

О.В. Савенок, Г.В. Кусов

ОБОСНОВАНИЕ ПРИМЕНИМОСТИ ЭКСПОНЕНЦИАЛЬНОГО ЗАКОНА РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ПРИ ОЦЕНКЕ НАДЕЖНОСТИ БЛОЧНОГО АВТОМАТИЗИРОВАННОГО НЕФТЕПРОМЫСЛОВОГО ОБОРУДОВАНИЯ

Приведено обоснование применимости экспоненциального закона распределения при проведении оценки надежности блочного автоматизированного нефтепромыслового оборудования. Показана необходимость проведения расчетов на надежность при создании сложных многофункциональных систем, каковыми и являются технологические системы сбора и подготовки продукции месторождений Крайнего Севера. Указано также на необходимость разработки специальных программ испытаний на надежность, обеспечивающих достаточно точное подтверждение заданных показателей надежности при минимальном объеме испытаний. Ключевые слова: блочное автоматизированное нефтепромысловое оборудование, оценка надежности, экспоненциальный закон распределения, математическая модель функционирования, межремонтный период оборудования, предельное значение погрешности, расчет надежности системы.

Особого внимания заслуживает вопрос об оценке надежности технологических систем блочного автоматизированного нефтепромыслового оборудования в условиях разрабатываемых месторождений Крайнего Севера. Под отказом оборудования понимается событие, заключающееся в нарушении его герметичности и приводящее к потере продукции. Потеря нефтепродуктов является недопустимым с точки зрения охраны биосферы и может рассматриваться как редкое событие с катастрофическими последствиями. В связи с вышесказанным сбор статистических данных об отказах нефтепромыслового оборудо-

дования в условиях Крайнего Севера представляется затруднительным. Тем не менее, и в этих условиях следует проводить оценочные расчеты уровня надежности технологического оборудования. Многочисленные исследования указывают на то, что недостоверность исходных статистических и других данных ни в коем случае не может служить основанием для отказа от проведения оценок различных показателей надежности и эффективности функционирования систем. Действительно, большинство расчетов оценок на ранних этапах проектирования носит относительный характер и, следовательно, неточность исходных данных приводит к отклонению результатов для всех сравниваемых вариантов, причем, как правило, в одну и ту же сторону.

Довольно очевидна необходимость проведения расчетов на надежность при создании сложных многофункциональных систем, каковыми и являются технологические системы сбора и подготовки продукции месторождений Крайнего Севера в тех случаях, когда [1]:

- для новых разрабатываемых образцов отсутствует какая-либо статистика из-за отсутствия прототипов;
- составляющие системы компоненты используются в принципиально новых режимах работы и поэтому что-либо сказать об их надежности не представляется возможным;
- ожидаемая надежность системы настолько высока, что полученные в результате расчетов показатели надежности невозможно каким-либо образом подтвердить экспериментально.

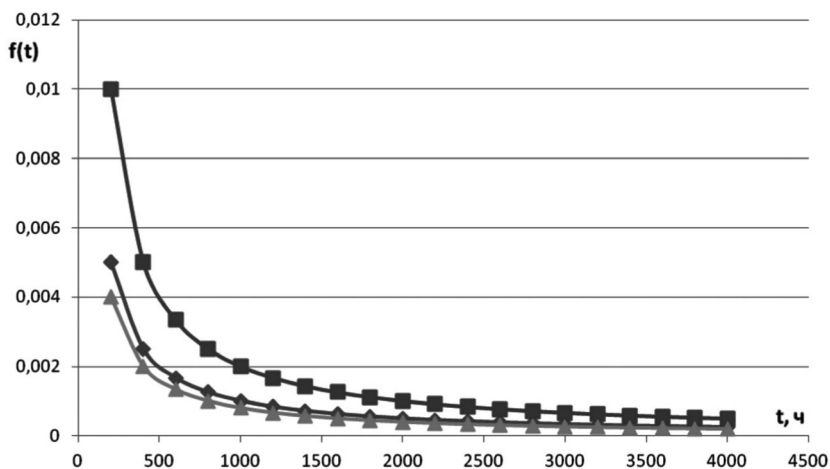
Во всех перечисленных случаях проведение даже параметрических расчетов надежности является весьма полезным и при полном отсутствии статистической информации. Даже в последнем случае, когда расчетную надежность нельзя подтвердить экспериментально, расчеты надежности производить, безусловно, следует, поскольку именно в этом случае расчеты надежности несут единственно возможную информацию об уровне надежности проектируемого изделия.

