

## **ПРОГРАММНЫЙ МОДУЛЬ ДЛЯ ОЦЕНКИ ВЕРОЯТНОСТИ ОТКАЗОВ СКВАЖИННЫХ ЭЛЕКТРОЦЕНТРОБЕЖНЫХ НАСОСОВ\***

А.И. ДАНИЛКО<sup>1</sup>, О.В. СТУКАЧ<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 123458, РФ, г. Москва, ул. Таллинская, 34, Московский институт электроники и математики им. А.Н. Тихонова Национального исследовательского университета «Высшая школа экономики», сотрудник. E-mail: aidanilko@edu.hse.ru

<sup>2</sup> 123458, РФ, г. Москва, ул. Таллинская, 34, Московский институт электроники и математики им. А.Н. Тихонова Национального исследовательского университета «Высшая школа экономики», доктор технических наук, профессор департамента электронной инженерии.

630073, РФ, г. Новосибирск, пр. Карла Маркса, 20, Новосибирский государственный технический университет, доктор технических наук, профессор кафедры защиты информации. E-mail: tomsk@iee.ru

Установки погружных электроцентробежных насосов (УЭЦН) являются основным средством добычи нефти из-за высоких темпов разработки нефтяных месторождений. Повышение эффективности добычи с использованием УЭЦН является актуальной задачей для нефтедобывающей отрасли. Отказы установок вызваны многими факторами, одним из которых является образование солей. Содержащаяся в нефти вода перенасыщается малорастворимыми солями, которые при неизбежном нагреве могут осаждаться в виде накипи. Это приводит к постепенному уменьшению диаметра насосной трубы и, следовательно, уменьшению объема добычи. При этом режим работы насоса может выйти из нормативного. Своевременная остановка насоса на текущий ремонт скважины до наступления отказа способна значительно снизить затраты, а также предотвратить критическую поломку всего оборудования. Но такой вид отказа, как отложение солей, трудно уловим, а последующий ремонт сопряжен с агрессивной кислотной промывкой. Встречается и обратная ситуация, когда разумно выработать ресурс оборудования до полной наработки на отказ. Поэтому операторам центров управления добычей важно иметь представление о вероятности отказа в тот или иной момент времени при определенных параметрах. В настоящее время данные по техническим режимам работы оборудования протоколируются специальными программными средствами цифровой платформы поддержки добычи, но расчета вероятностных характеристик нет. В статье предлагается на основе байесовских оценок получить значение вероятности отказа, чтобы осуществлять доказательный мониторинг работы скважин и вовремя принять меры при наступлении критической вероятности отказа.

---

\* Статья получена 27 мая 2020 г.

**Ключевые слова:** наработка на отказ, нефтедобыча, отказ УЭЦН, моделирование отказов, программа расчета вероятности, нефтесервис

## ВВЕДЕНИЕ

Нефтяные компании поставили амбициозную цель перехода к управлению на основе цифровых двойников. Центры управления добычей накапливают большой объем данных, статистический анализ которых далек от совершенства. В большинстве случаев это разведочный анализ или оценка мер центральной тенденции. Но для перехода к эффективному управлению в рамках цифровой трансформации необходимо не только анализировать и прогнозировать ситуации по компьютерным моделям, воспроизводящим состояние производственных систем, но и оценивать сценарии взаимодействия между элементами систем. Для этого могут быть использованы статистические мобильные приложения, позволяющие операторам и лицам, принимающим решения, получить информацию в дополнение к имеющейся для принятия доказательного управленческого решения. Цифровая платформа также является одним из способов повышения эффективности бизнес-процессов, поскольку позволяет проводить и тиражировать лучшие практики управления [1]. В качестве примера можно привести цифровую платформу «ЭРА:ГРАД» компании «Газпромнефть» для разведки и добычи [2]. Платформа обеспечивает автономность работы, поддерживает выбор алгоритмов и дает представление данных в табличной форме с возможностью экспорта в пакеты прикладных программ.

