

УДК 621.315.6171:622.692.2

**В.В. Кравцов**, к.т.н., доцент; **Х.Р. Сырлыбаев**, магистрант, e-mail: khaп-330@mail.ru, кафедра технология нефтяного аппаратостроения; **О.В. Шингаркина**, к.т.н., доцент, кафедра промышленная безопасность и охрана труда; **Н.А. Алексеева**, к.т.н., доцент, кафедра сооружение и ремонт газонефтепроводов и газонефтехранилищ, ФГБОУ ВПО «Уфимский государственный нефтяной технический университет»

## ОЦЕНКА ОСТАТОЧНОЙ ЗАЩИТНОЙ СПОСОБНОСТИ ЛАКОКРАСОЧНЫХ ПОКРЫТИЙ НА ВНУТРЕННЕЙ ПОВЕРХНОСТИ СТАЛЬНЫХ РЕЗЕРВУАРОВ

*В статье рассматриваются вопросы, связанные с оценкой долговечности лакокрасочных покрытий на внутренней поверхности стальных резервуаров. Определены параметры долговечности распространенных лакокрасочных систем. В качестве изменяющегося параметра авторы использовали комплексный показатель состояния покрытия после экспозиции в рабочих средах.*

Нанесение лакокрасочных покрытий (ЛКП) на внутренние поверхности стальных резервуаров для хранения нефти и нефтепродуктов является основной мерой по снижению коррозии и повышению ресурса резервуаров. В то же время лакокрасочные покрытия не обеспечивают полной защиты от коррозии, так как коррозия металла под покрытием начинается задолго до визуально обнаруживаемых признаков разрушения покрытия [1, 2]. При проектировании и эксплуатации резервуаров вызывает затруднение назначение той или иной системы лакокрасочного покрытия из-за отсутствия данных, характеризующих процессы старения покрытия и связанной с ним коррозии подложки. Выбор системы покрытия обычно осуществляется на основании рекламных проспектов производителя или предшествующего практического опыта эксплуатации таких покрытий в аналогичных условиях.

Защитная способность ЛКП непосредственно связана с его долговечностью в условиях старения при контакте с коррозионными средами.

Наиболее распространенный кинетический механизм старения лакокрасочных покрытий соответствует экспоненте. Статистический характер этого процесса позволяет использовать для его описания классические

представления, развитые Больцманом и Аррениусом, еще позже – Журковым и Бартеневым.

В реальных условиях, особенно при эксплуатации ЛКП в контакте с коррозионными средами, закон старения значительно усложняется по сравнению с классическими зависимостями, особенно при действии многих факторов, как это имеет место в резервуарах, учесть которые в полном объеме практически невозможно. Поэтому при оценочных расчетах использована простая формула, полученная ранее в работе [3]. Апробированная авторами работ [2, 4] применительно к лакокрасочным покрытиям на полимерной основе:

$$\tau_{кр} = \frac{-\ln \psi_{кр}}{A_t}$$

При эксплуатации резервуаров поврежденность покрытия перед его заменой составляет обычно 25–30% (коэффициент сплошности – 70–75%), поэтому можно принять  $\psi_{кр} = 0,7–0,75$ ;

$$A_t = A_0 e^{-U_{cm}/(RT)}$$

$$\tau_{кр} = \frac{-\ln \psi_i}{\tau}$$

где  $A_0$  – параметр, зависящий от состава и структуры материала покрытия; имеет постоянное значение во всем диапазоне рабочих температур;

$U_{cm}$  – энергия активации процесса старения, Дж/моль;

$R$  – газовая постоянная,  $R = 8,3143$  Дж/(моль·град);

$T$  – среднегодовая температура покрытия, К;

$A_t$  – постоянная, зависящая от температуры;

$U_{cm}$  и  $A_0$  определены решением системы уравнений:

$$A_{t1} = A_0 e^{-U_{cm}/RT_1}$$

$$A_{t2} = A_0 e^{-U_{cm}/RT_2}$$

В этих уравнениях постоянные  $A_{t1}$  и  $A_{t2}$  определили из экспериментальных данных:

$$A_{t1} = \frac{\lg \psi_1}{\tau_1^{RT_1}}$$

$$A_{t2} = \frac{\lg \psi_2}{\tau_2^{RT_2}}$$

где  $\psi_1$  и  $\psi_2$  – значения коэффициентов сплошности после экспозиции образцов в течение отрезков времени  $\tau_1$  и  $\tau_2$ .

