

6. Ривкин А. М. Модель полета воздушных судов на эшелоне / А. М. Ривкин // Наука и образование: электронное научно-техническое издание. – 2011. – № 11. – С. 15. – Режим доступа: <http://elibrary.ru/item.asp?id=17105440> (дата обращения 12.02.2012), свободный. – Загл. с экрана. – Яз. рус.

7. Федеральные авиационные правила полетов в воздушном пространстве Российской Федерации // Приказ Министра обороны Российской Федерации, Министерства транспорта Российской Федерации, Российского авиационно-космического агентства от 31 марта 2002 г. № 136/42/51. – 102 с.

#### References

1. Bugrov Ya. S., Nikolskiy S. M. *Vysshaya matematika* [Higher mathematics]. Moscow, Drofa, 2004. Т. 1. Elementy lineynoy algebry i analiticheskoy geometrii [Vol. 1. Elements of linear algebra and analytic geometry]. 288 p.

2. Vlasov A. I., Tsyganov I. G. Arkhitektura korporativnoy mnogoagentnoy avtomatizirovannoy sistemy filtratsii informatsionnykh potokov [Architecture of corporate multiagent automated system of information flow filtration]. *Informatsionnye tekhnologii* [Information Technologies], 2005, no. 1, pp. 34–41.

3. *Vozdushnyy kodeks Rossiyskoy Federatsii* [Air Code of the Russian Federation] of 19.03.1997 no. 60-FL.

4. Novikov P. V. Algoritm vysokotochnykh vychisleniy meteodobavki skorosti vetra dlya uchastka poleta vozdushnogo sredstva [Algorithm of precise calculations of wind speed meteorpart for flight section of air facility]. *Nauka i obrazovanie* [Science and Education], 2012, no. 11, p. 5. Available at: <http://elibrary.ru/item.asp?id=17105440> (accessed 12 February 2012).

5. *Proizvodstvo poletov vozdushnykh sudov* [Aircraft operations]. International Civil Aviation Organization (ICAO), 2006. 386 p.

6. Rivkin A. M. Model poleta vozdushnykh sudov na eshelone [The model of aircraft flight at the flight level]. *Nauka i obrazovanie* [Science and Education], 2011, no. 11, p. 15. Available at: <http://elibrary.ru/item.asp?id=17105440> (accessed 12 February 2012).

7. Federalnye aviatsionnye pravila poletov v vozdushnom prostranstve Rossiyskoy Federatsii [Federal aviation regulations in airspace of the Russian Federation]. *Prikaz Ministra oborony Rossiyskoy Federatsii, Ministerstva transporta Rossiyskoy Federatsii, Rossiyskogo aviatsionno-kosmicheskogo agentstva* [Order of the Minister of Defence, the Ministry of Transport of the Russian Federation, the Russian Aviation and Space Agency] of March 31, 2002, no. 136/42/51. 102 p.

УДК 658.262

### **МОДЕЛИРОВАНИЕ ПОТОКА ЗАЯВОК НА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ПРИСОЕДИНЕНИЕ К ЭЛЕКТРИЧЕСКИМ СЕТЯМ**

*Денисов Артем Руфимович*, доктор технических наук, Костромской государственной университет имени Н.А. Некрасова, 156961, Российская Федерация, г. Кострома, ул. 1 Мая, 16, e-mail: [inf\\_service@ksu.edu.ru](mailto:inf_service@ksu.edu.ru)

*Левин Михаил Григорьевич*, доктор технических наук, Костромской государственной университет имени Н.А. Некрасова, 156961, Российская Федерация, г. Кострома, ул. 1 Мая, 16, e-mail: [inf\\_service@ksu.edu.ru](mailto:inf_service@ksu.edu.ru)

*Рыбинский Алексей Владимирович*, аспирант, Костромской государственной университет имени Н.А. Некрасова, 156961, Российская Федерация, г. Кострома, ул. 1 Мая, 16, e-mail: [inf\\_service@ksu.edu.ru](mailto:inf_service@ksu.edu.ru)

*Некрасова Татьяна Николаевна*, аспирант, Костромской государственной университет имени Н.А. Некрасова, 156961, Российская Федерация, г. Кострома, ул. 1 Мая, 16, e-mail: [inf\\_service@ksu.edu.ru](mailto:inf_service@ksu.edu.ru)

Определяется необходимость внедрения в распределительных сетевых компаниях системы поддержки принятия решений по управлению бизнес-процессом выполнения работ по технологиче-

скому присоединению к электрическим сетям. В качестве тематического обеспечения создаваемой системы предлагается использовать математический аппарат систем массового обслуживания. Обосновывается, что процесс по технологическому присоединению может быть представлен в виде системы класса M/M/3, включающей в себя три автомата «Проверка комплектности документов», «Формирование технических условий и заключение договора» и «Технологическое присоединение», причем первый из них является автоматом с отказами, а остальные – без отказов. Предложен метод определения интенсивности входного и выходного потоков каждого из автоматов на основе регрессионной зависимости, учитывающей как тенденцию ежегодного роста количества поданных заявок, так и сезонные колебания. Предложен метод оценки адекватности полученной модели, основанной на сравнении теоретических и фактических значений базовых показателей работы автоматов системы, включая среднее время обслуживания, количество заявок в системе.

