

УДК 66.018.5

АНТИСТАТИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА ГРАНУЛ ПОЛИВИНИЛХЛОРИДА**Быковский Н.А., Пучкова Л.Н., Фанакова Н.Н.***Филиал ФГБОУ ВПО «Уфимский государственный нефтяной технический университет»,
Стерлитамак, e-mail: nbikovsky@list.ru*

Разработана установка для измерения электрического сопротивления в диапазоне $1 \cdot 10^{16} \dots 1 \cdot 10^8$ Ом, представляющая собой резистивно-емкостную цепь, образованную исследуемым образцом, измерительными электродами, конденсатором и электростатическим вольтметром. Показано, что время стекания статического электричества с различных материалов определяется величиной их поверхностного сопротивления. Исследовано влияние ряда антистатиков на величину удельного поверхностного сопротивления гранул поливинилхлорида. Определена постоянная времени разряда поливинилхлорида при обработке его различными антистатиками. Проведен оценочный расчет характерного времени стекания электрического заряда с гранул поливинилхлорида в условиях его производства. Показано, что постоянная времени разряда поливинилхлорида изменяется от 2,8 ч до $1,3 \cdot 10^{-3}$ с. Лучшим из исследованных антистатиков является алкапав.

Ключевые слова: поливинилхлорид, удельное поверхностное сопротивление, антистатик, электризация

ANTISTAT TREATMENT OF POLYVINYL CHLORIDE GRANULES**Bykovskiy N.A., Puchkova L.N., Fanakova N.N.***Sterlitamak Branch of Ufa State Petroleum Technical University, Sterlitamak, e-mail: nbikovsky@list.ru*

The set for measurement of electrical resistance in the range of $1 \cdot 10^{16} \dots 1 \cdot 10^8$ Ohm is developed. The set is a resistive-capacitive circuit formed by the sample studied, measuring electrodes, a condenser and an electrostatic voltmeter. It is shown that the runoff time of static electricity from the various materials is determined by the size of their surface resistivity. The influence of number of antistatic agents on the value of surface resistivity of granules of polyvinyl chloride is studied. Discharge time constant of polyvinyl chloride in its various antistatic treatment is defined. An estimating calculation of the characteristic time flowing electric charge with polyvinyl chloride pellets in the conditions of its production is conducted. It is shown that polyvinyl chloride discharge time constant ranges from 2.8 h to $1,3 \cdot 10^{-3}$ sec. The best from tested antistatic agents is alkapav.

Keywords: polyvinyl chloride, surface resistivity, antistatic, electrization

Поливинилхлорид (ПВХ) является важным продуктом органического синтеза. Это универсальный полимер, который в зависимости от способа получения, рецептуры и технологии переработки дает большой ассортимент материалов и изделий: жестких, мягких, прозрачных и непрозрачных, эксплуатирующихся в интервале температур от -80 до $+110^\circ\text{C}$ [5].

При производстве ПВХ в процессе сушки, транспортировки полимера пневмотранспортом и упаковки происходит его электризация. Наэлектризованные гранулы прилипают к оборудованию, что затрудняет их перемещение пневмотранспортом, они плохо поддаются равномерному распределению по объему формы и притягивают пыль, загрязняющую изделие. Статическая электризация ведет к снижению производительности установок по производству и переработке ПВХ и негативно влияет на оборудование [3].

Одним из способов борьбы со статическим электричеством является обработка поверхности изделия антистатическими веществами. В качестве таких агентов обычно используют поверхностно-активные вещества (ПАВ). Несмотря на многообразие различных антистатиков, систематизированные данные и конкретные рекомендации

по их применению в производстве ПВХ отсутствуют, что приводит к необходимости проведения работ по выбору наиболее эффективного антистатика [1].

В настоящей работе изучена эффективность действия ряда антистатиков на гранулы поливинилхлорида, полученного на ОАО «Каустик», г. Стерлитамак.

В качестве антистатиков использовали сульфанол, алкапав, динатриевую соль хромотроповой кислоты, шпан-20, дон, текстапав и полиэлектролит ВПК-402. Эффективность антистатических свойств реагентов оценивали по величине удельного поверхностного сопротивления. Чем ниже поверхностное сопротивление, тем с большей скоростью происходит стекание заряда с частиц, что снижает их электризацию.

