

УДК 658.262

ББК 31.27

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПОТОКА ЗАЯВОК НА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ПРИСОЕДИНЕНИЕ К ЭЛЕКТРИЧЕСКИМ СЕТЯМ

Денисов А. Р.¹, Левин М. Г.², Некрасова Т.Н.³

*(Костромской государственный университет имени Н.А.
Некрасова, Кострома)*

Обосновывается, что в распределительных сетевых компаниях поток заявок на технологическое присоединение к электрическим сетям подчинен закону Пуассона, интенсивность которого можно определить по предложенной регрессионной модели. Выделены потоки заявок внутри общего потока в зависимости от категории заявителя и заявленной мощности.

Ключевые слова: технологическое присоединение к электрическим сетям, системы массового обслуживания, поток Пуассона.

1. Введение

При системном анализе и моделировании деятельности распределительных сетевых компаниях (РСК) особое внимание уделяется, как правило, бизнес-процессу (БП) «Технологическое присоединение» (ТП), являющемуся наряду с БП «Распределение электрической энергии» основным доходным процессом РСК. От качества реализации БП ТП в значительной мере зави-

¹ Артем Руфимович Денисов, кандидат технических наук, доцент
(inf_service@ksu.edu.ru).

² Михаил Григорьевич Левин, доктор технических наук, профессор
(inf_service@ksu.edu.ru).

³ Татьяна Николаевна Некрасова, соискатель
(inf_service@ksu.edu.ru).

сит не только финансовый успех РСК, но и её деловая репутация у клиентов, стейкхолдеров и властных структур муниципального и регионального уровней. Нормативно-правовые отношения РСК и клиентов регламентирует [3], устанавливающее достаточно жёсткие сроки реализации заявки. В связи с этим задача планирования работ по исполнению заявок и рационального распределения ресурсов РСК является весьма актуальной.

Для решения указанной задачи необходимо, прежде всего, построить его адекватную математическую модель. По мнению авторов в качестве такой модели целесообразно использовать систему массового обслуживания (СМО), что позволит количественно оценить важнейшие статические и динамические показатели исследуемого БП. Первый вопрос, который возникает при синтезе модели СМО, формулируется следующим образом: какому закону подчиняется входной поток заявок?

Для ответа на этот вопрос авторами проведен статистический анализ фактических данных, собранных соответствующими службами филиала ОАО «МРСК Центра» – «Костромаэнерго» в 2008-2012 г.г. Весьма значительный объём этих данных позволяет утверждать, что они представляют собой репрезентативную выборку, обеспечивающую требуемый уровень достоверности полученных результатов.

2. Анализ распределения заявок во времени

На рисунке 1 приведен временной ряд количества поступающих заявок на ТП в месяц.

Очевидно, что со временем количество заявок растёт линейно, однако коэффициент детерминации имеет очень малое значение, что не дает возможности определить параметры функции, отражающей эту зависимость. Из рисунка 1 видно, что отклонения от тренда носят периодический характер с периодом в один год. Для проверки данного утверждения построен график скользящей средней и оценены колебания относительно нее (рисунок 2).

