

УДК 658.262

Моделирование рисков нарушения нормативных сроков технологического присоединения к электрическим сетям

А.Р. Денисов, М.Г. Левин, А.В. Рыбинский
ФГБОУВПО «Костромской государственной университет имени Н.А. Некрасова»,
г. Кострома, Российская Федерация
E-mail: inf_service@ksu.edu.ru

Авторское резюме

Состояние вопроса: В рамках существующего паспорта бизнес-процесса «Технологическое присоединение», разработанного в холдинге МРСК, определены лишь общие принципы управления, что не позволяет внедрить эффективную систему оперативного управления и контроля данного бизнес-процесса. При этом требования государства к срокам выполнения заявок на подключение постоянно ужесточаются. Указанные причины обуславливают актуальность задач оптимального (рационального) планирования и оперативного контроля реализации каждого технологического присоединения.

Материалы и методы: В основе математической модели рисков технологического присоединения лежат методы теории систем массового обслуживания, математической статистики, теории рисков. Параметры моделей определены через статистический анализ фактических данных, собранных соответствующими службами филиала ОАО «МРСК Центра» – «Костромаэнерго» в 2008–2012 гг.

Результаты: Разработано математическое и алгоритмическое обеспечение системы оперативного контроля процессов технологического присоединения к электрическим сетям, основанное на моделировании соответствующих рисков.

Выводы: Использование полученных моделей позволит внедрить в условия распределительных сетевых компаний автоматизированную систему оперативного контроля процессов технологического присоединения к электрическим сетям и, как следствие, оперативно выявлять проекты, характеризующиеся высокими рисками нарушения нормативных сроков технологического присоединения, и устранять возможные нарушения.

Ключевые слова: технологическое присоединение к электрическим сетям, системы массового обслуживания, управление рисками.

Risks Simulation of Regulatory Deadlines Violations of Technological Attachment to Electric Networks

A.R. Denisov, M.G. Levin, A.V. Rybinskiy
Kostroma State University, Kostroma, Russian Federation
E-mail: inf_service@ksu.edu.ru

Abstract

Background: In the existing «Technological Attachment» passport of business process, developed in MRSK Holding, the general principles of control are found, but it does not allow to apply the effective system of the operation control and control of this business process. However, the state requirements to deadlines of orders execution are constantly changing. The mentioned reasons confirm the necessity to solve the tasks of optimal or rational planning and efficient control of realization of each technological attachment.

Materials and methods: The methods of the theory of queuing systems, mathematical statistics, the risks theory are the basic for the base of the mathematical model of technological attachment risks. Parameters of models are defined through the statistical analysis of the actual data collected by the relevant services of the JSC MRSK-Center branch «Kostromaenergo» in 2008–2012.

Results: The mathematical and algorithmic provision for operative control system of the technological attachment processes to the electric networks, which is based on risks simulation are developed.

Conclusions: The usage of the received models will allow to introduce the automated operative control system of technological attachments to electric networks into distribution grid companies. Thus, it will allow these companies to reveal the projects operatively, characterized by high standard terms violation risks of technological attachment, and to eliminate possible violations.

Key words: technological attachment to electrical networks, queuing systems, risks control.

Технологическое присоединение (ТП) потребителей к электрическим сетям в настоящее время является одним из наиболее

проблемных вопросов как для потенциальных и действующих потребителей электрической энергии, так и для распределительных сетей.

тельных сетевых компаний (РСК). Бизнес-процессы (БП) «Технологическое присоединение» и «Распределение электроэнергии» являются основными для любой РСК, от качества их реализации напрямую зависит не только прибыль, но и удовлетворенность клиентов, выражающаяся в отсутствии каких-либо жалоб. Нормативной базой БП «Технологическое присоединение» являются Закон¹ и Постановление Правительства РФ², определяющие правила и регламентирующие порядок недискриминационного доступа к электрическим сетям. Ограниченность сроков выполнения процедуры ТП для конечных пользователей (юридических или физических лиц) обуславливает актуальность задач оптимального (рационального) планирования и оперативного контроля реализации каждого ТП.