В приложении 2 первоисточника [5] приведены данные по долговечности в воде систем ЛКП при двух значениях температурах (20 и 70 °С) –  $\tau_{20}$  и  $\tau_{70}$ .

Характеристики изучаемых в данной работе систем ЛКП приведены в таблице 1.

Для расчетов использованы данные о сроках службы покрытий после экспозиции образцов в воде, поскольку

**Таблица 1. Физико-механические свойства систем бензостойких покрытий и их стойкость в рабочих средах при лабораторных испытаниях**

Система покрытия	Число слоев	Режим сушки		Толщина покрытия, мкм	Стойкость покрытия к различным средам			
		Температура, °С	Продолжительность, ч		нефтепродукты		вода	
					20 °С, месяцы	50 °С, сутки	20 °С, месяцы	80 °С, сутки
Грунтовка ВЛ-023	1	15–20	0,25–0,5	100–120	24	30	24	7
Краска ХС-717	3	15–20	2					
Шпатлевка ЭП-00-10	3	15–20	24	80–100	24	30	12	7

наиболее подвержены коррозионному воздействию металлоконструкции резервуара, поверхность которых контактирует с водой или водным конденсатом.

Приняв, что отбраковка образцов проводится при  $\psi_{кр} = 0,75$ , и используя значения долговечностей из таблицы 1, находим значения  $A_t$  при температурах 20 и 70 °С:

$$A_{20} = \frac{-\ln 0,75}{\tau_{20}};$$

$$A_{70} = \frac{-\ln 0,75}{\tau_{70}}.$$

В реальных условиях работы резервуара, где стенка находится под действием чередующихся сред – вода – жидкий углеводород – паровоздушная среда (причем это чередование сред зависит от технологического режима индивидуального резервуара), энергия активации процесса старения будет иметь значение, отличающееся от энергии активации старения в лабораторных условиях [3, 4]. Следует отметить также непостоянство температуры во времени, зависящее от климатических условий расположения резервуара, температуры нефти (или нефтепродукта) и градиента температур по зонам в резервуаре, температуры грунта, теплопроводности стенки резервуара, конвенции продуктов и паровоздушной среды в резервуаре и др. Это вызывает значительные затруднения по выявлению среднегодовой температуры лакокрасочного покрытия. Косвенными методами, базирующимися на данных, полученных на предприятиях, расположенных в разных регионах, и анализе литературных источников, среднегодовая температура лакокрасочного покрытия при выполнении расчетов принята 10 °С.

С учетом отмеченных допущений рассчитаны значения  $A_{10}$  по формуле

$$A_{10} = \frac{-\ln 0,75}{\tau_{кр}}.$$

Значения  $\tau_{кр}$  приведены в приложении 2 источника [5]. Поскольку расчету подвергаем те же системы покрытий, что и при проведении лабораторных испытаний, принято допущение, что коэффициент  $A_0$ , зависящий от структуры полимерного материала, сохраняет свое значение. Исходя из этого предположения рассчитаны значения энергии активации для выбранных систем защитных покрытий:

$$U_{ср} = -\ln \frac{A_{10}}{A_0} 283R,$$

$$A_{10} = A_0 e^{-U_{ср}/RT},$$

где  $U_{ср}$  – среднее значение энергии активации процесса старения покрытия в условиях эксплуатации резервуара.

Приведенная в таблице 2 энергия активации старения ЛКП  $U_{ср}$ , рассчитана по данным лабораторных испытаний. Результаты оценки долговечности зависят от того, насколько удачно выбран изменяющийся при старении параметр. Разные авторы принимают в качестве такого параметра адгезионную прочность, степень набухания, предел прочности при растяжении пленки и т.д., что вызывает затруднения при создании условий испытаний, приближенных к эксплуатационным. Кроме того, оценка интенсивности старения только по

одному параметру не в полной мере отражает степень ухудшения его защитных свойств.

Наиболее привлекательной с точки зрения корректности применения и точности результатов является, на наш взгляд, методика, разработанная Карякиной с сотр.[6], заключающаяся в обобщенной оценке состояния ЛКП по величине комплексного показателя, учитывающего появление в покрытии различных дефектов, их количество и скорость разрастания.

При оценке состояния покрытий под действием рабочих сред резервуаров (вода, паровоздушная среда) выявляются у различных систем ЛКП следующие виды разрушений: пузыри (П), отслаивание (С) пленки от подложки, сморщивание пленки (СМ), коррозионное разрушение металла (КР), растворение пленки (Р).

