

УДК 519.246.8

АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЯ ВРЕМЕННЫХ РЯДОВ ХИМИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ, ОБРАЗУЮЩИХСЯ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ ПЕЧАТНЫХ ПЛАТ

© 2018 Т.Е. Родионова, Г.Р. Кадырова

Ульяновский государственный технический университет

Статья поступила в редакцию 01.11.2018

В статье приводятся результаты исследования временных рядов химических показателей промышленных сточных вод образующихся при производстве печатных плат и электронных блоков. Печатные платы соединяют все электронные компоненты сложного технического устройства между собой, в том числе автоматизированных комплексов связи и систем управления. Технологический процесс производства печатных плат включает в себя последовательность химических обработок. Реализация этих операций в производстве достаточно сложна, так как хромовые соединения токсичны и необходимы меры по обезвреживанию отходов. Стабильный химический состав сточных вод с одной стороны свидетельствует о бесперебойном характере технологического процесса производства, а с другой позволяет применять определенный комплекс очистных методов. Периодически измеряемые значения химических показателей образуют временные ряды, которые используются для исследования производственных процессов. Для контроля стабильности любого процесса сначала необходимо провести исследование его характеристик, построить описательные модели, поверить их качество. По полученным характеристикам, используя методы статистического анализа, можно получить модель процесса. В качестве исходных данных использовались измеренные химические показатели состава производственных сточных вод по двум колодцам (106 и 127) за несколько лет. Для выполнения расчетов были использованы статистический пакет Statistica и разработанное программное обеспечение. Анализируя средние значения и их дисперсию можно подтвердить вывод, что состав сточных в колодцах существенно отличается. Различия значений показателей в разных колодцах также можно объяснить изменениями в технологических процессах или работой фильтров сточных вод. Следует отметить наличие корреляционной связи средней силы между показателями кислотности и фосфатами. Остальные показатели химического состава промышленных сточных вод не связаны друг с другом линейной зависимостью. Перед построением прогноза для выбранных химических показателей нестационарные временные ряды были приведены к стационарности. Из всех построенных моделей для показателя кислотности признана наилучшей ARIMA (2,0,1). Для построения регрессионных моделей в качестве отклика (зависимой переменной Y) был использован общий объем сточных вод в данный колодец.

Ключевые слова: Временной ряд, описательные статистики, корреляционный анализ, авторегрессия, регрессионный анализ.

Печатные платы – это электронное сердце любого современного устройства. С помощью печатных плат соединяются все электронные компоненты сложного технического устройства между собой, в том числе автоматизированных комплексов связи и систем управления. Технологический процесс производства печатных плат включает в себя последовательность химических обработок, таких как промывка в воде, нейтрализация в растворе NaOH, нейтрализация в растворе HCl, промывка в растворе соляной кислоты, травление в сернохромовой смеси. Реализация этих операций в производстве достаточно сложна, так как хромовые соединения токсичны и необходимы меры по обезвреживанию отходов. Таким образом, в процессе производства в сточные

промышленные стоки попадают органические и неорганические (в том числе и токсические) примеси. Проблема очистки сточных вод при производстве печатных план является актуальной. Стабильный химический состав сточных вод с одной стороны свидетельствует о бесперебойном характере технологического процесса производства, а с другой позволяет применять определенный комплекс очистных методов [1, 2]. Для контроля стабильности любого процесса сначала необходимо провести исследование его характеристик, построить описательные модели, поверить их качество, и, в дальнейшем перейти к прогнозу состояния процесса по текущим характеристикам [3, 4].

В данной статье приводятся результаты регрессионного моделирования химического состава сточных вод, образующихся при производстве печатных плат и электронных схем. Периодически измеряемые значения показателей образуют временные ряды, которые используются для исследования производственных

Родионова Татьяна Евгеньевна, кандидат технических наук, доцент кафедры «Прикладная математика и информатика». E-mail: t.rodionova@ulstu.ru

Кадырова Гульнара Ривальевна, кандидат технических наук, доцент кафедры «Прикладная математика и информатика». E-mail:gulya@ulstu.ru

процессов. По полученным характеристикам, используя методы регрессионного анализа, можно получить модель процесса, прогноз его поведения, следить за параметрами качества технологического процесса производства [5,6].

В качестве исходных данных использовались измеренные химические показатели состава производственных сточных вод ФНПЦ ОАО «НПО «Марс», которое специализируется на производстве двусторонних и многослойных печатных плат 4-5 классов точности и электронных модулей. В данной работе рассматриваются показатели по двум колодцам (106 и 127) за несколько лет. Набор исходных данных включает в себя следующие характеристики (ВСК мг/л):

X_1 – определяемое вещество рН (кислотность);

X_2 – определяемое вещество NO_2 (диоксид азота);

X_3 – определяемое вещество Fe (железо);

X_4 – определяемое вещество Cu^{+2} (оксид меди);

X_5 – определяемое вещество нефтепродукты;

X_6 – определяемое вещество P (фосфор);

X_7 – определяемое вещество NH_4 (аммиак).

Производилось периодические измерения данных показателей, из которых были сформированы временные ряды для проведения исследований. Для выполнения расчетов были использованы статистический пакет Statistica и разработанное программное обеспечение [7, 8].

Предварительное исследование исследуемых рядов значений состояло в определении их описательных характеристик [9]. В таблице 1 приведены средние значения определяемых хи-

мических веществ за 2017 год по двум колодцам.

Можно предположить, что данные колодцы используются для промышленных стоков на разных этапах производства. В приведенной таблице значения средних показателей аммиака, нитритов и фосфатов различаются в несколько раз. При стабильном характере производства для этих колодцев необходимы разные методы очистки. Анализируя средние значения и их дисперсию по данным с 2006 года, можно подтвердить вывод, что характеристики колодцев различны. Так, например, показатели кислотности и меди достаточно близки, то аммиака больше в колодце 106 в 5 раз, фосфора в 2 раза; в то же время показатель нефтепродуктов в колодце 127 больше в 2 раза. Различия значений показателей в разных колодцах также можно объяснить изменениями в технологических процессах или работой фильтров сточных вод.

Были получены и исследованы автокорреляционные функции для каждого ряда показателей. Расчеты показали наличие автокорреляции у показателей X_2, X_4, X_6 для двух колодцев, вероятность принятия гипотезы о присутствии автокорреляции p больше 0,5. Анализ гистограмм показал, что исследуемые временные ряды не распределены нормально [10, 11]. Для исследования зависимости между рассматриваемыми химическими показателями был проведен корреляционный анализ, матрица парных коэффициентов корреляции для колодца 106 приведена в таблице 2, а для колодца 127 в таблице 3.

В результате анализа данной матрицы можно сделать вывод о наличии корреляционной связи средней силы между показателями кис-

Таблица 1. Средние значения веществ за 2017 год

	Определяемое вещество, мг/л						
	кислотность	аммиак	нитриты	фосфаты	железо	медь	нефтепродукты
	рН	NH_4^+	NO_2^-	P	Fe _{общ.}	Cu ⁺²	н/прод
Колодец 106	7,80	30,55	0,747	1,90	1,47	0,016	0,20
Колодец 127	7,62	5,76	1,445	0,84	0,82	0,018	0,54

Таблица 2. Коэффициенты корреляции для колодца 106

	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6	X_7
X_1	1						
X_2	0,228712	1					
X_3	0,244162	-0,03467	1				
X_4	0,147059	0,05606	0,214547	1			
X_5	-0,26479	0,013664	-0,07494	-0,0269	1		
X_6	0,437847	-0,05646	0,388466	0,180907	-0,04431	1	
X_7	0,524476	-0,0755	0,33031	0,038049	0,003999	0,650162	1

Таблица 3. Коэффициенты корреляции для колодца 127

	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6	X_7
X_1	1						
X_2	-0,11404	1					
X_3	-0,24901	0,119806	1				
X_4	0,077679	-0,03882	-0,00899	1			
X_5	-0,30132	0,170884	0,226333	-0,06755	1		
X_6	-0,56969	0,05171	0,088816	0,025106	0,08523	1	
X_7	0,01433	0,342622	-0,01114	0,145089	-0,08613	0,075975	1

лотности и аммиака, а также между фосфатами и аммиаком. В этом случае можно говорить о наличии мультиколлинеарности, это следует учитывать при построении регрессионных моделей [12, 13, 14].

В данном случае следует отметить наличия корреляционной связи средней силы между показателями кислотности и фосфатами. Остальные показатели химического состава промышленных сточных вод не связаны друг с другом линейной зависимостью.

Для построения регрессионных моделей вида $y = f(x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6, x_7) + \varepsilon$ для данного технологического процесса в качестве отклика (зависимой переменной Y) был использован общий объем сточных вод в данный колодец. Корреляционный анализ показателей колодцев 106 и 127 показал отсутствие линейных связей рассматриваемых показателей с общим объемом сточных вод. Регрессионная модель, полученная по методу наименьших квадратов, не соответствовала требованиям оптимальной модели, так как только два из семи показателей были значимы и множественный коэффициент корреляции был меньше 0,5 [15, 16, 17].

Были получены и исследованы авторегрессионные модели для рассматриваемых химических показателей [18]. Рассматривались авторегрессии 1 порядка. Для проверки значимости коэффициентов регрессии использовался критерий Стьюдента, для оценки качества модели - критерий Фишера. Практически для всех полученных моделей по критерию Стьюдента и критерию Фишера построенная модель считалась качественной, но по критерию R^2 уравнение не является правильным и актуальным для исследования.

Для получения прогноза по исследуемым временным рядам использовался пакет Statistica, ряды проверялись на стационарность и строилась модель ARIMA. Далее осуществлялся выбор наилучшей модели исследование остатков. Перед построением прогноза для выбранных показателей нестационарные временные ряды были приведены к стационарности.

Из всех построенных моделей для показателя X_1 признана наилучшей ARIMA (2,0,1), т.к. остатки модели близки к нормальному распределению и наблюдается отсутствие автокорреляции, модель включает все значимые коэффициенты.

Применение регрессионного моделирования с учетом выявленных особенностей данных временных рядов химических показателей позволит построить модель достаточно точно описывающую технологический процесс для каждого из колодцев. Возможно при этом из временного ряда данных необходимо будет исключить выявленные аномальные наблюдения [19, 20]. В дальнейшем планируется получение регрессионных моделей данного технологического процесса на основе отбора в модель только значимых или независимых по коэффициенту корреляции показателей. Выполненное предварительное исследование позволяет надеяться на получение хорошей описательной модели процесса, которую возможно будет использовать и для прогноза.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Клячкин В.Н., Карпунина И.Н. Статистические методы оценки стабильности функционирования технических систем // Надежность и качество сложных систем. 2018. № 2 (22). С. 36-42.
2. Клячкин В.Н. Система статистического контроля многопараметрического технологического процесса // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. 2008. № 10. С. 30-33.
3. Афанасьева Т.В., Заварзин Д.В., Курлов А.П. Обнаружение аномальных состояний в поведении процессов в организационно-технических системах // В сборнике: ИНФОРМАТИКА, МОДЕЛИРОВАНИЕ, АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ VIII Всероссийская школа-семинар аспирантов, студентов и молодых ученых (ИМАП-2016). 2016.

- С. 69-75.
4. Клячкин В.Н., Кувайскова Ю.Е., Бубырь Д.С. Прогнозирование состояния объекта с использованием систем временных рядов // Радиотехника. 2015. № 6. С. 45-47.
 5. Родионова Т.Е. Применение адаптивного регрессионного моделирования для описания функционирования технического объекта // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2014. Т. 16. № 6-2. С. 572-575.
 6. Родионова Т.Е. Описание функционирования технического объекта регрессионными моделями // Научный вестник УВАУ ГА(И). 2017. № 9. С. 175-180.
 7. Валеев С.Г., Кадырова Г.Р. Автоматизированная система для решения задач метода наименьших квадратов // Известия высших учебных заведений. Геодезия и аэрофотосъемка. 1999. № 6. С. 124-130.
 8. Валеев С.Г., Кувайскова Ю.Е., Куркина С.В., Фасхутдинова В.А. Программный комплекс для обработки временных рядов // Вопросы современной науки и практики. Университет им. В.И. Вернадского. 2008. Т. 2. № 4 (14). С. 102-107.
 9. Подкорытова О.А., Соколов М.В. Анализ временных рядов: учебное пособие для бакалавриата и магистратуры – М.: Издательство Юрайт, 2016. –266 с.
 10. Крашенинников В.Р., Кувайскова Ю.Е. Прогнозирование динамики объекта с использованием авторегрессионных моделей на цилиндре // Радиотехника. 2016. № 9. С. 36-39.
 11. Кувайскова Ю.Е., Клячкин В.Н., Бубырь Д.С. Прогнозирование состояния технического объекта на основе мониторинга его параметров // В сборнике: XII всероссийское совещание по проблемам управления ВСПУ-2014 Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН. 2014. С. 7616-7626.
 12. Родионова Т.Е. Возможности применения регрессионных моделей для описания технического объекта // Радиозэлектронная техника. 2016. №1(9). С.178-182.
 13. Жуков Д.А., Клячкин В.Н. Применение метода главных компонент при диагностике состояния технического объекта // В сборнике: Прикладная математика и информатика: современные исследования в области естественных и технических наук Материалы IV научно-практической международной конференции (школы-семинара) молодых ученых: в 2 частях. 2018. С. 109-112.
 14. Кувайскова Ю.Е., Валеев С.Г. Расширение подхода динамического регрессионного моделирования для обработки систем временных рядов // В сборнике: IN MEMORIAM: СУЛТАН ГАЛИМЗЯНОВИЧ ВАЛЕЕВ. Сборник памяти С. Г. Валеева. Ульяновск, 2016. С. 69-74.
 15. Валеев С.Г., Мурнаева Г.В. Решение задач контроля качества продукции на основе оптимальных регрессионных моделей технологического процесса // Математические методы и модели: теория, приложения и роль в образовании. 2009. № 1. С. 31-33.
 16. Иванова А.В., Клячкин В.Н. Статистический анализ данных о вибрациях гидроагрегата // В сборнике: Прикладная математика и информатика: современные исследования в области естественных и технических наук Материалы III научно-практической всероссийской конференции (школы-семинара) молодых ученых. 2017. С. 218-221.
 17. Козлов А.О., Великанов А.М., Валеев С.Г. Методика обработки техногенных временных рядов на основе адаптивных динамических регрессий // Известия ЮФУ. Технические науки. 2012. № 6 (131). С. 82-86.
 18. Кувайскова Ю.Е., Донская А.В. Исследование эффективности arch-подхода при прогнозировании состояния технического объекта // В сборнике: ИНФОРМАТИКА И ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА. Сборник научных трудов VII Всероссийской научно-технической конференции аспирантов, студентов и молодых ученых ИВТ-2015. УЛЬЯНОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ. 2015. С. 316-321.
 19. Кувайскова Ю.Е., Алешина А.А. Применение адаптивного регрессионного моделирования при описании и прогнозировании технического состояния объекта // Автоматизация процессов управления. 2016. № 4 (46). С. 35-40.
 20. Афанасьева Т.В. Перспективы и проблемы методов анализа временных рядов // В сборнике: Информатика, моделирование, автоматизация проектирования. ИМАП - 2010 сборник научных трудов Российской школы-семинара аспирантов, студентов и молодых ученых. Министерство образования и науки Российской Федерации, Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования Ульяновский государственный технический университет; ответственный редактор: Войт Н.Н. 2010. С. 59-67.

**ANALYSIS OF THE RESEARCH RESULTS OF TIME SERIES OF CHEMICAL PROPERTIES,
THAT APPEARS DURING THE PRINTED BOARD CONSTRUCTION**

© 2018 T.E. Rodionova, G.R. Kadyrova

Ulyanovsk State Technical University

This article contains results of research of time series of industrial wastewater chemical properties, that appears during the printed board and electronic blocks construction. Printed boards are connect all electronic devices with each other, include automated communication systems and control systems. Technological process of printed board construction include sequence of chemical treatments. Realization of this operation during manufacturing is pretty hard because chromium compounds are toxic and waste disposal measures needed. Stable wastewater chemical composition on the one hand confirm the technological process was uninterrupted, but on the other hand allow to apply a specific set of purification methods. Values of periodic chemical properties measures forms the time series, that uses to technological process research. For stability control of any process, at first is necessary to research its characteristics, build descriptive models, and check their quality. According to the received characteristics, using statistic analysis methods, we can obtain the process model. As the source data used measured chemical properties of industrial wastewater from two wells (106 and 127) during several years. For calculations used statistical software "STATISTICA" and some software developed for this case. Analyzing the average values and their dispersion, we can confirm the conclusion that the wastewater composition in different wells differs significantly. Differences in the values of indicators in different wells can also be explained by changes in technological processes or wastewater filters working. Also noted medium power correlation between the indicators of acidity and phosphates. The remaining indicators of industrial wastewater chemical composition are not related to each other by linear dependence. Before building a forecast for selected chemical indicators, non-stationary time series were reduced to stationarity. Of all the models built for acidity indication ARIMA (2,0,1) selected as best. To build regression models as response (dependent variable Y) used total wastewater volume in selected well.

Keywords: time series, descriptive statistics, corellation analysis, autoregression, regressive analysis.

Tatiana Rodionova, Candidate of Technics, Associate Professor at the Applied Mathematics and Informatics Department. E-mail: t.rodionova@ulstu.ru
Gulnara Kadyrova, Candidate of Technics, Associate Professor at the Applied Mathematics and Informatics Department. E-mail: gulya@ulstu.ru