Развитие платформы очевидным образом связано с совершенством анализа данных и развитием алгоритмического обеспечения. В настоящей статье предложено решение одной из задач для данной платформы – оценка вероятности отказов установок электроцентробежных насосов (УЭЦН) из-за отложения солей.

Согласно работе [3], на отложение солей приходится почти четверть всех отказов. В процесс добычи нефти содержащаяся в ней вода перенасыщается малорастворимыми солями, которые при нагреве осаждаются в виде накипи. Это приводит к уменьшению диаметра насосной компрессорной трубы и уменьшению объема добычи, а также к увеличению потерь энергии на трение [4]. Эффективность эксплуатации добывающих скважин месторождений нефти во многом зависит от производительной работы глубинно-насосного оборудования. Своевременная остановка насоса может значительно облегчить ремонт, а также предотвратить момент критической поломки всего оборудования.

Ожидаемым результатом был программный модуль с минимальным интерфейсом, выдающий оценку вероятности отказа УЭЦН по введенным значениям параметров как реальных, так и предполагаемых в очень близком будущем. Для этого было необходимо выявить закономерность между сроком работы насоса и данными телеметрии и записать закономерность в виде формулы, чтобы получать вероятность отказа. Затем полученное математическое решение нужно было представить в виде программного продукта, автоматизирующего процесс расчета вероятности.

## 1. МЕТОДИКА РАСЧЕТА ВЕРОЯТНОСТИ

Для контроля работы УЭЦН широко применяются системы погружной телеметрии. Не все данные собираются автоматизированно (например, результаты химического анализа). Программы [5, 6], доказавшие свою эффективность в компании «Газпромнефть-Восток», позволяют хранить исторические данные по режимам работы оборудования за продолжительное время. С 2013 года случаев отказа по солям было довольно мало. Тем не менее из шахматки (учебный регистр, ведомость) была сделана выборка 13 параметров по 35 отказавшим скважинам с числом дней работы до отказа по причине засоления. Это показатели работы насосного оборудования: тока, мощности, частоты, замеров телеметрии, обводненности по результатам химанализа и т. д. (рис. 1).

ПКВ			за авг 2015	Состояние	нак	нак	нак
ЭЦНД-80-250, ТМПН-400, глуб. 3012 м. (СХ: Электрон-05-250), МРП 705 А.	август 2015			Qгаз ТМ	64	211	
				Qж ТМ	30	21	
				Qж_мас ТМ			
				УРЭ	10,6	10,8	12,8
		20	22	Qж	19,7		19
				УРЭ К	3,7	3,7	5,2
				Э/з (Вакт)	74,2	74,9	99,6
				Обв ХАЛ			
		90,25	90	Обв	90		90
		1,57	1,78	Qн	1,593		1,537
			2983	Нд			2414
			10,2	Рзатр			10
			7,5	Рбуф			8
	18	Дшт			18		
	7	Рлин			7		
		КВЧ ХАЛ					
	6	КВЧ					
	14,9	I			14,9		
	52	F			50		
		Прим					
		Вибр.					

Рис. 1. Формат записи данных (фрагмент)

Разведочный анализ выявил, что каждый случай отказа УЭЦН индивидуально проявляется в динамике, а какая-либо общая закономерность отсутствует. В основном решение принималось операторами на основе резкого возрастания тока. Но понятно, что этому предшествовали другие причины, корреляция с которыми оказалась ничтожной, но которые действовали в совокупности. Примером служит рис. 2, где приведены графики трех параметров для двух выбранных скважин. Для удобства сравнения данные нормированы путем деления на максимальное значение каждого параметра.