Выбор закона распределения для таких расчетов может быть обоснован следующим образом. При оценке надежности изделий машиностроения может быть использован экспоненциальный закон в течение некоторого периода времени, для которого сохраняется условие $\lambda = \text{const}$ и имеют место внезапные отказы, носящие характер редких событий. Причина возникновения такого отказа связана не с изменением состояния изделия, а с неблагоприятным сочетанием действующих факторов, либо с дефектами производства данного изделия. Построение моде-

ли внезапного отказа связано с анализом условий эксплуатации изделия или установки, режимами ее работы и активного влияния на нее окружающей среды. Все перечисленные факторы характерны для технологического оборудования, предназначенного для бурения и добычи нефти и газа месторождений Крайнего Севера. Различными авторами [2–5] были исследованы на надежность отдельные виды нефтепромыслового оборудования и показано соответствие экспоненциальному закону распределения такого оборудования как линейная часть нефтегазопроводов, буровых насосов и др.

Математическая модель функционирования изделий машиностроения основана на зависимости интенсивности отказов оборудования $\lambda(t)$ от времени его эксплуатации t . Практика применения закона доказала, что кривые зависимости $\lambda(t) = f(t)$ характеризуются точкой перегиба, которая отражает появление наряду с внезапными еще и постепенных отказов, вызванных накоплением в деталях каких-либо необратимых изменений в результате физических и химических процессов усталости, изнашивания, старения, коррозии и др. Со временем постепенные отказы становятся преобладающими, и функция принимает вид непрерывно возрастающей со временем.

На основе анализа данной кривой возможно определение межремонтного периода оборудования, исходя из условия недопущения постепенных отказов, т.е. в зоне пологой части кри-



Функция плотности вероятности распределения времени восстановления подъемных установок

вой $\lambda(t) = f(t)$. Таким образом, должна устанавливаться периодичность ремонтов и для технологического оборудования, эксплуатируемого в условиях Крайнего Севера. При соблюдении определенных таким образом сроков вывода оборудования на ремонт постепенные отказы его будут практически отсутствовать и, следовательно, надежность можно характеризовать экспоненциальным законом распределения (рисунок).

Принимая во внимание, что указанное выше допущение об экспоненциальном законе распределения может не всегда иметь место, возникает необходимость оценить возможную ошибку от такого допущения. Абсолютное значение ошибки в определении вероятности безотказной работы оборудования в течение времени вычисляется согласно выражению [6]:

$$|\Delta| = Z_q \cdot \sigma = Z_q \cdot \sqrt{\frac{P(t) \cdot (1 - P(t))}{n}}, \quad (1)$$

где σ – стандарт отклонения эмпирического распределения от теоретического; Z_q – аргумент нормирования функции Лапласа, соответствующий уровню достоверности q , выбранному для оценки ошибки.

Формула (1) имеет существенный недостаток: для ее использования в расчетах необходимо знать истинное значение вероятности $P(t)$, что требует в свою очередь знания истинного закона распределения потока отказов исследуемого оборудования. Поэтому ввиду невозможности точного вычисления этой погрешности возникает необходимость хотя бы оценить максимальную величину возможной ошибки.