**Ключевые слова:** технологическое присоединение к электрическим сетям, система поддержки принятия решений, управление рисками, системы массового обслуживания, моделирование потока заявок, поток Пуассона, корреляционный анализ, оценка достоверности и адекватности модели

### **SIMULATION OF REQUESTS FOR ELECTRICAL NETWORKS BY TECHNOLOGICAL ASSOCIATION**

*Denisov Artem R.*, D.Sc. (Engineering), Nekrasov Kostroma State University, 16, 1 May St., Kostroma, 156961, Russian Federation, e-mail: inf\_service@ksu.edu.ru

*Levin Mikhail G.*, D.Sc. (Engineering), Nekrasov Kostroma State University, 16, 1 May St., Kostroma, 156961, Russian Federation, e-mail: inf\_service@ksu.edu.ru

*Rybinskiy Aleksey V.*, post-graduate student, Nekrasov Kostroma State University, 16, 1 May St., Kostroma, 156961, Russian Federation, e-mail: inf\_service@ksu.edu.ru

*Nekrasova Tatyana N.*, post-graduate student, Nekrasov Kostroma State University, 16, 1 May St., Kostroma, 156961, Russian Federation, e-mail: inf\_service@ksu.edu.ru

The article suggests that business process management should rely on decision-making support systems for distributing technological information on electric networks to grid companies. The support system could use high-quality mathematical models of queuing systems, with the technological accession data presented in the form of the M/M/3-class of system. The latter enables three machine functions: verifying the network's completeness, specifying its formation and conclusion, and enabling technological accession. The first of these, the critique relates, is automated and allows refusals, while the others appear without the refusal capacity. At this stage, the document recommends that the quality-determination-based method for entrance and target streams use a regression-dependence method as a preferred tendency for submitting demands (such as annual growth and seasonal fluctuations). The blueprint states that the method would be based on theoretical and actual base indicator values, providing an automated operational system (offering average holding time, number of in-system demands and other information).

**Keywords:** technological association for electrical networks, decision-making support system, risks management, queuing systems, Poisson flow, demand-flow modeling, correlation analysis, model reliability, adequacy assessment

#### **1. Введение**

Бизнес-процесс (БП) «Распределение электроэнергии» и БП «Технологическое присоединение» (ТП) – это два основных БП любой распределительной сетевой компании (РСК), от качества реализации которых напрямую зависит не только прибыль, но и удовлетворённость клиентов, выражающаяся в отсутствии каких-либо жалоб. Следует заметить, что если для эффективного управления первым БП существует достаточно проработанная автоматизированная система управления, то второй БП до сих пор осуществляется в ручном режиме, что делает невозможным эффективное управление и контроль за его реализацией.

Нормативной базой БП «Технологическое присоединение» являются Федеральный закон [3] и Постановление Правительства РФ [2], определяющие правила и регламентирующие порядок недискриминационного доступа к электрическим сетям. В соответствии с данными нормативными актами РСК обязана провести ТП в установленные законодательством жесткие сроки [2], в зависимости от типа заявки равные от 6 месяцев до 2-х лет. В случае нарушения данных сроков со стороны контролирующих организаций следуют серьезные фискальные санкции, составляющие до 2 % от годового оборота РСК. Поэтому 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 РСК. Все это обуславливает высокую актуальность задач оптимального (рационального) планирования и оперативного контроля реализации каждого ТП, рассматриваемого как самостоятельный проект.

Проведенный анализ [1] показал, что базовым компонентом системы управления ТП является система поддержки принятия решений, основанная на управлении рисками реализации каждого ТП. Для этого необходимо, прежде всего, построить его адекватную математическую модель. В качестве такой модели целесообразно использовать систему массового обслуживания (СМО) с квантом времени в 1 рабочий день, что позволит количественно оценить важнейшие статические и динамические показатели исследуемого БП. При этом возникает вопрос: какова структура СМО ТП и ее основные характеристики. Для ответа на этот вопрос авторами проведен статистический анализ фактических данных, собранных соответствующими 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.

## 2. Моделирование входного потока заявок

На рис. 1 приведен временной ряд среднего количества поступающих заявок на ТП за один рабочий день в зависимости от месяца. Очевидно, что со временем количество заявок растёт линейно. Также видно, что в течение года существуют периодические колебания, что позволяет описать зависимость среднего числа (интенсивности потока) заявок в день в каждом месяце выражением (1):

$$\lambda(m) = a_{01} \cdot m + a_{02} \cdot \sin((m-1)/6 \cdot \pi - \pi/2) + b_0, \quad (1)$$

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

Методом корреляционного анализа были определены коэффициенты функциональной зависимости (1), что иллюстрирует табл. 1, из которой 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 (1) с вероятностью ошибки менее 5 % (рис. 1).

Таблица 1

Результаты корреляционного анализа

	Среднее	Стандартное отклонение	$t_{расч}$	$t_{табл}$
$a_{01}$	0,1761	0,0204	8,6531	2,009575
$a_{02}$	2,0848	0,4205	4,9577	2,009575
$b_0$	6,6933	0,6072	11,0238	2,009575
Коэффициент корреляции $R$	0,8145	0,0837	9,7273	2,009575

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

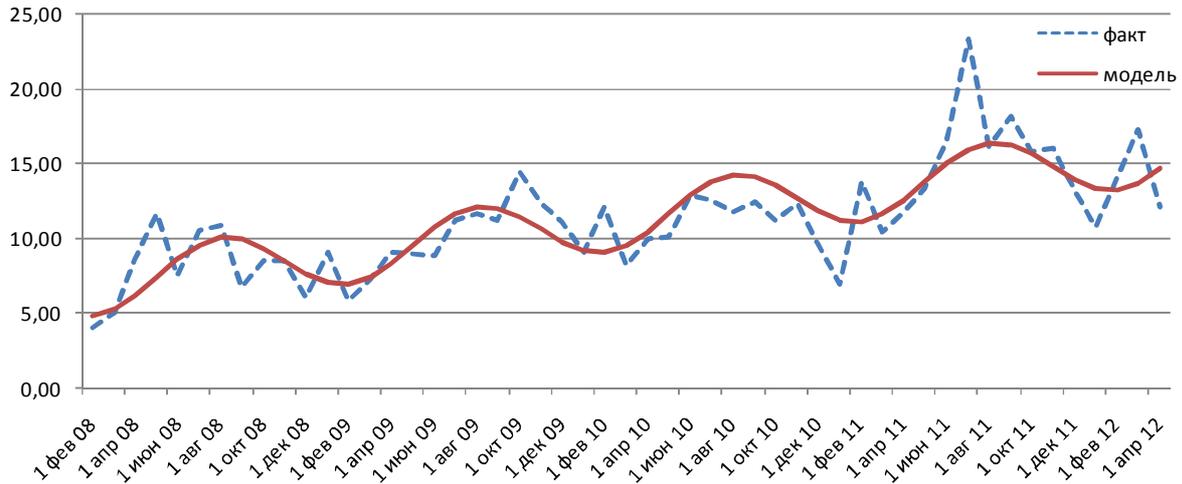


Рис. 1. Сравнение фактических данных  $\lambda(m)$  с модельными

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

$$Z_{\text{фак}}(m) = \lambda(m) \cdot t(m), \quad (2)$$

где  $Z_{\text{фак}}(m)$  – количество заявок в месяц  $m$ ,  $\lambda(m)$  – интенсивность заявок в день в месяце  $m$ ;  $t(m)$  – количество рабочих дней в месяце  $m$ .