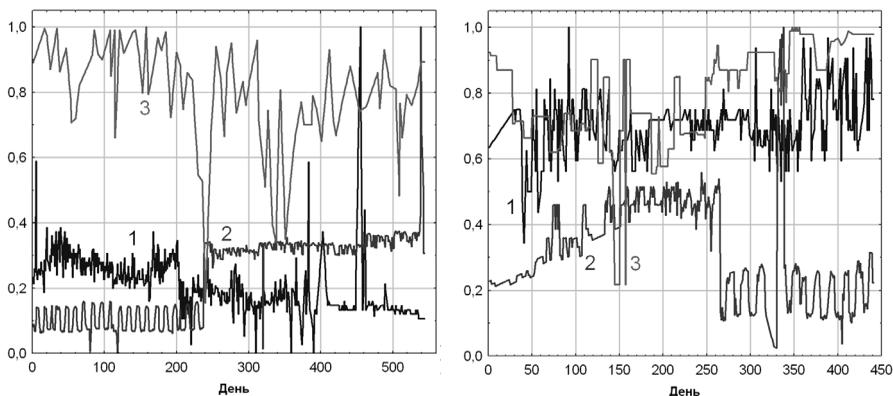


Рис. 2. Изменение нормированных параметров для двух скважин по дням:

1 – объем жидкости; 2 – активная мощность; 3 – обводненность по результатам химанализа

Дисперсионный анализ данных показывает, что доля объясненной дисперсии (коэффициент детерминации) за счет анализируемых факторов лишь один раз превысила 0.6, когда в модель были включены все параметры. Скорректированный коэффициент детерминации был равен 0.3. То есть большая часть дисперсии времени наработки на отказ остается необъясненной. Поэтому для расчета вероятности отказа было принято решение использовать не непрерывные зависимости, а меры центральной тенденции.

Предложено использовать классификатор, который будет сопоставлять некоторые коэффициенты значениям параметров. Весь диапазон значений каждого параметра разбивается на ряд интервалов, каждому из которых будет присвоен некоторый коэффициент, удобный для дальнейшего анализа.

Отдельный анализ каждого параметра позволяет избежать проблемы, возникающей, например, при анализе временных рядов или при регрессионном анализе, когда из-за отсутствия информации об отдельно взятом факторе скважину целиком приходилось исключать из выборки. Теперь она не будет

рассматриваться лишь при вычислении интервальных коэффициентов для соответствующего параметра.

При выборе коэффициентов было замечено, что их удобно сразу задать в виде вероятностей отказа, чтобы впоследствии получить результирующую вероятность по формуле полной вероятности Байеса, иногда применяемой для расчета вероятности отказов [7].

Главным недостатком подобного метода является невозможность доказательного разбиения переменных на интервалы, так как разное оборудование имеет разные базовые характеристики. Но, в отличие от регрессионного анализа, для классификатора подобная проблема может быть решена не только путем кластеризации: очевидно, что при любых значениях все параметры войдут в тот или иной интервал, а значит, выдадут определенную вероятность отказа. Тогда для каждой скважины необходимо найти допустимые ожидаемые параметры и сравнивать их с наблюдаемыми значениями. То есть опытный оператор должен будет составить набор ожидаемых значений параметров, для которых будет аналогично найдена вероятность отказа, которая будет выведена рядом с вероятностью для последних данных. Тем самым можно будет отслеживать отклонение от нормальных для данной скважины параметров и при этом иметь вероятность отказа.

## 2. АЛГОРИТМ

Итак, получение таблицы вероятностей отказов по каждому параметру представляет собой процесс разбиения диапазона значений параметра на несколько интервалов, каждому из которых соответствует некоторая вероятность отказа. Из-за того, что в дальнейшем будет использоваться формула полной вероятности Байеса, необходимо определить вероятность безотказной работы при данном значении. Сумма вероятностей безотказной работы для всех интервалов должна дать в результате единицу, так как само по себе наличие параметра не уменьшает вероятности безотказной работы устройства. Аналогично сумма вероятностей отказа также должна дать в результате единицу. Ввиду малого размера выборки – всего 35 значений – число интервалов изменится от 3 до 5.