При уменьшении функции надежности элемента блочного автоматизированного нефтепромыслового оборудования погрешность в определении $P(t)$ возрастает. В то же время при данном среднем времени T_0 между отказами наименьшие значения Δ принимает при экспоненциальном законе распределения. Следовательно, наибольшая ошибка при определении одной и той же функции надежности будет иметь место в том случае, когда истинный закон распределения будет носить экспоненциальный характер. Во всех остальных случаях ошибка будет меньше. Наибольшее значение погрешности вычисляется по формуле, аналогичной (2):

$$|\Delta|_{\max} = Z_q \cdot \sqrt{\frac{e^{-\alpha n} \cdot (1 - e)^{-\alpha n}}{n}}. \quad (2)$$

Тогда максимальная относительная ошибка:

$$|\Delta|_{\max}^* = \frac{|\Delta|_{\max}}{P(t)} = Z_q \cdot \sqrt{\frac{1 - e^{-\alpha \cdot n}}{n \cdot e^{-\alpha \cdot n}}}. \quad (3)$$

Здесь $\alpha = \frac{t}{N \cdot T} = \frac{\lambda \cdot t}{n}$; t – время, для которого определяется

вероятность безотказной работы; n – количество отказов оборудования, наблюдающихся за время T .

Раскладывая $e^{-\alpha \cdot n}$ в степенной ряд и ограничиваясь первыми двумя членами, получаем упрощенное выражение для определения предельных значений погрешностей:

- абсолютной:

$$|\Delta|_{\max} \approx Z_q \cdot \sqrt{\alpha \cdot (1 - \alpha \cdot n)}; \quad (4)$$

- относительной:

$$|\Delta|_{\max}^* \approx Z_q \cdot \sqrt{\frac{\alpha}{1 - \alpha \cdot n}}. \quad (5)$$

Упрощение за счет сбрасывания остальных членов ряда приводит к некоторому завышению величины оцениваемой погрешности, что вполне допустимо, так как дает возможность вычислить верхний предел допустимой ошибки с некоторым запасом. Таким образом, максимальная ошибка, обусловленная отличием теоретического закона распределения времени безотказной работы от эмпирического, не превышает величины стоящей правой части выражения (5). Однако величина относительной ошибки в оценке функции надежности сама по себе еще не дает полного представления о точности проведенных расчетов и должна задаваться от величины $P(t)$, так как при высоких значениях вероятности безотказной работы элемента системы блочного автоматизированного нефтепромыслового оборудования даже небольшая относительная ошибка в определении вероятности безотказной работы может привести к значительным погрешностям в определении другого показателя – вероятности отказа элемента $Q(t) = 1 - P(t)$. Так, например, задаваясь 10% величиной погрешности в определении вероятности отказа элемента системы блочного автоматизированного нефтепромыслового оборудования, приходим к выводу, что допустимая максимальная относительная погрешность при расчете вероятности безотказной работы этого элемента не должна превышать 1% при $P(t) = 0,9$ и 0,1% при $P(t) = 0,99$.

Для вновь создаваемых автоматизированных технологических систем блочного автоматизированного нефтепромыслового оборудования экспоненциальный закон распределения принимается более обоснованным спецификой и назначением этих систем. Блочные автоматизированные системы сбора, подготовки и транспорта продукции, установленные на месторождениях Крайнего Севера, являются техническими системами с высоким уровнем профилактики. Специфика этих систем состоит в том, что выполнение ими всех возложенных на них функций с соблюдением требований охраны окружающей среды и безопасности обслуживающего персонала в условиях мерзлотных грунтов возможно только при отсутствии износных отказов оборудования, т.е. в зоне, где явления износа еще не наступили, а имеют место только внезапные отказы. Если данное условие не выполняется, то применение таких систем является недопустимым. По требованиям к надежности эти системы приближаются к летательным аппаратам и космической технике, для которых определение количественных показателей уровня надежности связано с проведением многочисленных длительных испытаний. Указанное обстоятельство требует разработки специальных программ испытаний на надежность, обеспечивающих достаточно точное подтверждение заданных показателей надежности при минимальном объеме испытаний. В результате проведения этих испытаний должны выявляться значения параметров надежности элементов системы для дальнейшего использования их в расчетах надежности всей системы в целом [7].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Тагирова К.Ф.* Управляемая технология нефтедобычи на основе динамических моделей // Вычислительная техника и новые информационные технологии: межвузовский научный сборник. – 2007. – Вып. 6. – С. 30–35.
2. *Алтунин А.Е., Семухин М.В.* Расчеты в условиях риска и неопределенности в нефтегазовых технологиях. – Тюмень: Изд-во ТГУ, 2005. – 220 с.
3. *Веревкин А.П., Кирюшин О.В., Соловьев В.Я.* Моделирование и оптимизация процессов добычи нефти в динамике // Вопросы управления и проектирования в информационных и кибернетических системах. – 2003. – С. 175–180.
4. *Мезенцев Е.Ф., Тагирова К.Ф.* Оптимизация режимов работы группы скважин на основе модели взаимовлияния скважин // Автоматизация, телемеханизация и связь в нефтяной промышленности. – 2010. – № 5. – С. 22–27.