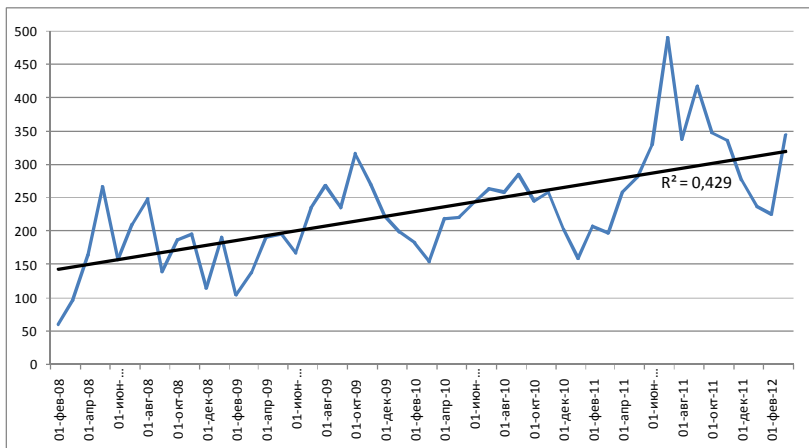


Рис.1. Распределение заявок во времени

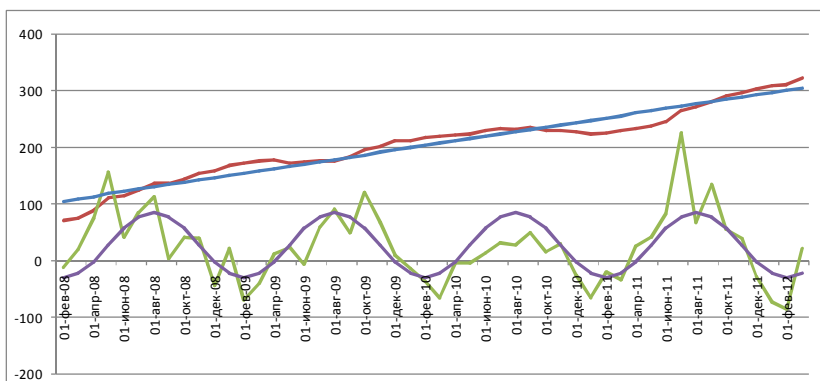


Рис. 2. Графики скользящей средней и колебаний относительно неё

Полученные в результате кривые показывают высокую степень корреляции с линейным и синусоидальными трендами соответственно, что позволяет описать зависимость количества заявок от времени следующим образом:

$$(1) \quad Z(m) = a_{m1} \cdot m + a_{m2} \cdot \sin((m-1)/6 \cdot \pi - \pi/2)) + b_m,$$

где $m=1,2,\dots$ – номер месяца, начиная с января 2008 года.

Методом корреляционного анализа были определены коэффициенты функциональной зависимости (1), что иллюстрирует таблица 1

Таблица 1. Результаты корреляционного анализа

Коэффициенты	Среднее	σ	$t_{расч}$	$t_{табл}$
$a_{м1}$	3,739395	0,436587	8,565	2,009
$a_{м2}$	58,64308	8,791184	6,670	2,009
b_m	137,894	12,78233	10,787	2,009
Коэффициент корреляции R	0,84089	0,078943	10,651	2,009

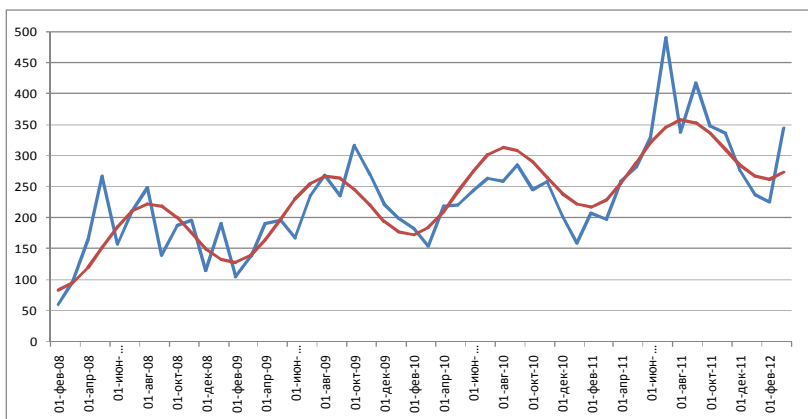


Рис. 3. Сравнение фактических данных с модельными

Из таблицы 1 следует, что все значения являются достоверными по критерию Стьюдента с вероятностью ошибки менее 5%. Расчетное значение коэффициента Фишера – $F = 56,73$, что больше табличного значения, равного 3,16. Эти результаты позволяют утверждать о достоверности и адекватности предложенной модели (1) с вероятностью ошибки менее 5%. Что иллюстрирует рисунок 3.

3. Анализ интенсивности потока заявок в день

Для модели в виде СМО квант в один месяц не позволяет адекватно планировать деятельность. Экспертный опрос показал, что приемлемым с точки зрения решаемой задачи квантом времени является один рабочий день.

Предположим, что зависимость среднего числа (интенсивности потока) заявок в день в каждом месяце определяется выражением (2), аналогичным выражению (1):

$$(2) \quad \lambda(m) = a_{\partial 1} \cdot m + a_{\partial 2} \cdot \sin((m-1)/6 \cdot \pi - \pi/2) + b_{\partial},$$

где $m=1, 2, \dots$ – номер месяца, начиная с января 2008 года.

Методом корреляционного анализа были определены коэффициенты функциональной зависимости (2), что иллюстрирует таблица 2.

Таблица 2. Результаты корреляционного анализа

	Среднее	σ	$t_{расч}$	$t_{табл}$
$a_{\partial 1}$	0,1761	0,0204	8,653	2,009
$a_{\partial 2}$	2,0848	0,4205	4,957	2,009
b_{∂}	6,6933	0,6072	11,023	2,009
Коэффициент корреляции R	0,8145	0,0837	9,727	2,009

Из таблицы 2 следует, что все значения являются достоверными по критерию Стьюдента с вероятностью ошибки менее 5%. Расчетное значение коэффициента Фишера – $F = 47,31$, что больше табличного значения, равного 3,16. Эти результаты позволяют утверждать о достоверности и адекватности предложенной модели (2) с вероятностью ошибки менее 5%. Что иллюстрирует рисунок 4.

