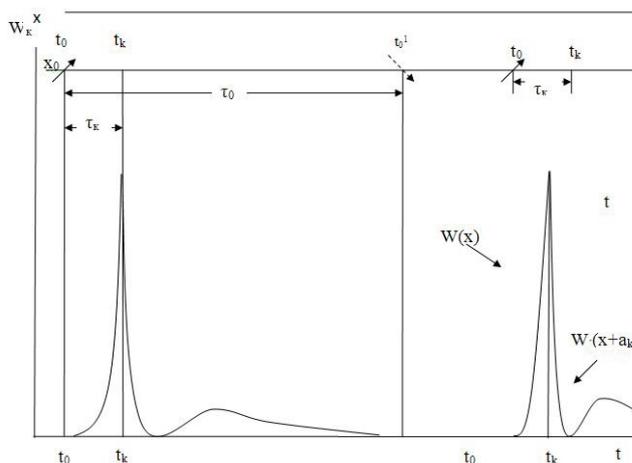


Рис. 1. Графическая модель появления возмущающих воздействий

Рассмотрим выбросы за контрольную границу x . Средняя частота этих выбросов может быть представлена в виде произведения средней частоты выбросов $n(x_0)$ процесса за уровень x_0 на усредненный по Θ интеграл в интервале $(0, \Theta)$ условной плотности выбросов $W_k(\tau)$ управляемого процесса (рис. 1).

$$n = n(x_0) \int_0^{\Theta} f(\Theta) \left[\int_0^{\Theta} W_k(\tau) d\tau \right] d\Theta,$$

где $\tau = t - t_0$, $f(\Theta)$ – плотность распределения длительности выбросов Θ за контрольно-предупредительный уровень x_0 .

Разобьем внутренний интеграл на два:

$$n = n(x_0) \int_0^{\Theta} f(\Theta) \left[\int_0^{\tau_k} W_k(\tau) d\tau + \int_{\tau_k}^{\Theta} W_k(\tau) d\tau \right] d\Theta,$$

и, пренебрегая длительностью выбросов $\Theta \leq \tau_k$, заменим подынтегральное выражение первого интеграла в квадратных скобках на $W(x, \tau)$. Подынтегральное выражение второго интеграла в виде $W(x+a_k, \tau)$. Итак,

$$n = n(x_0) \int_0^\infty f(\Theta) \left[\int_0^{\tau_k} W(x, \tau) + \int_{\tau_k}^\Theta W(x + a_k, \tau) d\tau \right] d\Theta =$$

$$= n(x_0) \int_0^\infty f(\Theta) \left[\int_0^{\tau_k} W(x, \tau) + \int_0^\Theta W(x + a_k, \tau) d\tau - \int_0^{\tau_k} W(x + a_k, \tau) d\tau \right] d\Theta.$$

Раскроем скобки, учитывая, что $\int_0^\infty f(\Theta) d\Theta = 1$, и изменим при этом порядок следования слагаемых:

$$n = n(x_0) \int_0^\infty f(\Theta) \int_{\tau_k}^\Theta W(x + a_k, \tau) d\tau +$$

$$+ n(x_0) \int_0^{\tau_k} W(x, \tau) d\tau - n(x_0) \int_0^{\tau_k} W(x + a_k, \tau) d\tau. \tag{1}$$

Первое слагаемое полученного выражения, очевидно, представляет собой среднюю частоту выбросов контролируемого процесса за некоторый «фиктивный» уровень $x + a_k$ в отсутствие обратной связи. Оно зависит от амплитуды управляемого сигнала – a_k , а также от уровня сравнения x_0 и технологической границы x . Это амплитудная составляющая СЧВ. Второе слагаемое зависит от длительности запаздывания управляемого сигнала – τ_k (а также от уровней x_0 и x). Это фазовая составляющая СЧВ. Третье слагаемое зависит, как от a_k , так и от τ_k и характеризует, как бы, величину корреляции между первыми двумя слагаемыми. Для реальных величин коррекции a_k , последнее слагаемое, представляет собой пренебрежимо малую величину [8]. И средняя частота выбросов (СЧВ) управляемого процесса может быть разложена на две составляющие [8]:

$$n = n_1 + n_2, \tag{2}$$

зависящие порознь от амплитуды управляющего сигнала – $n_1(a_k)$, и длительности его запаздывания – $n_2(\tau_k)$. При правильной настройке системы управления $n_1 \geq n_2$.