Перед проведением измерений исследуемый порошок ПВХ обрабатывали водным раствором антистатика. Масса введенного антистатика во всех опытах составляла 1% от массы полимера. Обработку порошка полимера проводили раствором антистатика в течение 1–2 минут при комнатной температуре и тщательном перемешивании. Затем отделяли избыток раствора от полимера с помощью вакуум-фильтра и сушили обработанный полимер в течение 4 часов при температуре 60°C . После этого произ-

водили измерение поверхностного сопротивления. Для измерения поверхностного сопротивления в диапазоне $1 \cdot 10^{16} \dots 1 \cdot 10^8$ Ом использовали измерительную ячейку, принципиальная схема и схема замещения которой представлены на рис. 1.

Измерительная ячейка представляет собой резистивно-емкостную цепь, образованную исследуемым образцом, измерительными электродами, конденсатором и электростатическим вольтметром. Electroды измерительной ячейки выполнены из алюминия, причем электроды 2 и 4 представляют собой круг, электрод 3 – кольцо. Диаметр электрода 4 равняется

90 мм, а внутренний диаметр электрода 3 – 101 мм. Таким образом, эффективная длина измерительной ячейки составляет 29,99 см, а межэлектродное расстояние – 0,55 см. Определение емкости измерительной ячейки (емкости, образованной электродами с измеряемым образцом и электростатическим вольтметром) показало, что ее величина равняется 58 пФ. Для изменения емкости к измерительной ячейке подключали конденсаторы (рис. 1, а). Контроль влажности и температуры окружающей среды осуществляли, помещая измерительную ячейку в термостат с регулируемой влажностью [2].

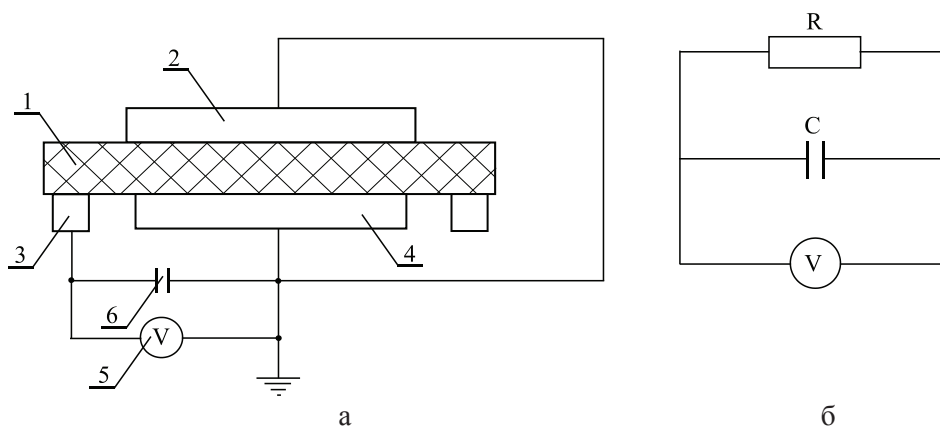


Рис. 1. Принципиальная схема (а) и схема замещения (б) измерительной ячейки: 1 – исследуемый образец; 2 – защитный электрод; 3 – незащищенный электрод; 4 – защищенный электрод; 5 – электростатический вольтметр; 6 – конденсатор

Измерение сопротивления основано на процессе разрядки конденсатора в электрической цепи, содержащей емкостной и резистивный элементы (см. схему замещения на рис. 1). Если конденсатор зарядить, создав на нем постоянное напряжение U_0 и замкнуть его на резистор, то с течением времени напряжение на нем будет убывать вследствие протекания тока в резистивном элементе и разрядки конденсатора.

Согласно второму закону Кирхгофа, электрическое состояние такой цепи будет описываться уравнением

$$RC \frac{dU_c}{dt} + U_c = 0, \quad (1)$$

где R – сопротивление резистивного элемента; U_c – напряжение на конденсаторе; C – емкость конденсатора; t – время.

Решение уравнения (1) представляет собой зависимость

$$U = U_0 \exp\left(-\frac{1}{RC}t\right), \quad (2)$$

где U_0 – начальное напряжение, созданное на конденсаторе.

