

УДК 338.012

*Е.А. Дебрянская, Е.А. Янова*

## **КОРРЕЛЯЦИОННО-РЕГРЕССИОННЫЙ АНАЛИЗ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ АТОМНЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

***Аннотация:** данная статья посвящена построению модели зависимости объема производства электроэнергии атомных электростанций от мощности атомных станций. Авторами выполняется корреляционно-регрессионный анализ, оценивается статистическая значимость модели.*

***Ключевые слова:** атомная электроэнергетика, атомная электростанция, объем производства, мощность, производство электрической энергии.*

*Е.А. Debrjanskaja, E.A. Yanova*

## **CORRELATION AND REGRESSION ANALYSIS OF INDICATORS OF NUCLEAR POWER PLANTS EFFICIENCY OF THE RUSSIAN FEDERATION**

***Abstract:** the article is devoted to a model construction, which shows how the volume of electricity production by nuclear power stations depends on the power of these stations. The authors demonstrate correlation and regression analysis, evaluate the statistical significance of the model.*

***Keywords:** nuclear power, nuclear power plant, volume of production, power, electric power production.*

При решении различных практических задач анализа и планирования часто требуется установить взаимосвязи между случайными величинами. В данном исследовании была выполнена попытка проведения взаимосвязи между объемом производства электрической энергии атомных электростанций и мощностью атомных станций в Российской Федерации.

Объем производства электроэнергии является основным показателем эффективности работы атомных станций, а мощность – показатель, оказывающий

сильное воздействие на изменение объема выработки. Чтобы установить, насколько сильная связь между показателями, был проведен корреляционно-регрессионный анализ.

Исходные данные для построения модели представлены в таблице 1 и таблице 2.

Таблица 1

*Объем производства электроэнергии и мощность атомных электростанций  
Российской Федерации в период с 2000 по 2007 годы*

годы	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007
производство электроэнергии, млрд. кВт*ч	131	137	142	150	145	149	156	160
мощность, млн. кВт	21,7	22,7	22,7	22,7	22,7	23,7	23,7	23,7

*Источник:* Федеральная служба государственной статистики [1], [2].

Таблица с исходными данными была представлена в виде двух таблиц в силу своей объемности.

Таблица 2

*Объем производства электроэнергии и мощность атомных электростанций  
Российской Федерации в период с 2007 по 2014 годы*

годы	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
производство электроэнергии, млрд. кВт*ч	163	164	171	173	178	173	181
мощность, млн. кВт	23,3	23,3	24,3	24,3	25,3	25,3	25,3

*Источник:* Федеральная служба государственной статистики [1], [2].

Для оценки тесноты связи между мощностью и объемом производства электрической энергии был рассчитан коэффициент корреляции. Коэффициент корреляции получился равным 0,92. Это говорит о высокой тесноте связи между фактором и признаком.

Регрессионная модель была построена с помощью средств Microsoft Office Excel, для определения коэффициентов уравнения была построена регрессия (Данные / Анализ данных / Регрессия).

Результаты представлены в таблице 3, таблице 4 и таблице 5.

Таблица 3

*Регрессионная статистика*

Регрессионная статистика	Значения
Множественный R	0,92
R-квадрат	0,84
Нормированный R-квадрат	0,83
Стандартная ошибка	6,35
Наблюдения	15,00

*Примечание:* таблица рассчитана на основе данных таблицы 1 и таблицы 2.

По таблице 3 видно, что множественный коэффициент корреляции и коэффициент детерминации принимают высокие значения – 0,92 и 0,84 соответственно. Множественный коэффициент корреляции показывает высокую связь между объемом производства электроэнергии и мощность атомных электростанций. Коэффициент детерминации [3] свидетельствует о том, что 84% изменения объема производства электрической энергии на атомных электростанциях России зависит от изменения мощности атомных станций. Стандартная ошибка, показывающая величину стандартного отклонения, имеет сравнительно небольшое значение – 6,35. Это предварительно говорит о том, что данную модель можно использовать для прогнозирования, и что модель является статистически значимой.

Таблица 4

*Дисперсионный анализ*

	df	SS	MS	F	Значимость F
Регрессия	1,000	2832,909	2832,909	70,350	0,000
Остаток	13,000	523,491	40,269		
Итого	14,000	3356,400			

*Примечание.* Таблица рассчитана на основе данных таблицы 1 и таблицы 2.