5. Салаватов Т. Ш., Зейналзаде Ю. А. Динамическое моделирование нефтедобычи с учетом переходных процессов // Нефтегазовое дело, 2009. — Т. 7. — № 1. — С. 62–65.

6. Лысенко В. Д., Грайфер В. И. Рациональная разработка нефтяных месторождений. — М.: Недра, 2005. — 607 с.

7. Мирзаджанзаде А. Х., Кузнецов О. Л., Басниев К. С., Алиев З. С. Основы технологии добычи газа. — М.: Недра, 2003. — 880 с.

8. Алиев В. К., Савенок О. В., Сиротин Д. Г. Влияние надежности нефтепромыслового оборудования на экологическую безопасность разработки северных нефтегазовых месторождений. — Краснодар: Изд-во КубГТУ, 2016. — 135 с. **ГИАБ**

КОРОТКО ОБ АВТОРАХ

*Савенок Ольга Владимовна*¹ — доктор технических наук, доцент,
e-mail: olgasavenok@mail.ru,

*Кусов Геннадий Владимирович*¹ — старший преподаватель,
e-mail: de_france@mail.ru,

¹ Кубанский государственный технологический университет».

Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'. 2016. No. 8, pp. 158–165.

UDC 655.15.
011.56

O.V. Savenok, G.V. Kusov

JUSTIFICATION OF THE APPLICABILITY OF THE EXPONENTIAL DISTRIBUTION LAW WHEN ASSESSING THE RELIABILITY OF THE AUTOMATED BLOCK OF OILFIELD EQUIPMENT

The paper describes the case for the applicability of the exponential distribution law in assessing the reliability of the automated block of oilfield equipment. The necessity of carrying out calculations on reliability to create complex multi-functional systems, what are the technological system of collection and preparation of production fields of the Far North. Also pointed to the need to develop specific test programs on reliability, providing a sufficiently precise confirmation of the specified indicators of reliability with a minimum test volume.

Key words: block automated oilfield equipment, reliability score, exponential distribution law, a mathematical model of functioning, overhaul period of equipment, limit of error, calculation of system reliability.

AUTHORS

*Savenok O. V.*¹, Doctor of Technical Sciences,
Assistant Professor, e-mail: olgasavenok@mail.ru,

*Kusov G. V.*¹, Senior Lecturer, e-mail: de_france@mail.ru,

¹ Kuban State Technology University, 350072, Krasnodar, Russia.

REFERENCES

1. Tagirova K. F. *Vychislitel'naya tekhnika i novye informatsionnye tekhnologii: mezhdvuzovskiy nauchnyy sbornik*. 2007, issue 6, pp. 30–35.

2. Altunin A. E., Semukhin M. V. *Raschety v usloviyakh riska i neopredelennosti v neftegazovykh tekhnologiyakh* (Calculations under uncertainty in oil and gas technologies), Tyumen', Izd-vo TGU, 2005, 220 p.

3. Verevkin A. P., Kiryushin O. V., Solov'ev V. Ya. *Voprosy upravleniya i proektirovaniya v informatsionnykh i kiberneticheskikh sistemakh*, 2003, pp. 175–180.

4. Mezentsev E. F., Tagirova K. F. *Avtomatizatsiya, telemekhanizatsiya i svyaz' v neftyanoy promyshlennosti*. 2010, no 5, pp. 22–27.