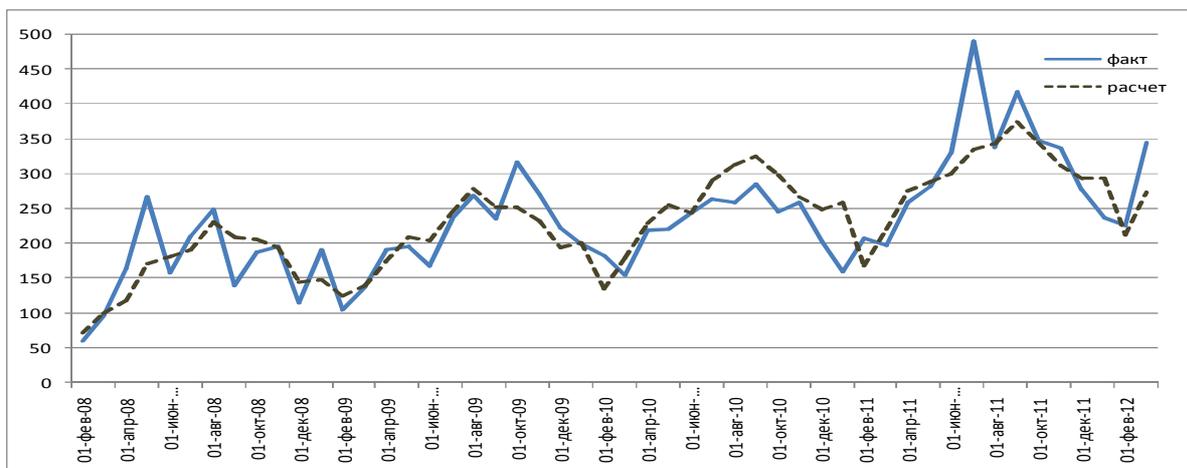


Рис. 2. Сравнение фактических данных  $Z_{\text{фак}}(m)$  с модельными

Коэффициент корреляции между фактическим количеством и расчётным (рис. 2)  $R = 0,84$  и коэффициент вариации, не превышающий 20 %, говорят о высокой степени достоверности моделей (1) и (2).

### 3. Автомат «Проверка комплектности документов в заявках»

Первым этапом обработки заявки является проверка их комплектности. В рамках проверки заявитель может получить отказ вследствие отсутствия технической возможности технологического присоединения, причины которых сформулированы в Правилах технологического присоединения энергопринимающих устройств [2]. Другой причиной «ошибочного» завершения процесса является отказ заявителя, что может быть им оформлено в виде соответствующего письма, либо по истечении 60 дней, выделенных на поиск недостающих документов.

Так как входной поток заявок можно представить в виде потока Пуассона, то и качестве модели их обработки целесообразно использовать систему массового обслуживания (СМО), что позволит количественно оценить важнейшие статические и динамические показатели исследуемого БП. Для оценки адекватности использования СМО при моделировании данного этапа целесообразно сравнить фактический входной поток заявок с теоретическим, полученным на основе формулы Литтла (рис. 3):

$$N_{np}^{cp}(m) = \lambda(m) \cdot T_{np}^{cp}(m), \quad (3)$$

где  $N_{np}^{cp}(m)$  – среднее количество заявок, находящихся на проверке в месяц  $m$ ,  $T_{np}^{cp}(m)$  – среднее время проверки заявки в месяце  $m$ .

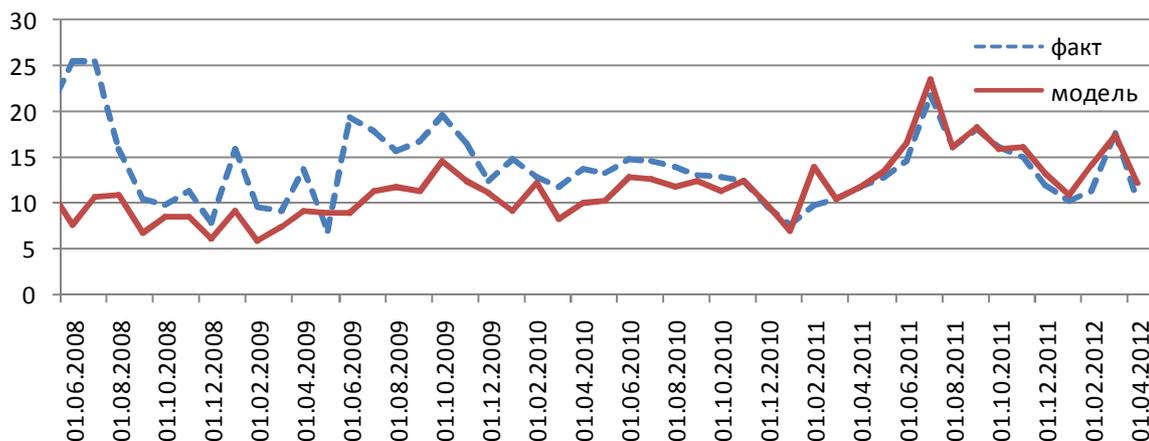


Рис. 3. Расчетная и фактическая интенсивность входного потока

Из рис. 3 видно, что начиная с января 2010 г. теоретическая и фактическая кривые практически совпадают, что делает возможным использование математического аппарата СМО при анализе системы обработки заявок по ТП. Для определения типа СМО были построены временные ряды среднего времени проверки заявки  $T_{np}^{cp}(m)$  (рис. 4) его стандартного отклонения. Из представленных графиков видно, что начиная с июня 2009 г. стандартное отклонение от времени заявки равно среднему значению. Подобное распределение соответствует работе автомата М/М/1 с интенсивностью обработки заявок в виде потока Пуассона. Проверка данного утверждения по критерию  $\chi^2$  показала, что в среднем  $\chi^2$  составляет  $0,7217 \pm 0,3894$ , что говорит об адекватности выдвинутой гипотезы.