Предположим, что поток заявок на ТП является ординарным без последствий, не стационарным в течение года, но стационарным в течение месяца, т.е. является потоком Пуассона. Тогда величина стандартного отклонения от интенсивности потока и средняя интенсивность потока должны быть равны [2].

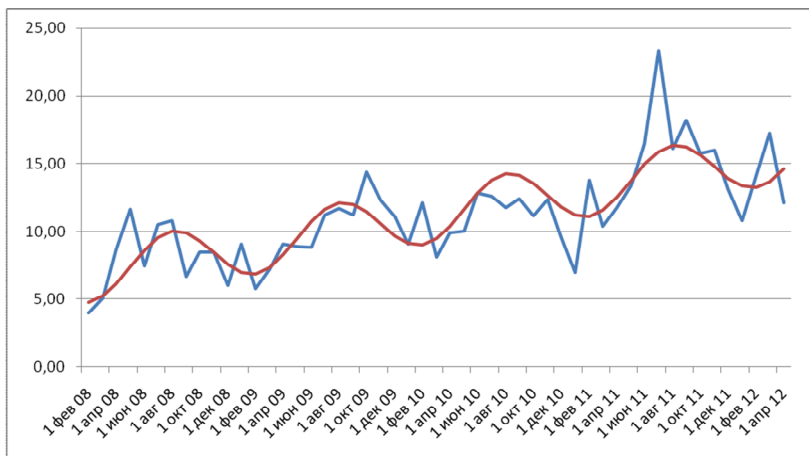


Рис. 4. Сравнение фактических данных с модельными

Для проверки этого условия в каждом месяце временного ряда была оценена вероятность того, что фактическое распределение соответствует теоретическому по критерию χ^2 . В качестве параметров теоретического распределения использовались расчетная интенсивность (2) с равной ей величиной стандартного отклонения. Среднее значение вероятности по критерию χ^2 равно $0,9324 \pm 0,1404$, что означает: для абсолютного большинства периодов времени вероятность несовпадения фактического и теоретического распределений не превышает 10%.

Для проверки достоверности модели определим количество заявок в месяц по формуле Литтла [2]:

$$(3) \quad Z(m) = \lambda(m) \cdot t(m),$$

где $Z(m)$ – количество заявок в месяц m , $\lambda(m)$ – интенсивность (количество) заявок в день в месяце m ; $t(m)$ – количество рабочих дней в месяце m .

Коэффициент корреляции между фактическим количеством и расчётным $R = 0,8414$ и относительное среднеквадратичное отклонение, не превышающее 20%, говорят о высокой степени достоверности предложенных моделей (2) и (3) (рисунок 5).