Как было показано в [6–8]:

$$n = n(x + a) = \int_0^\infty v f(x + a_k, v) dv, \tag{3}$$

где $f(x + a_k, v)$, – результат подстановки $x^1 = x + a_k$ – в выражение плотности вероятности $f(x^1, v)$ совместного распределения случайного процесса $x(t)$ и его производной $v(t)$

$$n_2 = \int_0^\infty v f(x_0, v) dv \int_0^{\tau_k} W(x, \tau) d\tau,$$

$$W(\tau) = k_1 \frac{\omega}{\sqrt{2\pi}} \frac{\xi - \xi_0}{y} \exp \left\{ -\frac{(\xi - \xi_0)^2}{4y} \right\}. \tag{4}$$

Здесь ξ и ξ_0 – центрированные величины уровней x и x_0 , отнесенные к среднеквадратичному отношению:

$$y = 1 - R_x(\tau),$$

где $R_x(\tau)$ – нормированная корреляционная функция процесса; k_1 – коэффициент уровней.

Рассмотрим многокомпонентный процесс загрязнения, распределенный не только во времени, но и в пространстве. Количественные свойства каждой компоненты будем рассматривать как параметры, подлежащие контролю. Результаты измерений значений этих параметров будем считать коррелированными с изменениями технологических режимов, управление которыми осуществляется по результатам измерительного контроля параметров загрязнения.

При переходе каким-либо из параметров заданного контрольно-предупредительного уровня с некоторым запаздыванием, зависящим от периода коммутации, многомерная ИИС контроля [8] выдает предупредительный сигнал. По этому сигналу системой управления, связанной с ИИС контроля формируется скачкообразное корректирующее воздействие (коррекция) на изменившийся технологический режим, возвращающее отклоняющийся параметр загрязнения в зону его допустимых значений.

Одна из задач активного контроля: своевременное воздействие на технологические режимы с тем, чтобы не допустить (в вероятностном смысле) выхода параметра загрязнения в аварийную зону. Естественный путь решения задачи – выделить некоторый доаварийный уровень сравнения (в общем случае их два – верхний и нижний), и по получении информации о пересечении процессом этого уровня ввести корректирующее воздействие. Так как реальные процессы – непрерывные функции времени, следует ожидать, что при достаточно малом запаздывании информации процесс загрязнения не успевает выйти в аварийную зону на участке до введения коррекции.

Как отмечено ранее, СЧВ (n) определяется суммой амплитудной (n_1) и фазовой (n_2) составляющих (выражения (3) и (4), соответственно). На рис. 2, 3 представлены графики n_1 (рис. 2) и n_2 (рис. 3), как функции нормированного контрольно-предупредительного уровня ξ_0 (нормированный аварийный уровень ξ фиксирован).

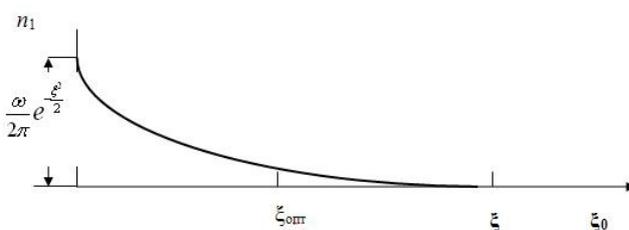


Рис. 2. График амплитудной составляющей n_1 средней частоты выбросов

Для управления расходом воды, используемой для абсорбции SO_2 , исследовался сигнал измерительной информации в виде дискретизированной реализации случайного процесса $x(t)$ для уменьшения уровней SO_2 в функции времени в дымовых газах. Для управления расходом воды по выбросам SO_2 был задан, вначале, верхний контрольно-предупредительный уровень

$$U = m + 3\sigma. \tag{6}$$

Его величина для числовых характеристик $m = 1230,80$ и $\sigma = 623,76389$ составила значение

$U = 3102,08$ (мг/м³). Вспомогательный контрольно-предупредительный уровень U_k определялся по минимуму средней частоты выбросов.

1. Вычислено значение ω – отношения СКО процессов $x(t)$ и его первой производной:

$$\omega = 0,07 \text{ (1/час)}.$$

2. Для нормированных (заданных для примера) значений вспомогательного контрольно-предупредительного уровня U_k

$$\xi = \frac{U_{k-m}}{\sigma}. \quad (7)$$

Также были рассчитаны амплитудная составляющая СЧВ (n_1 в выражении (3)) и фазовая составляющая СЧВ (n_2 в выражении (4)). При этом учитывалось, что время переходного процесса в линейных звеньях системы управления при активном контроле не превышало 2 сек ($\tau=2$ сек).

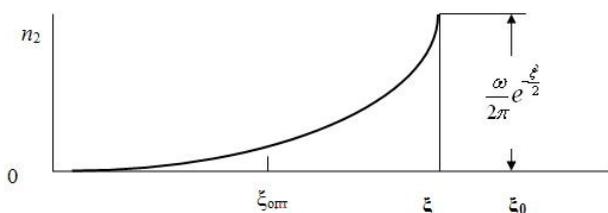


Рис. 3. График фазовой составляющей n_2 измеренных в ходе мониторинга значений для $S=5$ компонент загрязнения атмосферы теплоэлектростанцией.