В полулогарифмических координатах уравнение (2) представляет собой прямо пропорциональную зависимость

$$\ln U = \ln U_0 - \frac{1}{RC}t. \quad (3)$$

Уравнение (3) позволяет по экспериментальным данным зависимости напряжения на конденсаторе от времени определить постоянную времени разряда $\tau = RC$ и при известной емкости конденсатора сопротивление измеряемого образца:

$$R = \frac{\tau}{C}. \quad (4)$$

Если значение измеряемого сопротивления ниже величины $1 \cdot 10^8$ Ом, процесс разряда конденсатора емкостью в несколько мкФ протекает достаточно быстро. Для обеспечения достаточной точности измерений необходимо или использовать конденсатор емкостью в сотни мкФ или

мост постоянного тока, обеспечивающий измерение сопротивлений до $1 \cdot 10^8$ Ом. Конденсаторы емкостью в сотни мкФ, рассчитанные на напряжение около 3 кВ, имеют достаточно большие размеры и являются редкостью. Поэтому для измерения сопротивлений в диапазоне $1 \cdot 10^8$ и ниже использовали одианрно-двойной мост постоянного тока Р329.

Удельное поверхностное сопротивление образцов определяли с учетом размеров измерительной ячейки (длины измерительных электродов L и расстояния между ними l) по уравнению [4]:

$$\rho = R \frac{L}{l}. \quad (5)$$

Измерения проводили при температуре 50°C и влажности 80%. Начальное напряжение на установке при измерении сопротивлений в диапазоне $1 \cdot 10^{16} \dots 1 \cdot 10^8$ Ом создавали высоковольтным источником электрической энергии ($U_0 = 2450$ В). В процессе эксперимента контролировали изменение напряжения на конденсаторе измерительной установки во времени.

Результаты зависимости изменения напряжения на измерительной установке от времени процесса представлены на рис. 2–4.

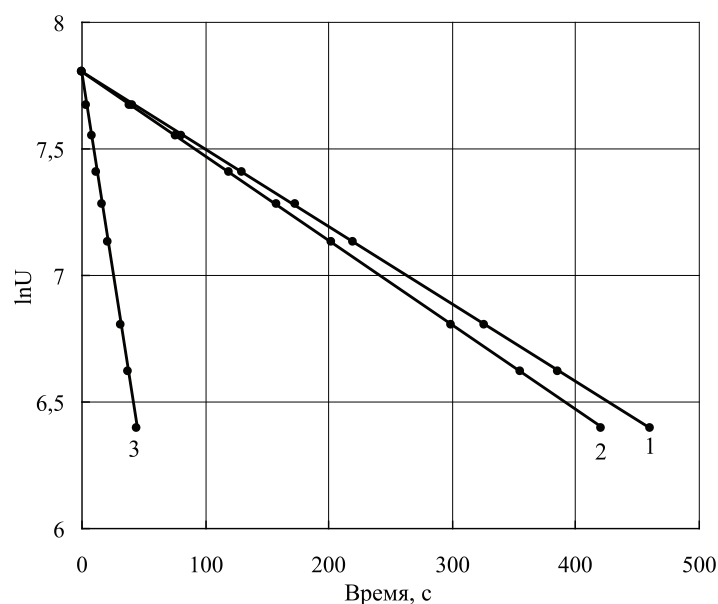


Рис. 2. Зависимость логарифма напряжения от времени:
1 – необработанный ПВХ; 2 – ПВХ, обработанный динатриевой солью хромотроповой кислоты;
3 – ПВХ, обработанный доном; емкость конденсатора 1780 нФ

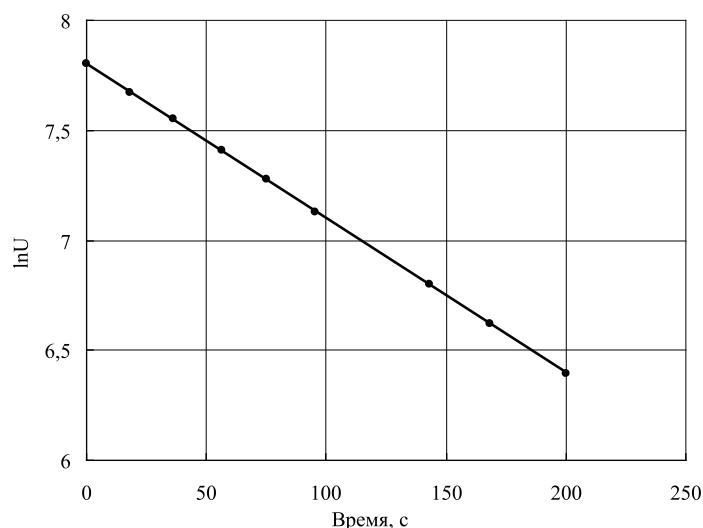


Рис. 3. Зависимость логарифма напряжения от времени.
ПВХ, обработанный шпаном – 20; емкость конденсатора 0,3114 мкФ