Сумма квадратов отклонений расчетного значения от фактического мала. Факторная дисперсия больше остаточной дисперсии в несколько раз, следовательно, можно сделать предварительный вывод о значимости уравнения. Табличное значение критерия Фишера гораздо меньше рассчитанного [4]. Табличное значение составляет 4,67, рассчитанное 70,35. Это также доказывает значимость уравнения. Показатель значимости F меньше 0,01, следовательно, уравнение является значимым как при 1%-ом, так и при 5%-ом уровне значимости.

Таблица 5

*Коэффициенты уравнения регрессии и их статистическая значимость*

	Коэффициенты	Стандартная ошибка	t-статистика	P-Значение	Нижние 95%	Верхние 95%	Нижние 95,0%	Верхние 95,0%
Y-пересечение	-149,993	36,781	-4,078	0,001	-229,453	-70,533	-229,453	-70,533
мощность, млн. кВт	13,033	1,554	8,388	0,000	9,676	16,390	9,676	16,390

*Примечание:* таблица рассчитана на основе данных таблицы 1 и таблицы 2.

По таблице 5 видно, что стандартная ошибка принимает небольшое значение, что свидетельствует о значимости уравнения. Коэффициент t-статистики выше табличного значения критерия Стьюдента (2,1604). Это говорит о том, что фактор, включенный в модель, является статистически значимым. При переходе от нижних границ интервала к верхним не происходит смена знака, что также доказывает значимость фактора и корректность составленной модели.

Предварительно можно выписать уравнение регрессии, которое было выявлено при построении данной модели:

$$Y = -149,993 + 13,033 * X$$

где X – мощность атомных электростанций.

Для оценки модели также были проанализированы остатки. Данные представлены в таблице 6.

Таблица 6

*Остатки рассчитанного значения объема  
производства электроэнергии на атомных электростанциях*

Наблюдение	модель 2	
	Предсказанный объем производства электроэнергии, млрд. кВт*ч	Остатки
1	132,8	-1,8
2	145,9	-8,9
3	145,9	-3,9
4	145,9	4,1
5	145,9	-0,9
6	158,9	-9,9
7	158,9	-2,9
8	158,9	1,1
9	153,7	9,3
10	153,7	10,3
11	166,7	4,3
12	166,7	6,3
13	179,7	-1,7
14	179,7	-6,7
15	179,7	1,3

*Примечание:* таблица рассчитана на основе данных таблицы 1.

По таблице 6 видно, что значения остатков по модели, где в качестве фактора использовалась мощность электростанций, а в качестве признака – объем производства электрической энергии на атомных электростанциях, принимают небольшое значение. Так, максимальное значение отклонений составляет 10,3. Однако это значение не велико, особенно с учетом того, что отклонения в данных за остальные периоды значительно ниже. Можно сделать вывод о том, что полученная корреляционно-регрессионная модель является статистически значимой и пригодна для построения прогноза.

Для принятия окончательного решения о статистической значимости модели необходимо рассчитать и проанализировать значение средней ошибки аппроксимации проверить остатки на наличие автокорреляции и гетероскедастичности.

Средняя ошибка аппроксимации показывает среднее отклонение расчетных значений явления от фактических. Допустимый предел значений средней ошибки аппроксимации не более 8–10%.

Автокорреляцией остатков модели регрессии называется корреляционная зависимость между настоящими и прошлыми значениями остатков. Гетероскедастичность – это наличие дисперсии случайных ошибок модели регрессии. Наличие автокорреляции и гетероскедастичность остатков могут привести к утверждению неверной гипотезы о значимости коэффициентов регрессии и значимости модели в целом.

Для проверки отсутствия либо наличия автокорреляции в остатках необходимо рассчитать критерий Дарбина–Уотсона, определяемый как отношение суммы квадратов разностей последовательных значений остатков к сумме квадратов остатков. Автокорреляция отсутствует, если расчетное значение критерия Дарбина–Уотсона ( $d$ ) попадает в интервал  $d_{1u} < d < 4 - d_{2u}$ , и  $d_{1u} < d$ , где  $d_{1u}$  и  $d_{2u}$  – табличные значения критерия.

Для определения наличия гетероскедастичности в остатках был использован тест ранговой корреляции Спирмена, основанный на вычислении коэффициента ранговой корреляции Спирмена, определяющего степень тесноты связи порядковых признаков, которые в этом случае представляют собой ранги сравниваемых величин.