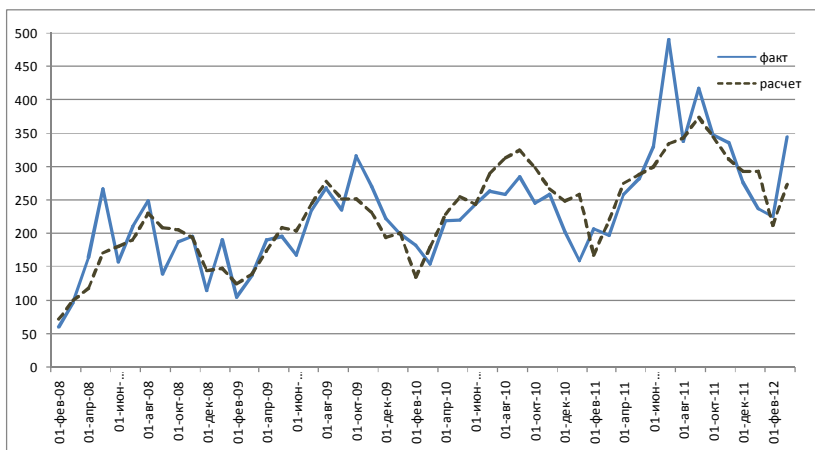


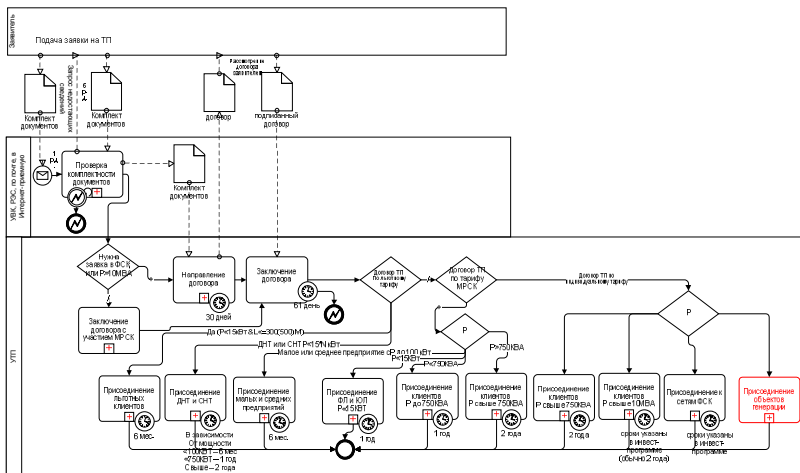
Рис. 5. Сравнение фактических данных с модельными

4. Анализ распределения заявок по группам

Для эффективного планирования БП ТП необходимо учитывать не только общее количество заявок, но и их распределение по тем или иным группам, поскольку в принадлежность группе определяет время исполнения [1, 3]. Классификационными признаками группы являются категория заявителя и заявленная мощность [3] (рисунок 6).

Таблица 3. Распределение заявок по группам

	Среднее	σ	$t_{расч}$	$t_{табл}$
Физические лица	73,52%	6,906%	10,65	2,009
Малые и средние предприятия	19,24%	6,478%	2,97	2,009
Крупные предприятия	0,27%	0,455%	0,60	2,009
Сельское хозяйство	0,59%	0,574%	1,03	2,009
Сетевые компании	0,04%	0,139%	0,32	2,009
Муниципальные предприятия	6,34%	3,515%	1,80	2,009



УТП – управление технологического присоединения; РЭС – район электрических сетей; УВК – управление взаимоотношениями с клиентами.

Рис. 6. Бизнес-процесс «Технологическое присоединение»

Распределение заявок по категориям заявителей иллюстрируют таблица 3 и рисунок 7. Основную долю составляют заявки физических лиц, малых и средних предприятий, причём долю заявок каждой группы можно считать постоянной.

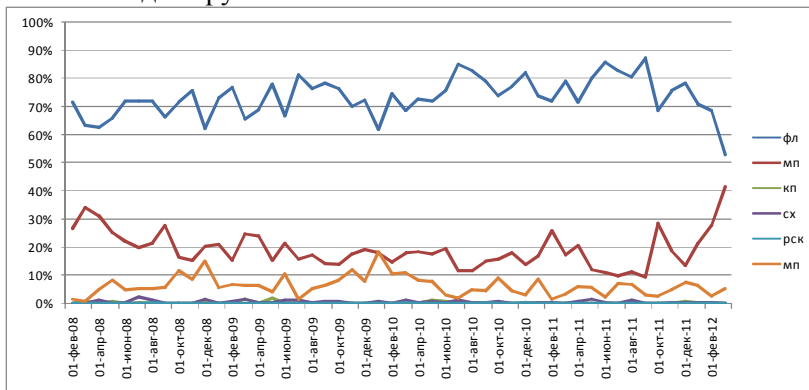


Рис. 7. Распределение заявок по категориям заявителей

Результаты проверки выборки по критерию Стьюдента позволяют сделать вывод о том, что с точки зрения математической статистики достоверными являются значения для физических лиц, малых и средних предприятий.

Распределение заявок по заявленной мощности иллюстрируют таблица 4 и рисунок 8.

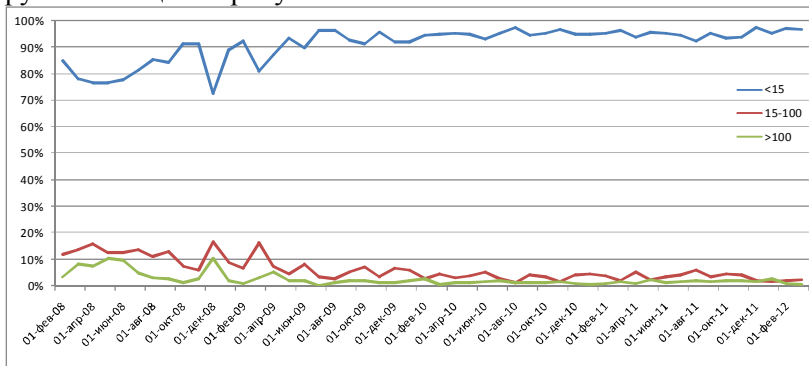


Рис. 8. Распределение заявок по заявленной мощности

Таблица 4. Распределение заявок по заявленной мощности

Заявленная мощность	Среднее	σ	$t_{расч}$	$t_{табл}$
<15 кВт	91,33%	6,381%	14,31	2,009
15-100 кВт	6,16%	4,284%	1,44	2,009
>100 кВт	2,51%	2,496%	1,00	2,009