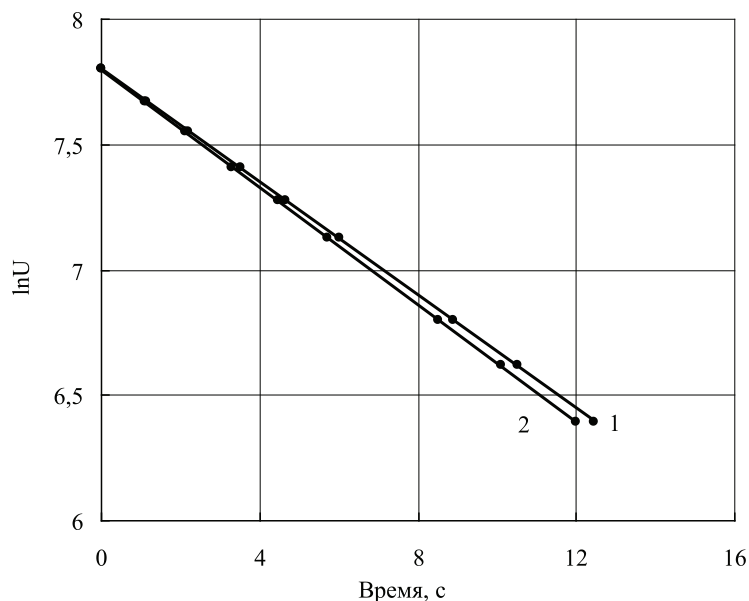


Рис. 4. Зависимость логарифма напряжения от времени: 1 – ПВХ обработанный сульфанолам; 2 – ПВХ, обработанный ВПК-402; емкость конденсатора 2 мкФ

Линейный вид зависимости $\ln U = f(t)$ указывает на то, что процесс разрядки измерительной установки протекает в соответствии с моделью, описанной выше. Обработка опытных данных методом наименьших квадратов позволила получить уравнения $\ln U = f(t)$ в аналитическом виде. Погрешность в описании экспериментальных результатов, оцененная в соответствии

с распределением Стьюдента для 95% доверительной вероятности, составила величину не более 1,2%.

В табл. 1 приведены уравнения зависимости $\ln U = f(t)$, постоянная времени разряда (τ), значение емкости конденсатора (C), применяемого при измерении и величина удельного поверхностного сопротивления (ρ) ПВХ.

Таблица 1

Тип антистатика	Уравнение зависимости $\ln U = f(t)$	τ , с	C , Ф	ρ , Ом
Антистатик отсутствует	$\ln U = 7,8021 - 0,00306t$	326,8	$1,78 \cdot 10^{-9}$	$1,001 \cdot 10^{13}$
Динариевая соль хромотроповой кислоты	$\ln U = 7,8047 - 0,00335t$	298,51	$1,78 \cdot 10^{-9}$	$9,145 \cdot 10^{12}$
Дон	$\ln U = 7,8014 - 0,03168t$	31,566	$1,78 \cdot 10^{-9}$	$9,670 \cdot 10^{11}$
Шпан-20	$\ln U = 7,8033 - 0,00703t$	142,25	$3,114 \cdot 10^{-7}$	$2,491 \cdot 10^{10}$
Сульфанолам	$\ln U = 7,8028 - 0,11279t$	8,8660	$2 \cdot 10^{-6}$	$2,417 \cdot 10^8$
ВПК-402	$\ln U = 7,7995 - 0,1174t$	8,5179	$2 \cdot 10^{-6}$	$2,322 \cdot 10^8$
Текстапав	измерение мостом			$2,236 \cdot 10^6$
Алкапав	измерение мостом			$1,298 \cdot 10^6$

Время, необходимое для стекания электрического заряда с наэлектризованного ПВХ, можно оценить по постоянной времени разряда $\tau = RC$. Необходимые для этого величины удельного поверхностного сопротивления приведены в таблице. При расчете поверхностного сопротивления будем считать, что размеры длины и расстояния между элементами технологического оборудования одинаковые, т.е. $\frac{l}{L} = 1$. Для

оценки электрической емкости технологического оборудования используем модель шара, положив характерный размер аппарата около 10 м. В соответствии с вышесказанным электрическую емкость технологического оборудования можно оценить величиной порядка $1 \cdot 10^{-9}$ Ф.