Длительность наблюдения $T_H=22$ суток.

Шаг дискретизации Δt составил 5 минут. Активный контроль проводился для типичных реализаций SO_2 с возможностью регуляции подачи известкового раствора (выход в атмосферу SO_2 строго контролируется и регулируется в соответствии с регламентом и ПДВ)

Значения ξ и рассчитанные величины n_1 и n_2 , $n_{ок} = n_1 + n_2$ для СЧВ процесса расхода воды представлены в табл. 1.

Таблица 1

Результаты расчета составляющих СЧВ при оптимизации контрольно-предупредительной границы

Нормированное значение границы ξ	Составляющие СЧВ		Суммарная СЧВ, $n_{ок}$ (1/час)
	Амплитудная, n_1 (1/час)	Фазовая, n_2 (1/час)	
2,0	$0,76 \cdot 10^{-3}$	$152 \cdot 10^{-3}$	$152,76 \cdot 10^{-3}$
1,875	$1,36 \cdot 10^{-3}$	$44 \cdot 10^{-3}$	$45,36 \cdot 10^{-3}$
1,75	$2,04 \cdot 10^{-3}$	$10 \cdot 10^{-3}$	$12,04 \cdot 10^{-3}$
1,625	$4,4 \cdot 10^{-3}$	$2,16 \cdot 10^{-3}$	$6,56 \cdot 10^{-3}$
1,5	$7,2 \cdot 10^{-3}$	$0,44 \cdot 10^{-3}$	$7,64 \cdot 10^{-3}$
1,375	$12,4 \cdot 10^{-3}$	$0,072 \cdot 10^{-3}$	$12,472 \cdot 10^{-3}$
1,25	$20,0 \cdot 10^{-3}$	$0,0112 \cdot 10^{-3}$	$20,011 \cdot 10^{-3}$
1,125	$34,0 \cdot 10^{-3}$	$0,00148 \cdot 10^{-3}$	$34,001 \cdot 10^{-3}$

Зависимость ξ в функции $n_{ок}$ представлена на рис. 4.

Полученное значение оптимальной контрольно-предупредительной границы обеспечивает ми-

нимум средней частоты выбросов (СЧВ) на уровне $6,6 \cdot 10^{-3}$, что соответствует появлению одного технологического нарушения за время $T_k=151,5$ (час). Следует отметить, что при отсутствии оптимального управления по скорректированной границе U_k значение СЧВ будет определяться выражением [8]:

$$n_0 = \frac{\omega}{2\pi} \cdot \exp\left\{-\frac{1}{2}\left(\frac{U-m}{\sigma}\right)^2\right\} = 0,44 \text{ (1/час)},$$

где $U_0 = 3102,08$ (мг/дм³).

Значение $n = 0,44$ (1/час) соответствует появлению одного технологического нарушения за время $T_0=2,27$ (час).

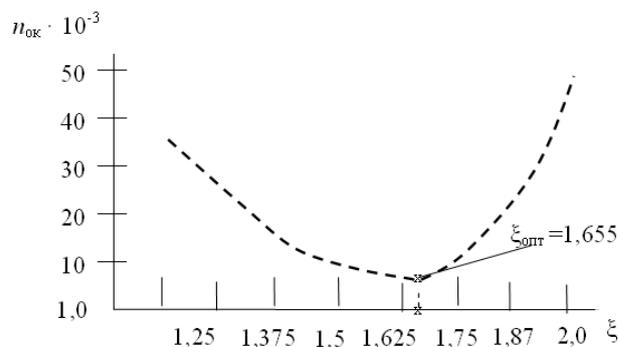


Рис. 4. Зависимость средней частоты аварийных выбросов от скорректированной контрольно-предупредительной нормированной границы

Из табл. 1 видно, что минимум суммарной СЧВ, равный $6,56 \cdot 10^{-3}$ (1/час), соответствует нормированному значению вспомогательной (скорректированной) контрольно-предупредительной границы $\xi = 1,625$. Более точная параболическая аппроксимация [10] дает оптимальное значение $\xi_{opt} = 1,655$, что соответствует $U_k = 2263,12$ (мг/м³).

5. Выводы

Разработана аналитическая модель критерия средней частоты выбросов с составляющими. Критерий предлагается для использования при управлении параметрами, отклонения которых от норм оказывают необратимое влияние на технологический процесс. К достоинствам полученного решения относится простота рабочих формул, возможность аналитического расчета СЧВ без предварительной аппроксимации корреляционной функции процесса. Показано несущественное влияние времени переходного процесса на величину СЧВ. На практическом примере проведен расчет показателей контроля, проанализированы достоинства используемого метода.