Таблица 5. Распределение заявок по категориям заявителей и заявленной мощности

Группа	Среднее	σ	$t_{расч}$	$t_{табл}$
Физические лица с заявленной мощностью <15кВт	71,62%	7,74%	9,25	2,009
Малые и средние предприятия с заявленной мощностью <15кВт	14,03%	5,29%	2,65	2,009

Результаты проверки выборки по критерию Стьюдента позволяют сделать вывод о том, что достоверной можно считать долю заявок с заявленной мощностью менее 15 кВт.

На основании полученных результатов целесообразно выделить группы заявок с заявленной мощностью менее 15 кВт: физические лица, малые и средние предприятия (таблица 5).

Приведенные в таблице 5 результаты говорят о достоверности по критерию Стьюдента вклада заявок указанных групп в общий поток.

5. Выводы

Таким образом, в общем потоке заявок, подчиненному закону Пуассона, выделяются следующие потоки:

поток S_1 – заявки физических лиц с заявленной мощностью менее 15 кВт; доля – 71,62%; модель – поток Пуассона с интенсивностью $\lambda_1(m)=0,7162 \cdot \lambda(m)$;

поток S_2 – заявки физических лиц с заявленной мощностью более 15кВт; доля – 1,9% (73,52–71,62); модель – поток Эрланга 53 порядка с интенсивностью $\lambda_2(m)=\lambda(m)$;

поток S_3 – заявки малых и средних предприятий с заявленной мощностью менее 15 кВт; доля – 14,03%; модель – поток Эрланга 7 порядка с интенсивностью $\lambda_3(m)=\lambda(m)$;

поток S_4 – заявки малых и средних предприятий с заявленной мощностью более 15 кВт; доля – 5,21% (19,24–14,03); модель – поток Эрланга 19 порядка с интенсивностью $\lambda_4(m)=\lambda(m)$;

поток S_5 – прочие заявки с заявленной мощностью менее 15 кВт; доля – 5,68% (91,33–71,62–14,03); модель – поток Эрланга 18 порядка с интенсивностью $\lambda_5(m)=\lambda(m)$;

поток S_6 – прочие заявки с заявленной мощностью более 15 кВт; доля – 1,56% (100–91,33–1,9–5,21); модель – поток Эрланга 64 порядка с интенсивностью $\lambda_6(m)=\lambda(m)$.

В итоге, поставленная в работе задача решена: определены модели потока заявок различных групп, что дает возможность

получить численные показатели БП ТП, моделируемые с помощью СМО.

Литература

1. ДЕНИСОВ, А. Р. *Синтез и анализ модели «как есть» бизнес-процесса «Технологическое присоединение к электрическим сетям»* / А.Р. Денисов, М.Г. Левин, А.В. Рыбинский, Т.Н. Некрасова // Вестник КГУ им. Н.А. Некрасова. – 2012. – №1.
2. КЛЕЙНРОК, Л. *Теория массового обслуживания* / Л. Клейнрок; пер. с англ И.И. Грушко; ред. В.И. Нейман. – М.: Машиностроение, 1979. – 432 с.
3. *Постановление Правительства РФ от 27.12.2004 г. №861 «Об утверждении Правил недискриминационного доступа к услугам по оперативно-диспетчерскому управлению в электроэнергетике и оказания этих услуг, Правил недискриминационного доступа к услугам администратора торговой системы оптового рынка и оказания этих услуг и Правил технологического присоединения энергопринимающих устройств (энергетических установок) юридических и физических лиц к электрическим сетям»* (в действующей редакции).

SIMULATION OF THE REQUESTS FLOW FOR TECHNOLOGICAL ASSOCIATION TO ELECTRICAL NETWORKS

Artem Denisov, Kostroma State University, named after N.A. Nekrasov, assistant professor (inf_service@ksu.edu.ru).

Mikhail Levin, Kostroma State University, named after N.A. Nekrasov, professor (inf_service@ksu.edu.ru).

Tatyana Nekrasova, Kostroma State University, named after N.A. Nekrasov, science seeker (inf_service@ksu.edu.ru).

Abstract: It is justified that in the distribution grid companies the requests flow for technological association to electrical networks is subordinate to the Poisson law which intensity it is possible to determine by the offered regression model. Request subflows in the general flow depending on category of the applicant and the declared capacity are selected.

Keywords: technological association to electrical networks, queuing systems, Poisson flow.