В табл. 2 приведены оценочные значения постоянной времени разряда (τ) ПВХ при его электризации.

Таблица 2

Тип антистатика	τ
Антистатик отсутствует	2,8 час
Динатриевая соль хромотроповой кислоты	2,5 час
Дон	16,1 мин
Шпан-20	24,9 с
Сульфанола	0,24 с
ВПК-402	0,23 с
Текстапав	$2,24 \cdot 10^{-3}$ с
Алкапав	$1,30 \cdot 10^{-3}$ с

Зная постоянную времени разряда по уравнению (3), нетрудно рассчитать время, за которое с ПВХ будет стекать нужное количество электричества. Так, для стекания 90% заряда в случае ПВХ, не обработанного антистатиком, необходимо 6,4 часа. В случае обработки сульфанола или ВПК-402 время стекания 90% заряда становится равным 0,55 и 0,53 с соответственно. А при обработке ПВХ такими антистатиками, как текстапав или алкапав, время стекания 90% заряда уменьшается до $5,2 \cdot 10^{-3}$ и $3,0 \cdot 10^{-3}$ с соответственно. Таким образом, для обработки ПВХ с целью борьбы со статическим электричеством наилучшей является его обработка такими антистатиками, как текстапав или алкапав.

Список литературы

1. Станкевич К.И., Бей Т.В., Пестова А.Г. Гигиена применения полимеров. – Киев: Здоровье, 1976. – 144 с.
2. Максимов Б.К., Обух А.А. Статическое электричество в промышленности и защита от него. – М.: Энергия, 1978. – 80 с.

3. Василенок Ю.И. Защита полимеров от статического электричества. – Л.: Химия, 1975. – 192 с.

4. Гумерова Л.Ф., Сигаева Н.Н., Кирюхин А.М., Рахимкулов Р.А., Быковский Н.А., Свинухов А.М., Хайруллин Р.Ф. Антистатическая обработка гранул из вспенивающегося полистирола // Башкирский химический журнал. – 2010. – Т. 17, № 2. – С. 103–108.

5. Попов Б.Г., Дроздов Н.Г. Статическое электричество в химической промышленности – Л.: Химия, 1971. – 207 с.

References

1. Stankevich K.I., Bey T.V., Pestova A.G. *Gigiena primeneniya polimerov* [Hygiene of use of polymers]: Kiev, Health, 1976, pp. 144.
2. Maksimov B.K., Obuh A.A. *Sticheskoje elektrichestvo v promyshlennosti i zaschita ot nego* [Static electricity in the industry and protection against it]: Moscow, Energy, 1978, pp. 80.
3. Vasilenok Yu.I. *Zaschita polimerov ot sticheskoego jelektrichestva* [Protection of polymers against static electricity]: Leningrad, Chemistry, 1975, pp. 192.
4. Gumerova L.F., Sigaeva N.N., Kiryukhin A.M., Rakhimkulov R.A., Bykovskiy N.A., Svinukhov A.M., Khayrullin R.F. *Antistaticheskaya obrabotka granul iz vspenivayushhegosya polistirola* [Antistatic processing of granules from the foaming polystyrene]: Baskirskii khimicheskii zhurnal, 2010, Vol. 17 no. 2, pp. 103–108.
5. Popov B.G., Drozdov N.G. *Sticheskoje jelektrichestvo v himicheskoy promyshlennosti* [Static electricity in chemical industry]: Leningrad, Chemistry, 1971, pp. 207.

Рецензенты:

Дмитриев Ю.К., д.т.н., профессор, филиал ФГБОУ ВПО «Уфимский государственный нефтяной технический университет», г. Стерлитамак;

Галиев А.Л., д.т.н., профессор, директор, филиал ФГБОУ ВПО «Уфимский государственный авиационный технический университет», г. Стерлитамак.

Работа поступила в редакцию 28.12.2014.