В результате проведенного анализа [1] был выявлен ряд проблем в организации БП ТП, связанных с несовершенством нормативной базы, необходимостью выбора исполнителей через контрактные процедуры, несовершенством системы планирования работ по ТП в районных сетях, а также с недостаточным уровнем формализации БП ТП, включая отсутствие строго определенных мер ответственности структурных подразделений РСК. Для устранения этих проблемных ситуаций предлагается в качестве механизма оперативного контроля использовать Workflow-систему, основной компонентой которой должна стать подсистема, обеспечивающая анализ рисков срыва сроков и поддержку принятия соответствующих управленческих решений.

В качестве математической модели обоснованно использовать системы массового обслуживания (СМО) [2, 3] с квантом времени в 1 рабочий день, что позволит количественно оценить важнейшие статические и динамические показатели исследуемого БП. Структура модели приведена на рис. 1, причем каждый автомат модели относится к классу М/М/1.

Параметры полученной модели определялись через статистический анализ фактических данных, собранных соответ-

ствующими службами филиала ОАО «МРСК Центра» – «Костромаэнерго» в 2008–2012 гг. Весьма значительный объем этих данных позволяет утверждать, что они представляют собой репрезентативную выборку, обеспечивающую требуемый уровень достоверности полученных результатов.

Параметры интенсивности входных и выходных потоков каждого автомата рассчитываются по формулам:

$$\lambda(m) = a_{d1} \cdot m + a_{d2} \cdot \sin((m-1)/6 \cdot \pi - \pi/2) + b_d; \quad (1)$$

$$\mu_1(m) = a_{d11} \cdot m + a_{d12} \cdot \sin((m-1)/6 \cdot \pi - \pi/2) + b_{d1}; \quad (2)$$

$$\mu_2(m) = a_{d21} \cdot m + a_{d22} \cdot \sin((m-1)/6 \cdot \pi - \pi/2) + b_{d2}; \quad (3)$$

$$\mu_3(m) = a_{d31} \cdot m + a_{d32} \cdot \sin((m-1)/6 \cdot \pi - \pi/2) + b_{d3}; \quad (4)$$

$$\mu_3^p(m) = a_{d31}^p \cdot m + a_{d32}^p \cdot \sin((m-1)/6 \cdot \pi - \pi/2) + b_{d3}^p; \quad (5)$$

$$\mu_{тп}(m) = (T_{тп}^{cp}(m) \cdot \mu_3^p(m)) / (1 + T_{тп}^{cp}(m) \cdot \mu_3^p(m)), \quad (6)$$

где $m = 1, 2, \dots$ – номер месяца, начиная с января 2008 года; $T_{тп}^{cp}$ – среднее время выполнения работ по ТП:

$$T_{тп}^{cp}(m) = e^{a_{тп} \cdot m + b_{тп}}. \quad (7)$$

Параметры выражений определялись методом корреляционного анализа, результаты которого приведены в табл. 1. Все показатели достоверны по критерию Стьюдента, а все уравнения адекватны по критерию Фишера. Так, сравнение теоретических и фактических данных для входного потока $\lambda(m)$ приведены на рис. 2, а выходного $\mu_{тп}(m)$ – на рис. 3. Полученные модели были дополнительно проверены на достоверность и адекватность через определение таких базовых показателей СМО, как среднее время обработки заявки и среднее количество заявок, находящихся в системе. Проведенный анализ показал, что во всех случаях коэффициент вариации между фактическими и расчетными значениями не превышает 20 %, что говорит о высокой степени достоверности полученных моделей.

На основе полученных моделей можно оценить вероятности выполнения работ по ТП на каждом из этапов. Так, для СМО М/М/1 с заданными λ и μ можно оценить вероятность выполнения заявки за время t :

$$S(t) = 1 - e^{-\mu(1-\lambda/\mu)t}. \quad (8)$$

¹ Федеральный закон от 26.03.2003 № 35 «Об электроэнергетике» (в действующей редакции).

² 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).

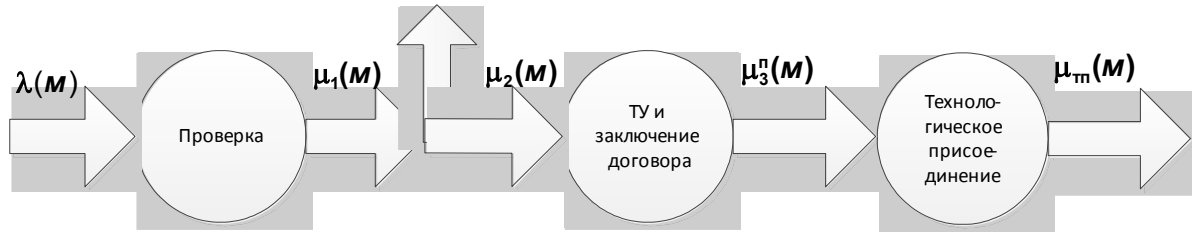


Рис. 1. Структура СМО системы технологического присоединения

Таблица 1. Результаты корреляционного анализа

Параметры	Среднее значение	Стандартное отклонение	$t_{расч}$	$t_{табл}$
$a_{д1}$	0,1761	0,0204	8,6531	2,01
$a_{д2}$	2,0848	0,4205	4,9577	2,01
$b_{д}$	6,6933	0,6072	11,023	2,01
$R(\lambda)$	0,8145	0,0837	9,7273	2,01
$a_{д11}$	0,1949	0,0202	9,6498	2,01
$a_{д12}$	2,1800	0,4173	5,2247	2,01
$b_{д1}$	7,0427	0,6025	11,6899	2,01
$R(\mu_1)$	0,8397	0,0784	10,7120	2,01
$a_{д21}$	0,1771	0,0214	8,2783	2,03
$a_{д22}$	2,1803	0,4083	5,3405	2,03
$b_{д2}$	5,1533	0,6451	7,9877	2,03
R	0,8107	0,0883	9,1863	2,03
$a_{д31}$	0,1774	0,0214	8,2952	2,01
$a_{д32}$	2,1844	0,4082	5,3518	2,01
$b_{д3}$	5,1982	0,6450	8,0592	2,01
$R(\mu_3)$	0,8113	0,0881	9,2052	2,01
$a_{д31}^n$	0,1707	0,0249	6,8444	2,01
$a_{д32}^n$	2,1485	0,4734	4,5386	2,01
$b_{д3}^n$	5,2502	0,7730	6,7917	2,01
$R(\mu_3^n)$	0,7525	0,0993	7,5796	2,01
$a_{тп}$	-0,0402	0,00423	9,5026	2,05
$b_{тп}$	5,7423	0,14479	39,6606	2,05
$R(T^{оп}_{тп})$	0,8833	0,0871	10,1472	2,05

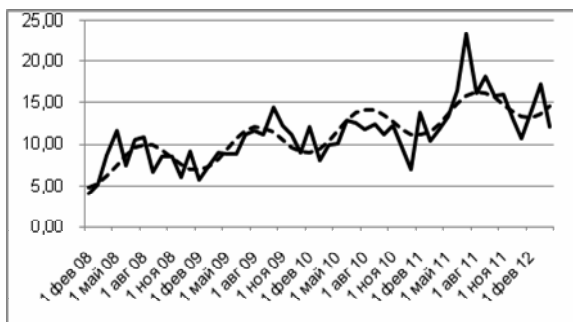


Рис. 2. Сравнение фактических $\lambda(M)$ с модельными

Для автоматов модели можно оценить вероятность выполнения работ:

– для автомата «проверка комплектности документов»

$$S_1(M, t) = 1 - e^{-\mu_1(M)(1-\lambda(M)/\mu_1(M))t}, \quad (9)$$

– автомата «формирование ТУ и заключение договора»

$$S_2(M, t) = 1 - e^{-\mu_3(M)(1-\mu_2(M)/\mu_3(M))t}, \quad (10)$$

– автомата «технологическое присоединение»

$$S_3(M, t) = 1 - e^{-\mu_{тп}(M) \left(1 - \mu_3^n(M)/\mu_{тп}(M)\right)t}, \quad (11)$$

где $m = 1, 2, \dots$ – номер месяца (начиная с января 2008 года), в котором заявка поступила на обслуживание на соответствующем автомате; t – количество рабочих дней, за которые необходимо рассчитать соответствующие вероятности.

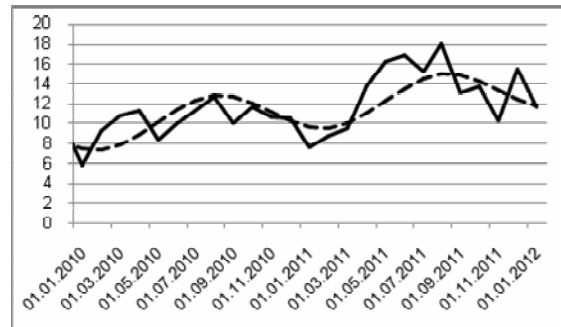


Рис. 3. Сравнение фактических $\mu_{тп}(M)$ с модельными

Также необходимо уметь оценивать вероятность того, что автомат завершит обслуживание заявки в день t :

$$\forall i = 1, 3: S_i^*(M, t) = S_i(M, t) - S_i(M, t - 1). \quad (12)$$

Тогда становится возможным оценить вероятность того, что поступившая заявка будет обрабатываться первым автоматом t_1 рабочих дней, а затем будет обрабатываться вторым автоматом t_2 рабочих дней:

$$S_{12}^*(M, t_1, t_2) = S_1^*(M, t_1) \cdot S_2^*(M_1(t_1), t_2), \quad (13)$$

где $M_1(t_1)$ – месяц, в котором заявка завершила обслуживание на первом автомате и поступила на второй.

Следовательно, становится возможным оценить вероятность того, что заявка после поступления в систему завершит обслуживание на втором автомате в день t :

$$S_{12}^*(M, t) = \sum_{\substack{\forall t_1, t_2 \in N \\ t_1 + t_2 = t}} S_{12}^*(M, t_1, t_2). \quad (14)$$

Таким образом, можно оценить вероятность того, что обработка заявки на втором автомате завершится за время t .

$$S_{12}(M, t) = \sum_{i=1}^t S_{12}^*(M, i). \quad (15)$$

Аналогично можно также оценить вероятность того, что заявка после поступления в систему завершит обслуживаться на третьем автомате за время t .

$$S_{13}^*(M, t_1, t_2, t_3) = S_{12}^*(M, t_1 + t_2) S_{13}^*(M_2(t_1 + t_2), t_3), \quad (16)$$

$$S_{13}^*(M, t) = \sum_{\substack{\forall t_1, t_2, t_3 \in N \\ t_1 + t_2 + t_3 = t}} S_{13}^*(M, t_1, t_2, t_3), \quad (17)$$

$$S_{13}(M, t) = \sum_{i=1}^t S_{13}^*(M, i), \quad (18)$$

где $M_2(t_1 + t_2)$ – месяц, в котором заявка завершила обслуживаться на втором автомате и поступила на третий.

На основе полученной модели, в частности, были рассчитаны вероятности своевременного выполнения работ по ТП для заявки, поступившей 08.01.2013. Результаты расчета приведены на рис. 4–6. Анализ полученных результатов показывает, что вероятность успешного завершения процесса ТП в установленные сроки (112 рабочих дней) составляет 96 %.

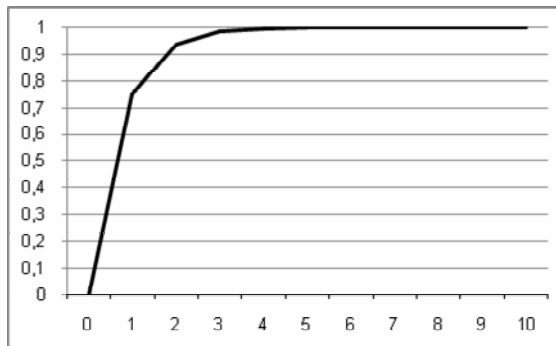


Рис. 4. Вероятности завершения работ по проверке комплектности документов в указанные рабочие дни $S_1(M = 61, t)$