Значимость коэффициентов Спирмена была выявлена с помощью критерия Стьюдента.

Результаты расчетов представлены в таблице 7.

Таблица 7

*Расчет показателей качества регрессионной модели*

	Модель 2
Средняя ошибка аппроксимации, процентов	3,12
Критерий Дарбина-Уотсона	1,10
Коэффициент ранговой корреляции Спирмена	для показателя мощности
	0,18

*Примечание:* таблица рассчитана на основе данных таблицы 1, таблицы 2, таблицы 3 и таблицы 4.

Как видно из таблицы 7, средняя ошибка аппроксимации находится в пределах нормы и не превышает 15%. Это говорит о качестве модели. Табличный критерий Дарбина-Уотсона составляет 1,08 и 1,36. Как видно по таблице 6, расчетные значения критерия Дарбина-Уотсона составляет от 1,08 до 2,64. Расчетное значение критерия Дарбина-Уотсона для модели зависимости объема производства электроэнергии от мощности лежит в пределах интервальных значений, что говорит о качестве модели. Коэффициент ранговой корреляции Спирмена для показателя мощности составляет 0,18, что также доказывает отсутствие связи между переменной и остатками. Статистическая значимость полученного коэффициента оценивается при помощи t-критерия Стьюдента. Рассчитанные значения критерия меньше, следовательно, связь между переменными и остатками не является значимой. Можно сделать вывод об отсутствии гетероскедастичности в модели.

В заключение, стоит отметить, что по всем рассчитанным параметрам было выявлено, что модель зависимости объема производства электрической энергии атомных электростанций от мощности станций является статистически значимой и пригодной для построения прогноза, к примеру, методами экстраполяции или авторегрессии. Следовательно, может быть использована для построения достоверных прогнозов и формулирования ее перспектив развития, которые позволят планировать бизнес-процессы на будущее.

### **Список литературы**

1. Портал знаний. Университет / Эконометрика / Фишер / Таблица значений Фишера [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://univer-nn.ru/econometrica/Fisher-Student-table.pdf> (дата обращения: 25.03.16).
2. Профессиональный информационно-аналитический ресурс / Главная / Статистический анализ / Коэффициент детерминации [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://www.machinelearning.ru/wiki/index.php?title=Коэффициент\\_детерминации](http://www.machinelearning.ru/wiki/index.php?title=Коэффициент_детерминации) (дата обращения: 25.03.16).
3. Федеральная служба государственной статистики / Официальная статистика / Предпринимательство / Промышленное производство / Производство основных видов продукции в натуральном выражении / Производство основных видов продукции в натуральном выражении (годовые данные – по 2009 г.) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://www.gks.ru/free\\_doc/new\\_site/business/prom/natura/natura4g.htm](http://www.gks.ru/free_doc/new_site/business/prom/natura/natura4g.htm) (дата обращения: 24.03.16).
4. Федеральная служба государственной статистики / Официальная статистика / Предпринимательство / Промышленное производство / Производство основных видов продукции в натуральном выражении / Производство основных видов продукции в натуральном выражении (годовые данные – с 2010 г.) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://www.gks.ru/free\\_doc/new\\_site/business/prom/natura/17g.doc](http://www.gks.ru/free_doc/new_site/business/prom/natura/17g.doc) (дата обращения: 24.03.16).
5. Дебрянская Е.А. Стратегическая роль предприятий атомной энергетики в народном хозяйстве России / Дебрянская Е.А., Янова Е.А. // Альманах научных работ молодых ученых Университета ИТМО. – СПб., 2015. – Т. 1. – С. 130–132.

---

**Дебрянская Елена Анатольевна** – студентка ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики», Россия, Санкт-Петербург.

**Debrianskaia Elena Anatoljevna** – student of FAEI of HE “St. Petersburg national research university of informational technologies, mechanics and optics”, Russia, St. Petersburg.



**Елена Алексеевна Янова** – канд. экон. наук, доцент, заместитель заведующего кафедрой экономики и стратегического менеджмента ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики», Россия, Санкт-Петербург.

**Elena Alekseevna Yanova** – candidate of economic sciences, associate professor, assistant head of the department of economics and strategic management of FAEI of HE “St. Petersburg national research university of informational technologies, mechanics and optics”, Russia, St. Petersburg.

---