5. Salavatov T. Sh., Zeynalzade Yu. A. *Neftegazovoe delo*, 2009, vol. 7, no 1, pp. 62–65.

6. Lysenko V. D., Grayfer V. I. *Ratsional'naya razrabotka neftyanykh mestorozhdeniy* (Efficient oil field development), Moscow, Nedra, 2005, 607 p.

7. Mirzadzhanzade A. Kh., Kuznetsov O. L., Basniev K. S., Aliev Z. S. *Osnovy tekhnologii dobychi gaza* (Principles of gas recovery technology), Moscow, Nedra, 2003, 880 p.

8. Aliev V. K., Savenok O. V., Sirotin D. G. *Vliyaniye nadezhnosti neftepromyslovogo oborudovaniya na ekologicheskuyu bezopasnost' razrabotki severnykh neftegazovykh mestorozhdeniy* (Effect of oil production equipment on the environmental safety of northern oil and gas field development), Krasnodar, Izd-vo KubGTU, 2016, 135 p.



ОТДЕЛЬНЫЕ СТАТЬИ ГОРНОГО ИНФОРМАЦИОННО-АНАЛИТИЧЕСКОГО БЮЛЛЕТЕНЯ (СПЕЦИАЛЬНЫЙ ВЫПУСК)

ГЕОРЕСУРСЫ И ГЕОИНЖЕНИРИНГ В АТР

Андреев А.В.¹, Агошков А.И.¹, e-mail: bgdtsdvfu@mail.ru, Белов А.В.¹, Григоровский И.А.¹, Дорошев Ю.С.², Дышин А.В.¹, Касенов К.М.¹, Кинаев Н.Н.³, Николайчук А.Н.², Николайчук Н.А.¹, Макишин В.Н.¹, Маликов А.С.¹, Лушпей В.П.¹, Микулич Д.А.¹, Сагуленко Е.А.³, Тонких А.И.¹,

¹ Дальневосточный федеральный университет, e-mail: mail@pnu.edu.ru,

² Инженерная школа ДВФУ,

³ Sustainable Organic Solutions Pty Ltd, Австралия.

Представлены результаты исследований по проблемам интеграции Дальнего Востока России в мировую экономику, перспективам сотрудничества со странами АТР по вопросам освоения георесурсов, в том числе минеральных ресурсов на шельфе дальневосточных морей. Представлены новые технологические решения, позволяющие повысить эффективность горного производства, повысить полноту и комплексность освоения георесурсов, снизить аварийность и травматизм в горнодобывающей отрасли.

Ключевые слова: Азиатско-Тихоокеанский регион, горнодобывающая отрасль, полезные ископаемые, георесурсы, горное производство, шельф дальневосточных морей.

GEORESOURCES AND GEOENGINEERING IN ASIA PACIFIC

Andreev A.V.¹, Agoshkov A.I.¹, Belov A.V.¹, Grigorovskiy I.A.¹, Doroshev Yu.S.², Dyshin A.V.², Kasenov K.M.¹, Keane N.³, Nikolaichuk A.N.², Nikolaichuk N.A.¹, Makishin V.N.¹, Malikov A.S.¹, Luspey V.P.¹, Mikulich D.A.¹, Sagulenko E.³, Tonkikh A.I.¹,

¹ Pacific National University, 680035, Khabarovsk, Russia, e-mail: mail@pnu.edu.ru,

² Engineering school of Pacific National University, Khabarovsk, Russia,

³ Sustainable Organic Solutions Pty Ltd, Australia.

The results of studies on problems of integration of the Russian Far East in the world economy, the prospects for cooperation with Asia-Pacific countries on issues of development of geo-resources, including mineral resources on the shelf of far Eastern seas. Presented new technology solutions to improve the efficiency of mining production, improve the fullness and complexity of the development of geo-resources, to reduce accidents and injuries in the mining industry.

Key words: Asia and the Pacific, mining, natural resources, geo-resources, mining production, offshore Far East seas.