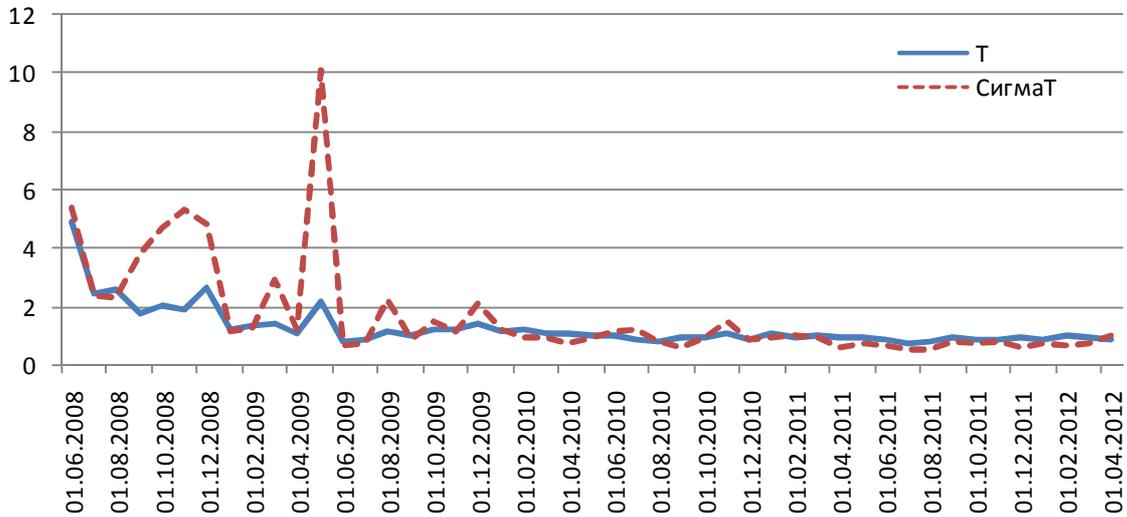


Рис. 4. Среднее значение и стандартное отклонение времени обработки заявки  $T^{cp}(m)$

Исходя из этого, становится возможным определить интенсивность обработки заявок на данном автомате в соответствии с формулой среднего времени обработки заявки:

$$T^{cp} = 1/\mu / (1 - \lambda/\mu). \quad (4)$$

Таким образом, интенсивность обработки заявок  $\mu_1(m)$  при их проверке рассчитывается по формуле:

$$\mu_1(m) = (1 + \lambda(m) \cdot T^{cp}_{np}(m)) / T^{cp}_{np}(m). \quad (5)$$

Временной ряд интенсивности обработки заявок представлен на рис. 5, из которого видно, что существует тенденция роста интенсивности обработки заявок, которая, так же как и интенсивность входных заявок, характеризуется периодическим фактором, что позволяет определить ее выражением (6):

$$\mu_1(m) = a_{\partial 11} \cdot m + a_{\partial 12} \cdot \sin((m-1)/6 \cdot \pi - \pi/2) + b_{\partial 1}, \quad (6)$$

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

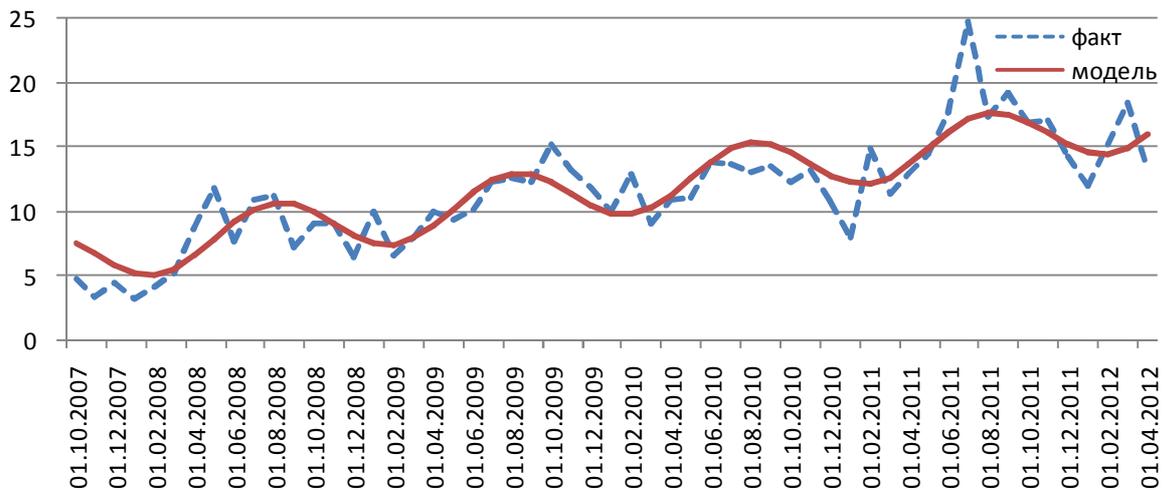


Рис. 5. Сравнение фактических данных  $\mu_1(m)$  с модельными

Методом корреляционного анализа были определены коэффициенты функциональной зависимости (6), что иллюстрирует табл. 2.

Таблица 2

**Результаты корреляционного анализа**

	Среднее	Ошибка	$t_{расч}$	$t_{табл}$
$a_{011}$	0,1949	0,0202	9,6498	2,010635
$a_{012}$	2,1800	0,4173	5,2247	2,010635
$b_{01}$	7,0427	0,6025	11,6899	2,010635
Коэффициент корреляции $R$	0,8397	0,0784	10,7120	2,010635

Из табл. 2 следует, что все значения достоверны по критерию Стьюдента с вероятностью ошибки менее 5 %. Расчетное значение коэффициента Фишера –  $F = 57,37$ , что больше табличного значения, равного 3,20. Эти результаты позволяют утверждать о достоверности и адекватности предложенной модели (6) с вероятностью ошибки менее 5 %.

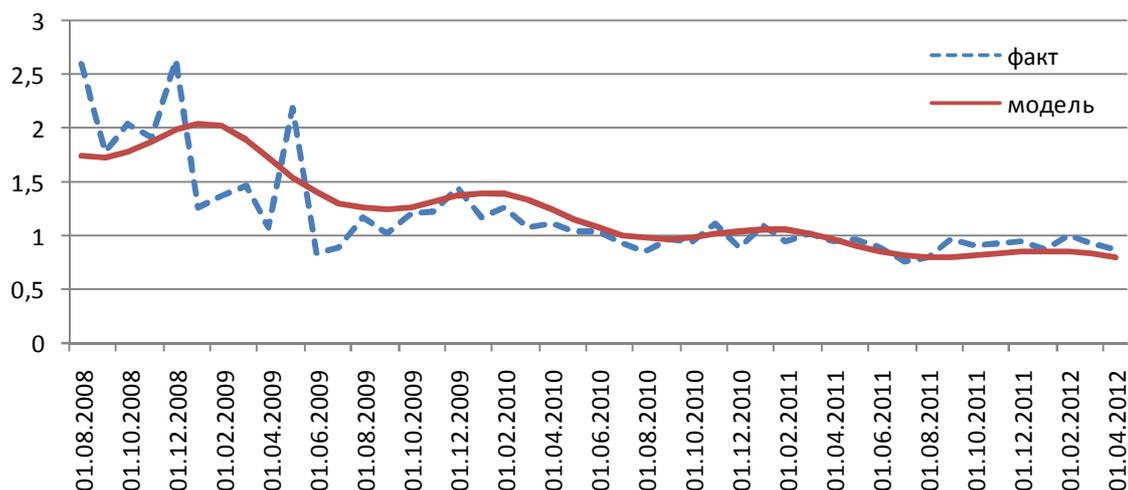


Рис. 6. Сравнение фактических данных  $T_{np}^{cp}(M)$  с модельными

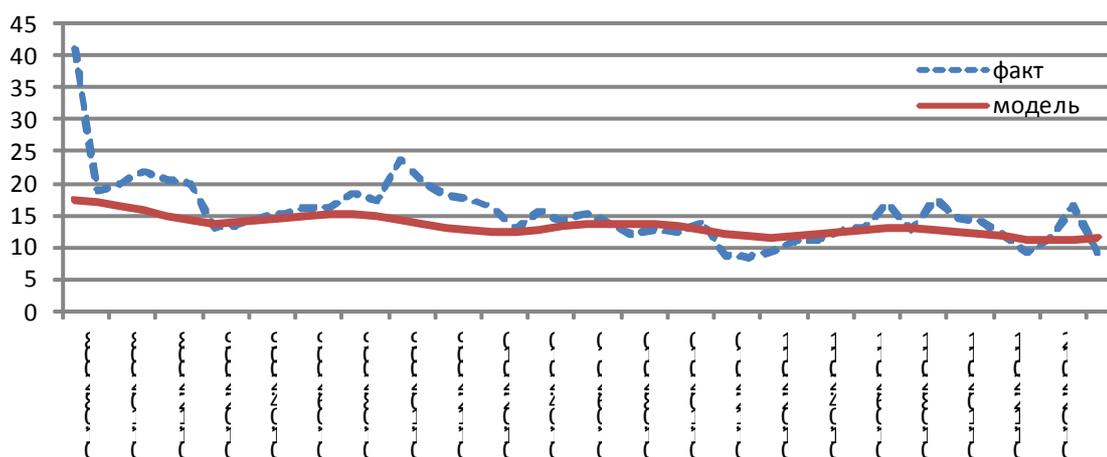


Рис. 7. Сравнение фактических данных  $N_{np}^{cp}(M)$  с модельными

Для оценки достоверности полученных данных также были рассчитаны теоретическое среднее время обслуживания заявок в автомате  $T_{np}^{cp}(M)$  (7), а также теоретическое среднее число заявок, находящихся в системе,  $N_{np}^{cp}(M)$  (8), при подаче на автомат теоретического входного потока  $\lambda(M)$  (1):

$$T_{np}^{cp}(m) = 1/\mu_1(m) / (1 - \lambda(m)/\mu_1(m)), \quad (7)$$

$$N_{np}^{cp}(m) = \lambda(m)/\mu_1(m) / (1 - \lambda(m)/\mu_1(m)). \quad (8)$$

Графики фактического и теоретического среднего времени обслуживания заявки  $T_{np}^{cp}(m)$  представлены на рис. 6. Коэффициент вариации не превышает 23 %. Графики фактического и теоретического среднего числа заявок, находящихся в системе,  $N_{np}^{cp}(m)$  представлены на рис. 7. Коэффициент вариации не превышает 24 %. Коэффициент Стьюдента выше 4, что также говорит о достоверности модели.

Процесс проверки заявок предполагает их отклонение (отказ). Процент отклоненных заявок по месяцам представлен на рис. 8, из которого видно, что доля отклоненных заявок  $P(m)$  до начала 2011 г. постоянно уменьшалась, а после – не превышает 9 %. Определим выражение для оценки интенсивности потока неотклоненных заявок:

$$\mu_2(m) = a_{\delta 21} \cdot m + a_{\delta 22} \cdot \sin((m-1)/6 \cdot \pi - \pi/2) + b_{\delta 2}. \quad (9)$$