Вычислить вероятность отказа по определению вероятности, считая отношение числа попавших в интервал значений к общему числу в выборке для изучаемого параметра, нельзя, так как это приведет к потере главного показателя – времени наработки на отказ. Поэтому в первую очередь для каждого интервала было вычислено среднее время работы  $t_i$  и процент попаданий, то есть отношение числа скважин, входящих в интервал, к общему числу сква-

жин в выборке. Затем вычислялось отношение среднего времени работы в интервале к общему среднему времени работы:

$$c = \frac{t_i}{t} \Big/ \frac{n_i}{n},$$

где  $t$  – среднее время работы;  $t_i$  – среднее время работы для  $i$ -го интервала;  $n_i$  – число наблюдений, попавших в интервал;  $n$  – общее число наблюдений в интервалах.

Таким образом, коэффициент  $c$  увеличивается при увеличении времени работы внутри интервала и уменьшается при увеличении числа отказов со средним значением параметра, попадающим в выбранный интервал. Тогда вероятность отказа для  $i$ -го интервала  $p_i$  рассчитывается по формуле

$$p_i = \frac{\sum_{i=1}^N c_i - c_i}{(N-1) \sum_{i=1}^N c_i},$$

где  $N$  – число интервалов.

Формула ограничивает максимальную вероятность отказа пределами  $1/N$  и корректна, если при разбиении не появлялось интервалов с действительно критическими значениями, где вероятность отказа крайне высока.

Вероятность безотказной работы рассчитывается следующим образом: для каждого интервала берется общее число скважин со средним показателем параметра в данном интервале, затем из него вычитается число отказавших скважин, то есть скважин в выборке, попавших в этот интервал. После этого вычисляется отношение числа оставшихся в работе скважин к начальному числу скважин в интервале  $x_i$ :

$$x_i = \frac{s_i}{r_i},$$

где  $s_i$  – оставшиеся в работе или же отказавшие по другим причинам скважины;  $r_i$  – начальное число скважин со значением параметра, попадающим в интервал.

Тогда вероятность безотказной работы для  $i$ -го интервала  $p_i$  рассчитывается по формуле

$$p_i = \frac{x_i}{\sum_{i=1}^x x_i}.$$

Окончательно вероятность безотказной работы можно определить по формуле полной вероятности Байеса:

$$\begin{aligned} p(D_i | K_j) &= \frac{p(D_i)P(k_j | D_i)}{\sum_{i=1}^x p(D_i)P(k_j | D_i)} = \\ &= \frac{p(D_1)p(k_1 | D_1)p(k_n | D_1)}{p(D_1)p(k_1 | D_1)p(k_n | D_1) + p(D_2)p(k_1 | D_2)p(k_n | D_2)}, \end{aligned}$$

где  $P(D_i | K_j)$  – вероятность безотказной работы с учетом значений всех параметров;  $p(D_i)$  – априорная вероятность отказа, полученная на основе информации о текущем дне работы;  $p(k_1 | D_1)$  – вероятность безотказной работы при имеющемся значении параметра  $k_1$ ;  $p(k_1 | D_2)$  – вероятность отказа.

### 3. ПРОГРАММНЫЙ МОДУЛЬ

Для программного обеспечения [5] создан модуль с простым интерфейсом. Программа предоставляет возможность ввода всех параметров и времени работы, при этом оставляя возможность учета не всех параметров, поскольку встречаются ситуации, когда собирается неполный объем данных. Тогда они исключаются из формулы полной вероятности. Результат выдается после введения данных по запросу оператора нажатием соответствующей кнопки (рис. 3). Информационное окно сообщает пользователю способ ввода данных. Вычисленное значение вероятности отказа может быть сохранено с привязкой к номеру скважины, что позволяет получать графики тенденции. Программа написана на языке Python. