
МОДЕЛИРОВАНИЕ ВОДОПОТРЕБЛЕНИЯ БЮДЖЕТНЫМИ ОРГАНИЗАЦИЯМИ

Гончаров Геннадий Сергеевич, асп.

Саратовский социально-экономический институт Российского экономического университета им. Г.В. Плеханова, ул. Радищева, 89, Саратов, Россия, 410000;
e-mail: ggs-saratov@ya.ru

Цель: повышение эффективности планирования энергосберегающих мероприятий в бюджетном секторе экономики. *Обсуждение:* в статье предложен подход к построению модели для оценки уровня потребления воды бюджетными организациями, основанный на анализе статистики энергетических паспортов, составленных по результатам проведения энергетических обследований бюджетных учреждений на территории г. Саратова и Саратовской области. *Результаты:* по типу потребления воды выделены 4 группы учреждения бюджетной сферы. Исследованы функции потребления энергоресурсов в рамках каждой группы.

Ключевые слова: бюджетное учреждение, потребление воды, разделение смеси случайных распределений, EM-алгоритм.

Введение

Проблема сбережения энергоресурсов и воды всегда остро стояла в России. Особую актуальность вопросы энергосбережения приобрели в связи с принятием Федерального закона № 261-ФЗ «Об энергосбережении и повышении энергетической эффективности» от 23 ноября 2009 г. Бюджетные учреждения, согласно данному закону, обязаны были организовать проведение первого энергетического обследования до 31 декабря 2012 года. Таким образом, впервые были получены достоверные данные об объеме использования энергоресурсов, что дало возможность провести анализ энергопотребления бюджетного сектора экономики.

Целью данной работы является построение статистической модели водопотребления, позволяющей анализировать и прогнозировать потребление воды бюджетными учреждениями различных типов.

Информационной основой данного исследования послужили данные энергетических паспортов, составленных по результатам проведения энергетических обследований на территории города Саратова и Саратовской области в 2011, 2012 годах.

Указ Президента Российской Федерации № 579 от 13 мая 2010 г. устанавливает требование, при оценке органов исполнительной власти субъектов Российской Федерации и органов местного самоуправления, учитывать

показатели, отражающие эффективность их деятельности в области энергосбережения и повышения энергетической эффективности. В том числе вводится показатель удельной величины потребления энергетических ресурсов (электрической и тепловой энергии, воды, природного газа) муниципальными бюджетными учреждениями (из расчета на 1 кв. метр общей площади и (или) одного человека) [5].

Для данного исследования в результате анализа энергетических паспортов были отобраны 85 бюджетных организаций, в отношении которых достоверно известно количество потребленной воды за 2010 г. Для статистической обработки и анализа данных был использован пакет программ GRETЛ (GNU Regression Econometrics Time-series Library), предназначенный для практической реализации вычислительных процедур эконометрического моделирования.

Анализ показателей водопотребления

Стандартный статистический анализ экономических показателей строится, как правило, на предположении, что значения анализируемых показателей соответствуют нормальному распределению. Рассмотрим характер распределения показателей водопотребления.

Предположим, что данная совокупность по удельному водопотреблению распределена нормально. Применив критерий согласия χ^2 («хи-квадрат») Пирсона к исследуемой совокупности, обнаружим, что гипотеза о нормальном законе распределения должна быть отвергнута, т.к. $\chi^2_{набл} = 102,262$; $\chi^2_{кр} = 62,1323$; $\chi^2_{набл} > \chi^2_{кр}$ при уровне значимости $\alpha = 0,05$ и числе степеней свободы 82.

Результаты статистической обработки приведены ниже на рис. 1.

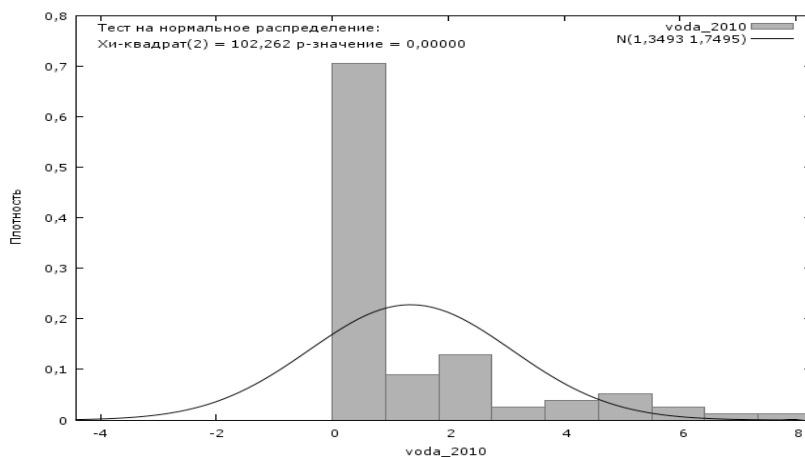


Рис. 1. Гистограмма плотности распределения удельного потребления воды бюджетными учреждениями г. Саратова и Саратовской обл. в 2010 г. (куб.м / кв. м)

Из рис. 1. видно, что гистограмма изменения удельного потребления воды достаточно плохо совмещается с графиком нормальной плотности рас-

пределения, а эмпирический уровень значимости (р-значение) близок к нулю [3], что накладывает определенные ограничения в применении математико-статистических методов анализа. Тем не менее, визуально оценивая вид данной гистограммы, можно сделать предположение о том, что данная совокупность образована смесью случайных распределений, т.е. существуют определенные группы потребителей воды среди организаций бюджетной сферы, внутри которых распределение удельного водопотребления можно описать нормальным законом.

Следует отметить, что разделив исходную совокупность на группы потребителей по организационной форме учреждений и применив критерий согласия χ^2 («хи-квадрат») Пирсона к каждой группе, получим довольно противоречивые результаты. Распределение рассматриваемой случайной величины внутри каждой группы не всегда подчиняется нормальному закону распределения (при уровне значимости $\alpha=0,05$; правосторонней вероятности 0,95 и известном значении числа степеней свободы), что может говорить о неверности выбранного критерия разбиения, а также ставит задачу определения оптимального количества групп потребителей.

Для разделения смеси нормальных распределений и выделения каждой из групп используем методы кластерного анализа, основанные на применении одного из вариантов EM-алгоритма [1, 2]. Таким образом, решим сопутствующую задачу: установим оптимальное, в смысле наибольшего правдоподобия, количество групп для разбиения исходной выборки. В табл. 1 приведены результаты применения EM-алгоритма к исходной выборке для разного количества компонентов, выделяемых в смеси распределений.

Таблица 1

Результаты применения EM-алгоритма для анализа распределения удельного потребления воды бюджетными учреждениями г. Саратова и Саратовской обл. (куб. м / кв. м)

Количество компонент	Вес компоненты	Средние значения	Дисперсия	Логарифм функции правдоподобия
2	0,39554	2,9569	1,8172	-29,31
	0,60446	0,29735	0,2132	
3	0,19031	1,9476	0,47605	-23,29
	0,64008	0,30922	0,22337	
	0,16962	4,603	1,523	
4	0,29347	0,51398	0,17848	-8,105
	0,18662	1,9605	0,45205	
	0,34991	0,14206	0,062041	
	0,17	4,6054	1,513	
5	0,29316	0,51383	0,17816	-4,967
	0,023307	7,2408	0,10616	
	0,35024	0,1421	0,062094	
	0,12314	4,5412	0,87371	
	0,21015	2,0031	0,49435	

Из приведенных результатов видно, что функция правдоподобия с вводом пятой компоненты продолжает расти, вместе с тем пятая добавляемая компонента имеет существенно более малый вес, чем предыдущие. Поэтому разбиение исходной выборки на 4 группы в данном случае является оптимальным.

Разбиение на 4 группы также достаточно хорошо соотносится с графиком ядерной оценки плотности распределения. Результаты такой оценки, часто называемой оценкой Розенблатта – Парзена [4], приведены на рис. 2.

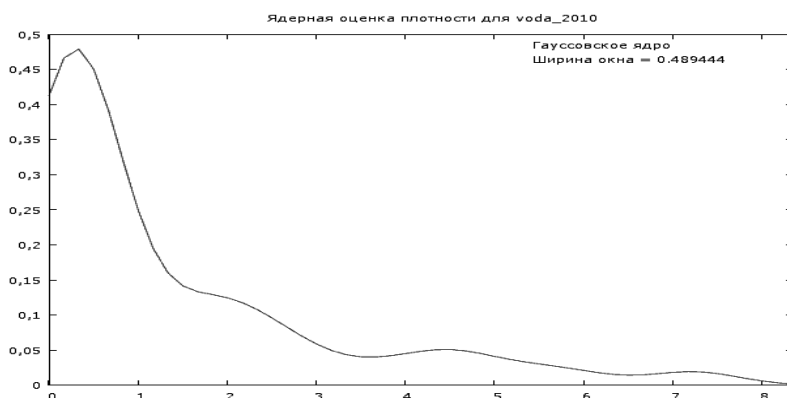


Рис. 2. График ядерной оценки плотности распределения удельного потребления воды бюджетными учреждениями г. Саратова и Саратовской обл. в 2010 г. (куб. м / кв. м)

Как мы видим на рис. 2, оценка Розенблатта – Парзена также раскрывает смешанную природу данных, в отличие от унимодальной параметрической модели, представленной на рис. 1.

Применим критерий согласия χ^2 («хи-квадрат») К. Пирсона для каждой из четырех групп потребителей, выделенных в табл. 1. Обнаружим, что гипотеза о нормальном законе распределения принимается для каждой из групп при достаточно высоком уровне значимости (р-значение). Результаты приведены ниже в табл. 2.

Таблица 2

Результаты применения критерия согласия χ^2 («хи-квадрат») К. Пирсона к каждой из четырех групп потребителей

Наименование	$\chi^2_{\text{набл}}$	$\chi^2_{\text{кр}}$	Число степеней свободы	H_0	Р-значение
Вся выборка	102,262	62,1323	82	отвергается	0,00
Группа 1	0,406	12,338	22	принимается	0,82
Группа 2	1,068	3,9403	10	принимается	0,59
Группа 3	0,894	16,1514	27	принимается	0,64
Группа 4	0,724	6,57063	14	принимается	0,70

Результаты теста Колмогорова-Смирнова для каждой из выделенных групп показывают, что наилучшим образом моделируемую функцию распределения потребления воды, в рамках некоторых групп, описывает равно-

мерное распределение. Результаты приведены в табл. 3, где максимальные Р-значения выделены жирным шрифтом.

Таблица 3

Результаты теста Колмогорова-Смирнова

Закон распределения	Р-значение				
	Вся выборка	Группа 1	Группа 2	Группа 3	Группа 4
Нормальное	0,000	0,200	0,174	0,200	0,200
Экспоненциальное	0,001	0,001	0,009	0,003	0,001
Равномерное	0,000	0,215	0,435	0,184	0,995

Анализируя данные об организациях, составляющих каждую из групп, получим следующие результаты:

Группу с максимальным потреблением воды (группа 2) составляют организации, в функциональные обязанности которых входит содержание людей. Потребление воды осуществляется, прежде всего, в прачечных для стирки, в столовых для приготовления пищи, а также на бытовые нужды проживающих. В данную группу входят учреждения здравоохранения (больницы, госпитали, медико-санитарные части), комплексные центры социального обслуживания населения, дома-интернаты. Объем потребления воды в данной категории потребителей оценивается в интервале от 3 до 7,3 куб. м воды на кв. м общей площади.

Группу 4 составляют центры реабилитации, учреждения среднего образования (профессиональные лицеи, техникумы), школы, учреждения дополнительного образования детей (спортивные, музыкальные школы, школы искусств). Потребление воды в данной группе осуществляется, в первую очередь, в столовых для приготовления пищи, на бытовые нужды учащихся (проживающих в общежитиях). Меньший объем потребления объясняется, вероятно, меньшим объемом деятельности, сезонностью работы учреждений и оценивается в интервале от 1,25 до 2,7 куб. м воды на кв. м общей площади.

Группы с наименьшим потреблением воды (группы 3 и 1) составляют учреждения административного назначения, потребление воды в которых осуществляется на бытовые нужды. Профессиональная деятельность, с точки зрения потребителя воды, не связана с временным, либо постоянным содержанием людей, а скорее характеризуется офисным типом работы. Данную группу составляют центры занятости населения, управления социальной поддержки, дома культуры, министерства, администрации и др., а также школы, расположенные в сельских поселениях, минимальное потребление воды в которых обусловлено малым количеством часов работы учреждения, существенно меньшим количеством учащихся по сравнению с городскими школами, а также спецификой системы водоснабжения. Объем потребления воды данной категорией оценивается в интервале от 0,04 до 0,88 куб. м воды на кв. м общей площади.

Более подробная статистика, описывающая обозначенные группы потребителей, представлена в табл. 4.

Таблица 4

Статистика, описывающая группы потребителей воды (куб. м / кв. м)

Наименование	Среднее	Медиана	Минимум	Максимум	Стандартное отклонение
Вся выборка	1,34932	0,560634	0,00414079	7,34664	1,74950
Группа 1	0,525968	0,560634	0,272912	0,881953	0,170504
Группа 2	4,90237	4,61148	2,99848	7,34664	1,33519
Группа 3	0,137466	0,131121	0,00414079	0,255864	0,0573147
Группа 4	1,98169	1,95299	1,25413	2,72914	0,432982

Расположим данные группы в порядке возрастания и построим коробчатую диаграмму для более наглядного представления результатов. Примечательно, что группы 3 и 1 незначительно отличаются друг от друга и характеризуются малым потреблением (меньше 1 куб. м воды на 1 кв. м общей площади). Результаты представлены на рис. 3.

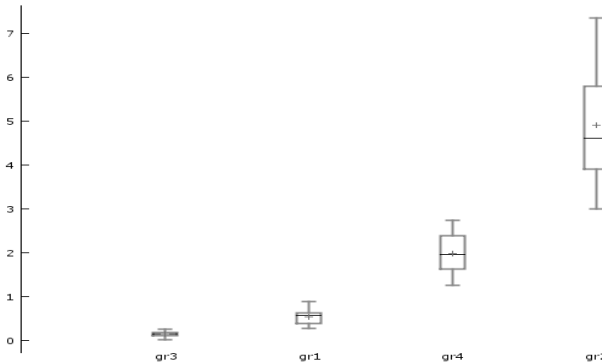


Рис. 3. Коробчатая диаграмма групп потребителей воды

Также следует отметить, что при анализе данных потребления воды бюджетным сектором в период с 2008 по 2011 год по алгоритму, описанному выше, выявленные группы потребителей сохраняются, что позволяет проследить динамику потребления в рамках каждой группы за указанный период. На рис. 4 приведены данные о динамике удельного потребления воды в каждой из групп потребителей.

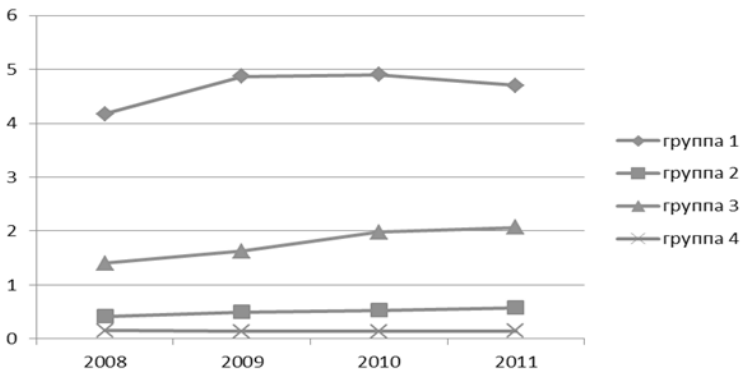


Рис. 4. Динамика водопотребления в рамках каждой группы за период с 2008 по 2011 гг.