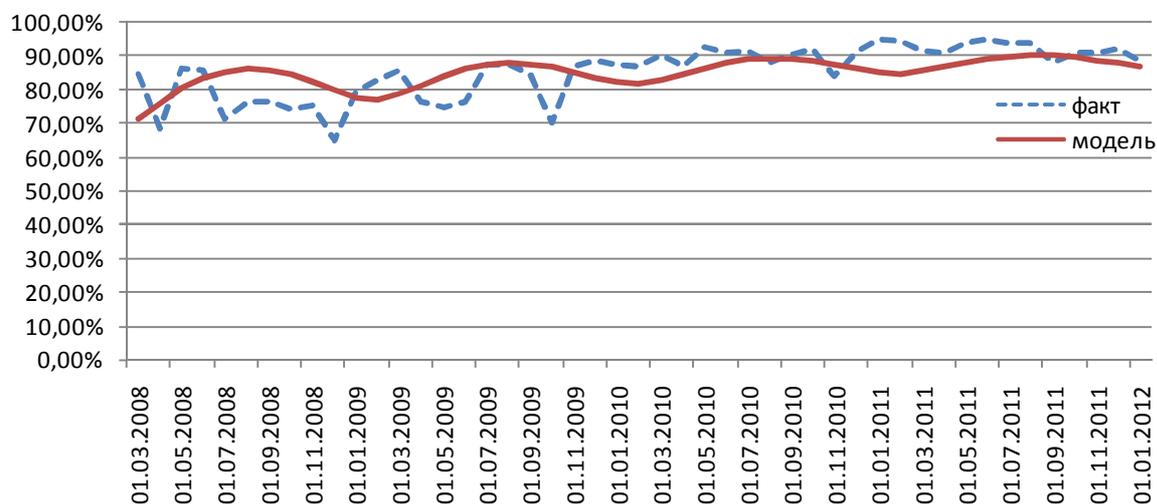


Рис. 8. Сравнение фактических данных  $P(m)$  с модельными

Методом корреляционного анализа были определены коэффициенты функциональной зависимости (9) (табл. 3).

Таблица 3

**Результаты корреляционного анализа**

	Среднее	Ошибка	$t_{расч}$	$t_{табл}$
$a_{\delta 21}$	0,1771	0,0214	8,2783	2,0281
$a_{\delta 22}$	2,1803	0,4083	5,3405	2,0281
$b_{\delta 2}$	5,1533	0,6451	7,9877	2,0281
Коэффициент корреляции $R$	0,8107	0,0883	9,1863	2,0281

Из табл. 3 следует, что все значения являются достоверными по критерию Стьюдента с вероятностью ошибки менее 5 %. Расчетное значение коэффициента Фишера –  $F = 42,19$ , что больше табличного значения, равного 4,06. Эти результаты позволяют утверждать о достоверности и адекватности предложенной модели (9) с вероятностью ошибки менее 5 %.

**4. Автомат «Создание технических условий и заключение договора»**

После того, как заявитель предоставит полный комплект документов, с ним заключается договор и параллельно этому формируются технические условия (ТУ) на ТП. На решение этой задачи, согласно регламенту, выделяется 30 дней или 21–22 рабочих дня.

Для моделирования данного этапа была построена модель СМО класса М/М/1 по методике, аналогичной п. 3. В частности, определены фактические значения и регрессионная зависимость интенсивности обработки заявок  $\mu_3(m)$  (рис. 9, табл. 4):

$$\mu_3(m) = a_{\partial 31} \cdot m + a_{\partial 32} \cdot \sin((m-1)/6 \cdot \pi - \pi/2) + b_{\partial 3}. \quad (10)$$

Таблица 4

Результаты корреляционного анализа

	Среднее	Ошибка	$t_{расч}$	$t_{табл}$
$a_{\partial 31}$	0,1774	0,0214	8,2952	2,010635
$a_{\partial 32}$	2,1844	0,4082	5,3518	2,010635
$b_{\partial 3}$	5,1982	0,6450	8,0592	2,010635
Коэффициент корреляции $R$	0,8113	0,0881	9,2052	2,010635

Из табл. 4 следует, что все значения являются достоверными по критерию Стьюдента с вероятностью ошибки менее 5 %. Расчетное значение коэффициента Фишера –  $F = 42,36$ , что больше табличного значения, равного 3,20. Эти результаты позволяют утверждать о достоверности и адекватности предложенной модели с вероятностью ошибки менее 5 %.

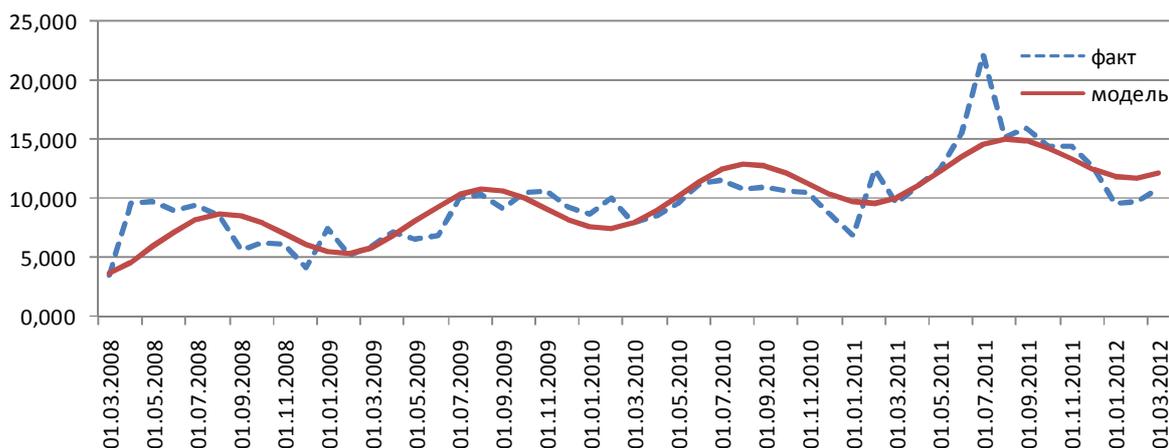


Рис. 9. Сравнение фактических данных  $\mu_3(m)$  с модельными

Как и в п. 3, достоверность модели автомата «Создание технических условий и заключение договора» также была проверена через сравнение теоретических и фактических величин среднего времени обработки заявки  $T^{cp}_{my}(m)$  и среднего количества заявок, находящихся в системе,  $N^{cp}_{np}(m)$ . Коэффициент вариации в обоих случаях не превышает 20 %, что также подтверждает выдвинутое предположение.