Комплексный показатель состояния лакокрасочных покрытий (К) при испытании в агрессивных жидких средах учитывает влияние отдельных видов разрушения и определяется по формуле:

$$K = X_P П + X_C С + X_{СМ} СМ + X_T Т + X_{КР} КР + X_P Р,$$

где  $X_i$  – коэффициент весомости каждого вида разрушения;

П, С, СМ, Т, КР, Р, – условное обозначение соответствующих видов разрушения. Величины разрушения вычисляли по формулам:

**Таблица 2. Результаты расчетов энергии активации и долговечности систем ЛКП**

Система ЛКП	$U_{ср}$ , Дж/моль	$A_0$ , 1/ч	$U_{ср}$ , Дж/моль
1	66 407	362 010	67 096
2	56 472	389 032	57 552
3	56 472	389 032	57 552
4	87 600	37 300	59 174
5	56 472	40 860	56 356
6	33 405	48 330	37 961

**Таблица 3. Коэффициенты весомости различных видов разрушения в рабочих средах стальных резервуаров**

Вид разрушения	Условное обозначение	Коэффициент весомости X разрушений	
		Вода	Нефтепродукт
Растворение	Р	0,05	0,1
Растрескивание	Т	0,05	0,1
Отслаивание	С	0,15	0,1
Сморщивание	СМ	0,15	0,35
Пузыри	П	0,20	0,25
Коррозия	КР	0,40	0,1

**Таблица 4. Сроки службы ЛКП на внутренней поверхности стальных резервуаров со стационарной крышей ( $t_{cp} = 10^\circ\text{C}$ ,  $\psi_{кр} = 0,75$ )**

№ п/п.	Система ЛКП	$\tau_{кр}$ , ГОДЫ
1	ХС-717	9,6
4	ЭП-00-10	10,3

$$\begin{aligned}
 P &= 0,6a_p + 0,4a_{лр}; \\
 C &= 0,6a_c + 0,4a_{лр}; \\
 CM &= 0,6a_{см} + 0,4a_{лр}; \\
 T &= 0,6a_t + 0,4a_{лр}; \\
 KP &= 0,6a_{кр} + 0,4a_{лр}; \\
 P &= 0,6a_p + 0,4a_{лр};
 \end{aligned}$$

где  $a_p, a_c, a_{см}, a_t, a_{кр}, a_p$  – относительные оценки соответствующих видов разрушения;

$a_{лр}$  – относительная оценка по размеру разрушения.

Большое значение при расчете комплексного показателя имеют значения коэффициентов весомости каждого вида дефекта.

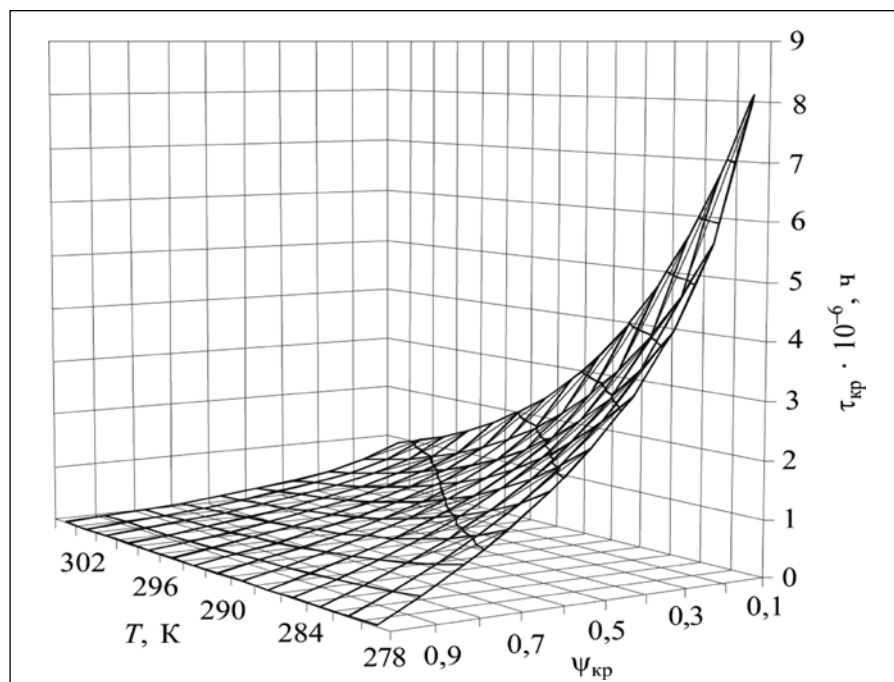
В таблице 3 приведены значения коэффициентов весомости для различных видов разрушения покрытий, предложенных М.И. Карякиной [6].