Как видно из кривых, приведённых на рис. 4, показатели водопотребления внутри каждой из групп меняются плавно, оставаясь стабильными на протяжении нескольких лет.

Заключение

Таким образом, полученные результаты позволяют сделать следующие выводы:

1. При анализе энергопотребления бюджетных учреждений необходимо группировать их не по организационной форме, а по типу энергопотребления и исследовать функцию потребления энергоресурсов в рамках каждой группы. Это связано с тем, что типы бюджетных учреждений часто схожи между собой по типу энергопотребления и не всегда имеет смысл разбивать исходную совокупность на группы по форме учреждений и исследовать функцию потребления в рамках каждой формы. А задача объединения некоторых форм учреждений в группы опять же ставит вопрос о поиске наилучшего критерия.

2. Все учреждения бюджетной сферы по типу потребления воды могут быть разбиты на 4 группы. В пределах каждой группы статистические характеристики значений удельного потребления описываются равномерным и нормальным распределением, что позволяет проводить обоснованное нормирование и прогнозирование в рамках каждой группы потребителей. Исследование также позволяет повысить эффективность планирования энергосберегающих мероприятий в бюджетном секторе экономики.

Список источников

1. Гончаров Г.С., Гусятников В.Н. Моделирование потребления электроэнергии учреждениями бюджетного сектора // *Энергобезопасность и энергосбережение*, 2014, no. 1, с. 15-19.
2. Гусятников П.В. Оптимизация модели для оценки уровня возможных потерь при дефолте // *Вестник Саратовского государственного социально-экономического университета*, 2012, no. 3, с. 118-120.
3. Куфель Т. *Эконометрика. Решение задач с применением пакета программ GRETL*. Москва, Горячая линия-Телеком, 2007. 200 с.
4. Расин Д. Непараметрическая эконометрика: вводный курс // *Квантиль*, 2008, no. 4, с. 7-56.
5. Указ Президента РФ от 13 мая 2010 г. № 579 // *Российская газета*, no. 5184, 2010, 18 мая.

WATER CONSUMPTION SIMULATION IN PUBLIC SECTOR

Goncharov Gennady Sergeevich, graduate student

Saratov Socio-Economic Institute, Branch of Plekhanov Russian University of Economics,
Radischeva st., 89, Saratov, Russia, 410000; e-mail: ggs-saratov@ya.ru

Purpose: improving the efficiency of the planning of energy saving measures in the public sector. *Discussion:* This paper proposes an approach to the construction of a model for assessing the level of water consumption by budget organizations, based on the analysis of statistical energy certificates drawn up by the results of energy audits of public institutions in Saratov and the Saratov region. *Results:* We have identified 4 groups of public sector institutions by type of water consumption and investigated the function of energy consumption within each group.

Keywords: budgetary institution, the consumption of water, separation of a mixture of random distributions, EM-algorithm.

References

1. Goncharov G.S., Gusiatinikov V.N. Modelirovanie potrebleniia elektroenergii uchrezhdeniiami biudzhethnogo sektora. *Energobezopasnost' i energosberezhenie*, 2014, no. 1, pp. 15-19. (In Russ.)
2. Gusiatinikov P.V. Optimizatsiia modeli dlia otsenki urovnia vozmozhnykh poter' pri defolte. *Vestnik Saratovskogo gosudarstvennogo sotsial'no-ekonomicheskogo universiteta*, 2012, no. 3, pp. 118-120. (In Russ.)
3. Kufel' T. *Ekonometrika. Reshenie zadach s primeneniem paketa programm GRETL*. Moscow, Goriachaia liniia-Telekom, 2007. 200 p. (In Russ.)
4. Rasin D. Neparаметricheskaiia ekonometrika: vvodnyi kurs. *Kvantil'*, 2008, no. 4, pp. 7-56. (In Russ.)
5. Ukaz Prezidenta RF ot 13 maia 2010 g. № 579. *Rossiiskaia gazeta*, no. 5184, 2010, 18 maia. (In Russ.)