Следует заметить, что на выполнение работ по формированию ТУ и заключению договора требуется определенное время. Вследствие этого происходит смещение во времени выходного потока на данном автомате, что не учитывается в предложенной модели. Чтобы устранить данный недостаток, необходимо скорректировать интенсивность входного потока  $\mu^n_3(m)$ , поступающего на следующий автомат, которую также можно описать выражением (табл. 5, рис. 10):

$$\mu^n_3(m) = a^n_{\partial 31} \cdot m + a^n_{\partial 32} \cdot \sin((m-1)/6 \cdot \pi - \pi/2) + b^n_{\partial 3}. \quad (11)$$

Таблица 5

**Результаты корреляционного анализа**

	Среднее	Ошибка	$t_{расч}$	$t_{табл}$
$a^n_{\partial 31}$	0,1707	0,0249	6,8444	2,0154
$a^n_{\partial 32}$	2,1485	0,4734	4,5386	2,0154
$b^n_{\partial 3}$	5,2502	0,7730	6,7917	2,0154
Коэффициент корреляции $R$	0,7525	0,0993	7,5796	2,0154

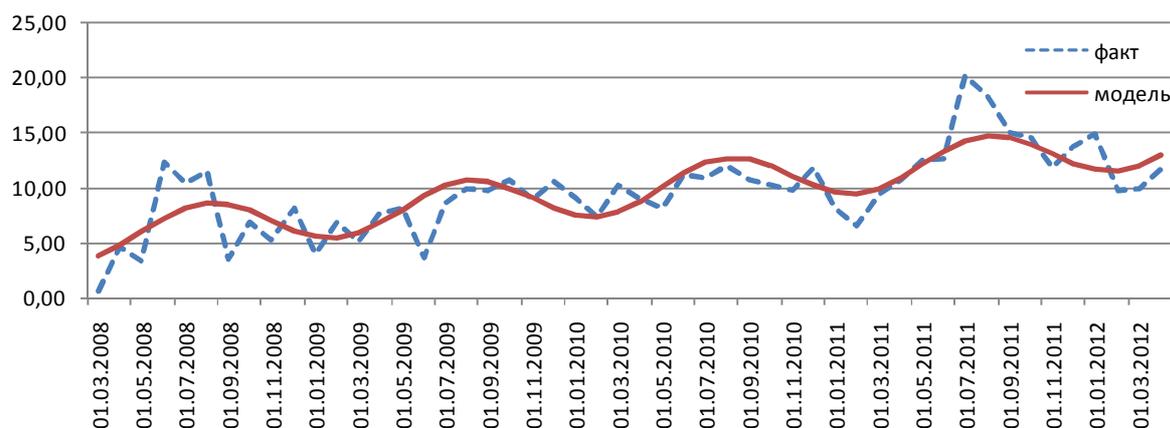


Рис. 10. Сравнение фактических данных  $\mu^n_3(m)$  с модельными

Из табл. 5 следует, что все значения являются достоверными по критерию Стьюдента с вероятностью ошибки менее 5 %. Расчетное значение коэффициента Фишера –  $F = 28,73$ , что больше табличного значения, равного 4,06. Эти результаты позволяют утверждать о достоверности и адекватности предложенной модели (11) с вероятностью ошибки менее 5 %. Для проверки достоверности и адекватности модели определим количество заявок, на основании которых были разработаны ТУ и заключен договор с заявителем,  $Z_{my}(m)$  и сравним их с фактическими:

$$Z_{my}(m) = \mu^n_3(m) \cdot t(m), \quad (12)$$

а также оценим фактический и теоретический процент отклоненных заявок (рис. 8):

$$P(m) = \mu^n_3(m) / \lambda(m). \quad (13)$$

Коэффициент вариации в обоих случаях не превышает 25 %, что говорит о высокой степени достоверности предложенной модели.

### 5. Автомат «Выполнение работ по технологическому присоединению»

В первую очередь, при проведении работ по технологическому присоединению учитывалось, что наиболее значимым параметром для данного этапа является время выполнения  $T_{np}$ . Графики среднего времени технологического присоединения  $T^{cp}_{np}(m)$  представлены на рис. 11. Начиная с 2010 г. величина стандартного отклонения примерно равна среднему времени, что делает возможным предположение о том, что модель для данного этапа также можно представить в виде СМО класса М/М/1.

Для минимизации погрешности прогнозирования предлагается строить его регрессионную зависимость от времени, а все остальные параметры – определять через нее по известным аналитическим формулам. В качестве корреляционного уравнения предлагается использовать степенную зависимость вида (рис. 11, табл. 6):

$$T^{cp}_{mn}(m) = e^{a_{mn} \cdot m + b_{mn}}, \quad (14)$$

благодаря чему время выполнения работ по ТП всегда будет иметь значение, большее нуля, что соответствует физической природе данного параметра. Из табл. 6 следует, что все значения являются достоверными по критерию Стьюдента с вероятностью ошибки менее 5 %. Расчетное значение коэффициента Фишера –  $F = 90,30$ , что больше табличного значения, равного 4,18. Эти результаты свидетельствуют о достоверности и адекватности предложенной модели (14) с вероятностью ошибки менее 5 %.