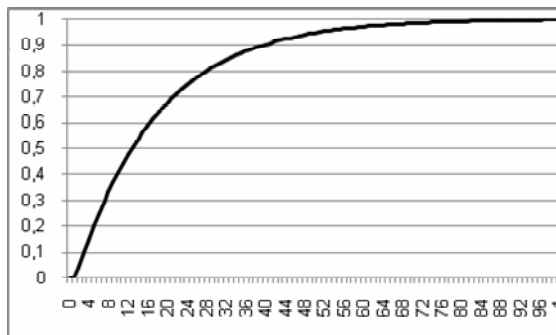


Рис. 5. Вероятности завершения работ по формированию ТУ и заключению договора в указанные рабочие дни $S_{12}(M = 61, t)$

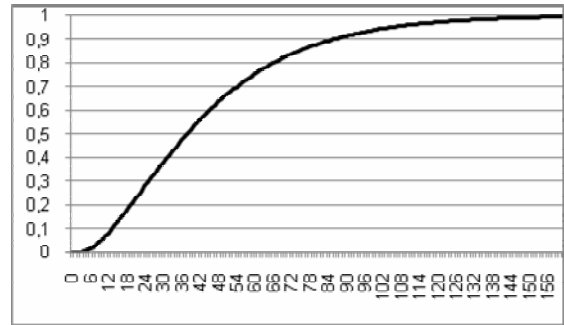


Рис. 6. Вероятности завершения работ по технологическому присоединению (без учета времени на подписание Акта ТП) в указанные рабочие дни $S_{13}(M = 61, t)$

Полученные модели можно использовать не только в момент обращения клиента (поступления заявки), но и в ходе ее выполнения. Для этого в случае завершения любого рабочего дня необходимо осуществлять корректировки вероятностей выполнения заявки по формуле Байеса, которая при корректировке вероятностей S^* примет вид

$$\forall i = \overline{1,3}: S^*_{i^k}(M, t) = \begin{cases} 0 & t = t_3, \\ \frac{S^*_i(M, t)}{1 - S^*_i(M, t_3)} & t \neq t_3, \end{cases} \quad (19)$$

где t_3 – номер завершеного рабочего дня от даты поступления заявки в систему.

Полученные значения вероятностей также необходимо корректировать в случае изменения статуса заявки (перехода из одного автомата в другой). В этом случае меняется S^* того автомата, который завершил свою работу, по формуле

$$\forall i = \overline{1,3}: S^*_{i^k}(M, t) = \begin{cases} 1 & t = t_3, \\ 0 & t \neq t_3, \end{cases} \quad (20)$$

где t_3 – номер рабочего дня, в который завершил работу данный автомат.

Полученная модель была использована при построении системы оперативного контроля, в частности, для определения нормального времени завершения операций БП ТП (рис. 7).

В процессе работы системы оперативного контроля для каждой работы при выполнении заявки будет определено текущее время ее выполнения (T_a), которое необходимо сравнить с нормальным (T_n) и критическим ($T_{кр}$) сроками завершения данной операции:

- $T_a \leq T_n$ («зеленая зона») – вероятность срыва сроков соответствующей заявки *низкая*; дополнительных управляющих воздействий не требуется;
- $T_n < T_a \leq T_{кр}$ («желтая зона») – вероятность срыва сроков соответствующей заявки *высокая*; требуются дополнительные управляющие (корректирующие) воздействия;

вия, обеспечивающие переход заявки в «зеленую зону»;

- $T_a > T_{кр}$ («красная зона») – вероятность срыва сроков соответствующей заявки *критическая*; требуются срочные управляющие (корректирующие) воздействия по устранению проблемной ситуации.

Причем если значения $T_{кр}$ известны заранее и определяются нормативными документами, то для оценки T_n выбирается величина риска срыва сроков выполнения ТП 20 %. Данное значение было определено методом экспертного опроса специалистов филиала ОАО «МРСК Центр» – «Костромаэнерго», ответственных за ТП, как минимальный уровень риска, при котором необходимо вносить управляющие воздействия для исправления ситуации. Указанной вели-

чиной риска обладает 66-й рабочий день с момента поступления заявки (рис. 6). Данную величину и предлагается использовать в качестве T_n для первых трех этапов. Внутри этапов величину T_n предлагается распределить пропорционально $T_{кр}$ с учетом того, что минимальное значение T_n должно составлять 1 день. Результаты расчетов T_n и $T_{кр}$ приведены в табл. 2. Полученные результаты были подвергнуты экспертному анализу специалистами отдела управления технологическим присоединением Костромаэнерго, которые подтвердили их достоверность. В дальнейшем планируется их реализация в корпоративной информационной системе данного филиала.

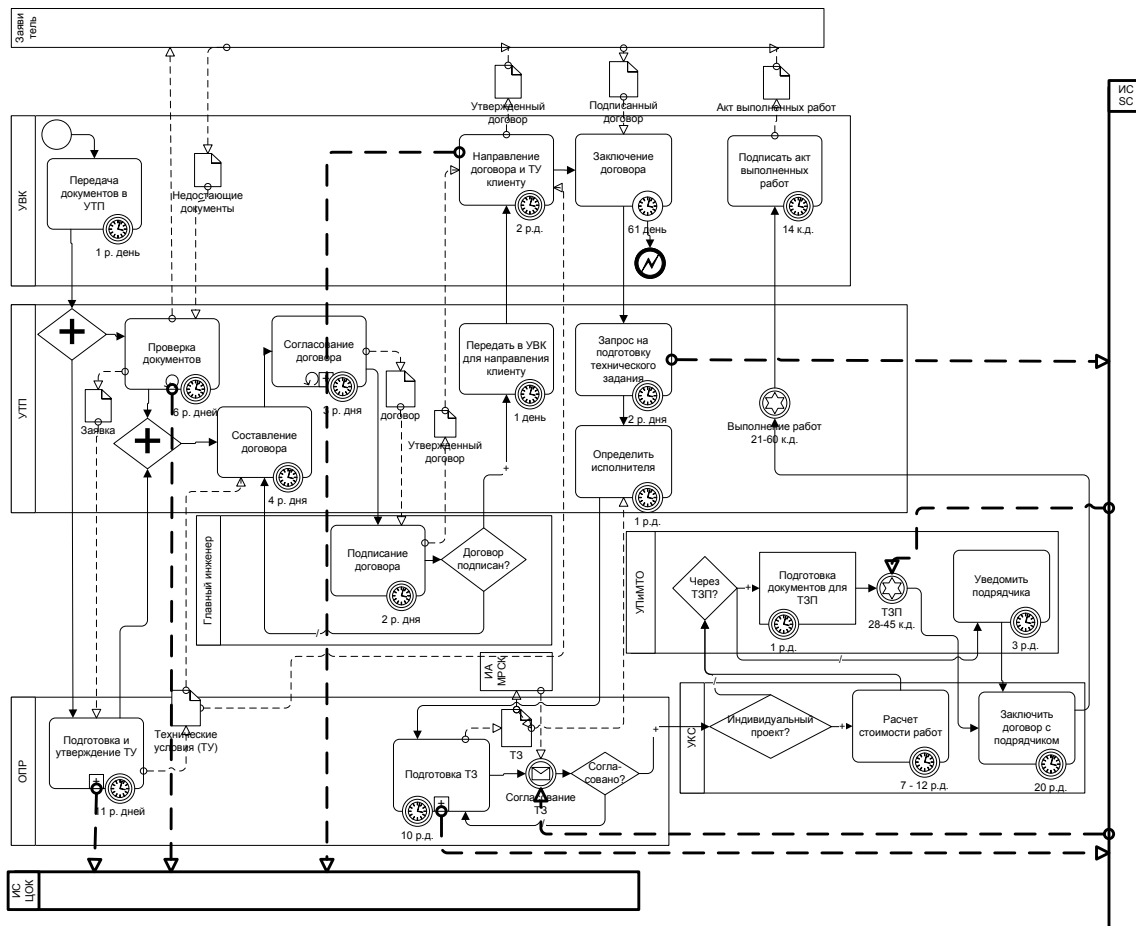


Рис. 7. Алгоритм работы системы оперативного контроля за технологическим присоединением

Таблица 2. Нормальные и критические сроки выполнения этапов ТП

№	Вид работ	Исполнитель	Ткр		Тн	
			раб. дней	с подачи заявки	раб. дней	с подачи заявки
1.1	Передача документов в УТП	УВК	1	1	1	1
1.2a	Проверка документов	УТП	6	7	3	4
1.2b	Проверка и подготовка ТУ	ОПР	11	18	6	10
1.3	Составление договора	УТП	4	22	2	12
1.4	Согласование договора	УТП	3	25	2	14
1.5	Подписание договора	Гл. инженер	2	27	1	15
1.6	Отправить документ клиенту	УВК	2	29	1	16
2	Подписание договора клиентом	УВК				
3.1.1	Запрос на подготовку ТЗ	УТП	2	31	1	17
3.1.2	Выбор вида контракта	УТП	1	32	1	18
3.1.3	Подготовка ТЗ	ОПР	10	42	6	24
3.1.4	Согласование ТЗ	УТП	5	47	3	27
3.1.5	Запрос на подготовку сметы и расчет стоимости работ	УКС	7	54	4	31
3.1.6	Подготовка документов для ТЗП	УПиМТО	1	55	1	32
3.1.8	ТЗП	УПиМТО	20	75	11	43
3.1.9	Уведомить подрядчика и УТП	УПиМТО	3	78	2	45
3.1.10	Заключить договор с подрядчиком	УКС	20	98	12	57
3.2	Выполнить работы	Подрядчик	15–45	113–143	9–30	66–87
4	Подписать акт выполненных работ	УВК				

Список литературы

1. **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. – 2012. – Т. 18. – № 1. – С. 37–40.

2. **Денисов А.Р., Левин М.Г., Некрасова Т.А.** Статистический анализ потока заявок на технологическое присоединение к электрическим сетям // Theory and practice in the physical, mathematical and technical sciences: materials digest of the XXIV International Scientific and Practical Conference and the I stage of Research Analytics Championship in the physical, mathematical and technical sciences. – London: IASHE, 2012. – P. 51–55.

3. **Клейнрок Л.** Теория массового обслуживания / пер. с англ. И.И. Грушко; ред. В.И. Нейман. – М.: Машиностроение, 1979. – 432 с.

References

1. Denisov, A.R., Levin, M.G., Rybinskiy, A.V., Nekrasova, T.N. Sintez i analiz modeli «kak est'» biznes-protsessa «Tekhnologicheskoe prisoedinenie k elektricheskim setyam» [Synthesis and Analysis of «AS-IS» Model of Business-process «Technological Connections to Electrical Networks»]. *Vestnik KGU*, 2012, 1(18), pp. 37–40.

2. Denisov, A.R., Levin, M.G., Nekrasova, T.A. Statisticheskii analiz potoka zayavok na tekhnologicheskoe prisoedinenie k elektricheskim setyam [Statistical Analysis of Demands Flow for Technological Connections to Electric Networks]. Theory and practice in the physical, mathematical and technical sciences: materials digest of the XXIV International Scientific and Practical Conference and the I stage of Research Analytics Championship in the physical, mathematical and technical sciences, London, IASHE, 2012, pp. 51–55.

3. Kleynrok, L. *Teoriya massovogo obsluzhivaniya* [Theory of Mass Service]. Moscow, Mashinostroenie, 1979. 432 p.

Денисов Артем Руфимович,

ФГБОУВПО «Костромской государственный университет имени Н.А. Некрасова»,
доктор технических наук, профессор кафедры биотехнических, технологических и информационных систем,
тел. +7(4942)39-16-49,
e-mail: inf_service@ksu.edu.ru

Левин Михаил Григорьевич,

ФГБОУВПО «Костромской государственный университет имени Н.А. Некрасова»,
доктор технических наук, профессор кафедры биотехнических, технологических и информационных систем,
e-mail: inf_service@ksu.edu.ru

Рыбинский Алексей Владимирович,

ФГБОУВПО «Костромской государственный университет имени Н.А. Некрасова»,
аспирант кафедры биотехнических, технологических и информационных систем,
e-mail: inf_service@ksu.edu.ru