Значение функции сплошности (степени сохранности начальных свойств)  $\psi$  представляли как относительное изменение комплексного показателя К:

$$\psi = \frac{K_t}{K_0},$$

где  $K_t$  – значение комплексного показателя по истечении экспозиции в течение времени  $t$ ;

$K_0$  – значение комплексного показателя нового покрытия.



**Рис. 1. Иллюстрация зависимости  $\tau_{кр} = f(T, \psi_{кр})$  для системы ЛКП на основе эпоксидной шпатлевки ЭП-00-10**

Рассчитанные значения долговечности систем ЛКП приведены в таблице 4. Графическая иллюстрация зависимости  $\tau_{кр} = f(T, \psi_{кр})$  для системы ЛКП на основе эпоксидной шпатлевки ЭП-00-10 приведена на рисунке 1, из которого видно преобладающее влияние температуры на долговечность покрытия. Результаты расчетов, полученные в настоящей работе, сопоставлены с данными, полученными при эксплуатации резервуаров на нефтедобывающих, нефтеперерабатывающих и предприятиях транспорта и хранения нефтепродуктов (27 резервуаров) [7]. Погрешность в оценке долговечности защитных покрытий внутренней поверхности не превысила 20%.

Таким образом, приведенный в работе подход к решению инженерных задач может быть рекомендован для проведения оценочных расчетов на стадиях разработки исходных данных для проектирования и эксплуатации стальных резервуаров с защитными покрытиями внутренней поверхности.

### Литература:

1. Гоник А.А., Калимуллин А.А., Сафонов Е.Н. Защита нефтяных резервуаров от коррозии. – Уфа: РИЦ АНК «Башнефть», 1996. – 264 с.
  2. Макаренко О.А., Кравцов В.В., Ибрагимов И.Г. Ресурс стальных резервуаров. – СПб: Недра, 2008. – 200 с.
  3. Бокшицкий М.Н. Длительная прочность полимеров. – М.: Химия, 1978. – 308 с.
  4. Кравцов В.В., Макаренко О.А. Оценка долговечности лакокрасочных покрытий на внутренних поверхностях стальных резервуаров // Промышленная окраска. Технологии, материалы, оборудование. С. 39–41.
  5. Лыков М.В. Защита от коррозии резервуаров, цистерн, тары и трубопроводов для нефтепродуктов бензостойкими покрытиями / Изд. 2-е, перераб. и доп. – М.: Химия, 1978. – 240 с.
  6. Карякина М.И. Испытание лакокрасочных материалов и покрытий. – М.: Химия, 1988. – 272 с.
  7. Кравцов В.В. Защита от коррозии внутренней поверхности стальных резервуаров / Учебное пособие. – Уфа: Изд-во УГНТУ, 2003. – 111 с.
- Ключевые слова:** стальной резервуар, лакокрасочные покрытия, виды разрушения покрытий, защитная способность, долговечность.



Центральный выставочный комплекс «Экспоцентр»  
Москва, Россия



14-Я МЕЖДУНАРОДНАЯ ВЫСТАВКА

# НЕФТЕГАЗ

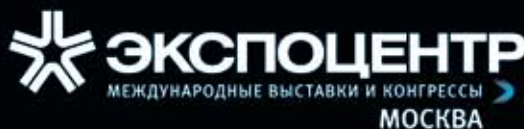
25–29 июня 2012

Оборудование и технологии  
для нефтегазового комплекса

[www.neftegaz-expo.ru](http://www.neftegaz-expo.ru)

Организаторы:

ЗАО «Экспоцентр» (Россия),  
фирма «Мессе Дюссельдорф ГмбХ» (Германия)



реклама

3-Я МЕЖДУНАРОДНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ

# ЭНЕРКОН

АКТУАЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ  
ИННОВАЦИОННОГО РАЗВИТИЯ  
НЕФТЕГАЗОВОЙ ОТРАСЛИ

25–28 июня

[www.enercon-ng.ru](http://www.enercon-ng.ru)