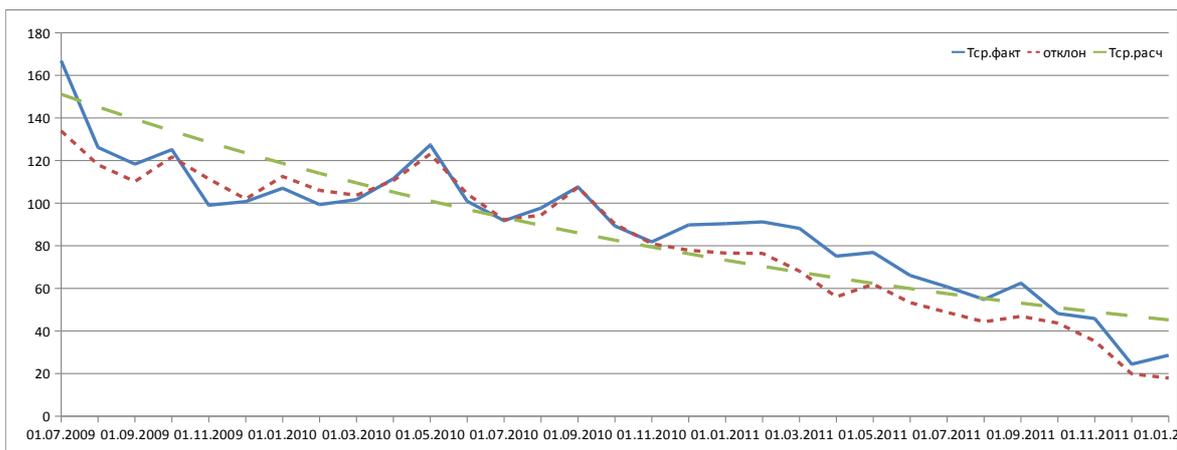


Рис. 11. Расчетное и фактическое среднее время выполнения работ по ТП

Таблица 6

**Результаты корреляционного анализа**

	Среднее	Ошибка	$t_{расч}$	$t_{табл}$
$a_{mn}$	-0,0402408	0,004234696	9,50264376	2,045229642
$b_{mn}$	5,74233244	0,144786996	39,6605536	2,045229642
Коэффициент корреляции $R$	0,88331492	0,0870502698	10,14718198	2,045229642

Для оценки адекватности модели СМО в виде М/М/1 определим среднее количество заявок, по которым выполняются работы по ТП:

$$N^{cp}_{mn}(M) = T^{cp}_{mn}(M) \cdot \mu^n_3(M), \quad (15)$$

а также интенсивность завершения работ:

$$\mu_{mn}(M) = (T^{cp}_{np}(M) \cdot \mu^n_3(M)) / (1 + T^{cp}_{np}(M) \cdot \mu^n_3(M)), \quad (16)$$

где  $\mu_{mn}(M)$  – интенсивность потока выполненных проектов ТП в месяце  $M$ .

Начиная с января 2010 г. теоретическая и фактическая кривые практически совпадают, а коэффициент вариации для обеих характеристик не превышает 20 %. Это подтверждает предположение об использовании математического аппарата СМО на данном этапе.

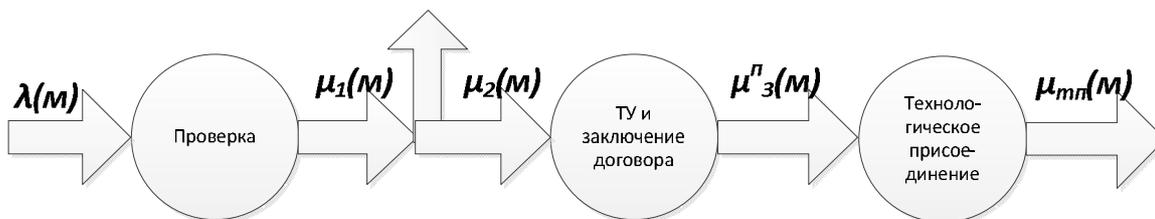


Рис. 12. Структура СМО системы технологического присоединения

Таким образом, общую модель ТП можно представить в виде СМО М/М/3 (рис. 12), с помощью которой с высокой степенью достоверности можно рассчитывать основные пара-

метры выполнения проектов по ТП. В частности, используя классические формулы, можно рассчитать вероятность выполнения любого проекта за время  $t$  и тем самым математически оценить риски невыполнения проекта за указанные сроки.

#### Список литературы

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. – Т. 18, № 1. – С. 37–40.
2. Постановление Правительства РФ «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» от 27.12.2004 г. № 861.
3. Федеральный закон «Об электроэнергетике» от 26.03.2003 г. № 35.

#### 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 connection to electrical networks”]. *Vestnik KGU im. N.A. Nekrasova* [Bulletin of Nekrasov Kostroma State University], 2012, vol. 18, no. 1, pp. 37–40.
2. Postanovlenie Pravitelstva RF «Ob utverzhenii Pravil nediskriminatsionnogo dostupa k uslugam po operativno-dispetcherskomu upravleniyu v elektroenergetike i okazaniya etikh uslug, Pravil nediskriminatsionnogo dostupa k uslugam administratora torgovoy sistemy optovogo rynka i okazaniya etikh uslug i Pravil tekhnologicheskogo prisoedineniya energoprimayushchikh ustroystv (energeticheskikh ustanovok) yuridicheskikh i fizicheskikh lits k elektricheskim setyam» [The Resolution of the Government of the Russian Federation “On the Approval of the Rules of Nondiscriminatory Access to Services for Operative Dispatching Control in Power Industry and Rendering of These Services, the Rules of Nondiscriminatory Access to the Services of Wholesale Market Trading System Administrator and Rendering of These Services and the Rules of Technological Connection of Legal Entities and Individuals’ Power-Accepting Devices (Power Installations) to Electric Networks”] of 27.12.2004, no. 861.
3. Federalnyy zakon «Ob elektroenergetike» [The Federal Law «On Power Industry»] of 26.03.2003, no. 35.

УДК 004.942; 544.18; 641.183:543.54

### **МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ВОЗДЕЙСТВИЯ МОЛЕКУЛ ЗАРИНА, ЗОМАНА И ТАБУНА НА СТРУКТУРНЫЕ КОМПОНЕНТЫ КЛЕТОЧНОЙ МЕМБРАНЫ**

*Сиротин Андрей Николаевич*, магистрант, Астраханский государственный университет, 414000, Российская Федерация, г. Астрахань, пл. Шаумяна, 1, e-mail: asirotin@mail.ru, lesy\_g@mail.ru

*Жарких Леся Ивановна*, кандидат технических наук, доцент, Астраханский государственный университет, 414000, Российская Федерация, г. Астрахань, пл. Шаумяна, 1, e-mail: asirotin@mail.ru, lesy\_g@mail.ru

*Алыкков Нариман Мирзаевич*, доктор химических наук, профессор, Астраханский государственный университет, 414000, Российская Федерация, г. Астрахань, пл. Шаумяна, 1, e-mail: asirotin@mail.ru, lesy\_g@mail.ru