Литература

1. Большечев, А. Д. О выборе критерия качества системы функционального контроля [Текст] : наук. пр. 6 Міжн. конф. / А. Д. Большечев, Л. Б. Быстрицкая и др // Метрологія та вимірювальна техніка. – Харків, 2008. – С. 305–307.

- Gutierrez, Sally Multipollutant Emission Control Technology Options for Coal Fired Power Plants [Text] / Sally Gutierrez. – National Risk Management Research Laboratory. Springfield, Virginia, USA, 2005. – P. 48–97.
- Fay, Martin Michael Schmidt High Slope Metrology with Non-Contact Interferometry [Text]: phNate Gilfoy PhD / Martin Fay. – Quality Magazine, July 1st, 2014. – P. 37–49.
- Свешников, А. А. Прикладные методы теорий случайных функций [Текст] / А. А. Свешников. – М.: Наука, 2009. – 464 с.
- Богданович, И. Автоматизированные системы контроля и учета выбросов загрязняющих веществ и парниковых газов в атмосферу [Текст] / И. Богданович // Энергетика и ТЭК. – 2010. – № 2. – С. 14–18.
- Шахтарин, Б. И. Случайные процессы в радиотехнике Т.1 Линейные преобразования [Текст] / Б. И. Шахтарин. – Гор. Линия-Телеком, 2010. – 520 с.
- Любимова, Н. А. Информационное обеспечение систем технического контроля процесса воздухоочистки промышленных предприятий [Текст] : сб. науч. тр. 2 Междунар. Н.-т. конф. / Н. А. Любимова // Информационно-измерительные диагностические и управляющие системы. Диагностика - 2011». – Юго-Западный Гос. У-т. Курск. Россия, 2011. – С. 188–193.
- Любимова, Н. А. Функциональный контроль экологических объектов [Текст] : монографія / Н. А. Любимова. – Харьков: изд. ХНАУ ім. В. В. Докучаєва, 2012. – 228 с.
- Klein, Maury The Power Makers: Steam, Electricity, and the Men Who Invented Modern America [Text] / Maury Klein. – Bloomsbury Publishing USA, 2009.
- Корн Г. Справочник по математике для научных работников и инженеров [Текст] / Г. Корн, Т. Корн. – М.: Наука, 1978. – 832 с.

Розроблено технологію синтезу аніоноактивних поверхнево – активних речовин методом сульфурвання фракції піроконденсату з температурою кипіння вище 350 °С та вмістом ароматичних вуглеводнів >50 %, що отримують (піроконденсат) методом термічної переробки відпрацьованих шин транспортних засобів. Досліджено закономірності та ефективність застосування отриманого продукту для очищення нафто-забруднених ґрунтів

Ключові слова: відпрацьовані шини, піроліз, піроконденсат, сульфурвання, поверхнево-активні речовини

Разработана технология синтеза анионоактивных поверхностно - активных веществ методом сульфирования фракции пироконденсата с температурой кипения выше 350 °С и содержанием ароматических углеводородов >50 %, который получают (пироконденсат) в процессе термической переработки изношенных шин транспортных средств. Исследованы закономерности и эффективность применения полученного продукта для очистки нефте-загрязненных почв

Ключевые слова: отработанные шины, пиролиз, пироконденсат, сульфирование, поверхностно-активные вещества

УДК 504.064.45:66.094.524.5

ОТРИМАННЯ ПОВЕРХНЕВО- АКТИВНИХ РЕЧОВИН НА ОСНОВІ ВТОРИННОЇ СИРОВИНИ ПЕРЕРОБКИ ВІДХОДІВ

Ю. С. Нікітченко

Здобувач
Інститут екологічної безпеки
Національний авіаційний університет
пр. Космонавта Комарова, 1,
м. Київ, Україна, 03022
E-mail: julia_n_s@ukr.net

1. Вступ

Зростання світового виробництва поверхнево-активних речовин (ПАР) обумовлено зростаючим попитом на продукцію даного сегменту, яка широко використовується майже в усіх галузях промисловості. До 50 % синтезованих ПАР витрачається на виготовлення побутової хімії (переважно мийні та очисні засоби), при цьому не менш значущими споживачами є нафтохімічна, легка та харчова галузі промисловості,

будівництво. Нині у світі існує велика кількість різноманітних ПАР, загальний обсяг виробництва яких у 2012 році становив 15 млн. т. [1]. За прогнозами спеціалістів, протягом наступного десятиліття обсяги виробництва цих реагентів зростатимуть щонайменше на 6,1 % щороку [2].

Масштаби виробництва будь-якого типу ПАР залежать від декількох чинників, серед яких, окрім фізико-хімічних властивостей, не менш значущими є вартість сировинних матеріалів, наявність й доступ-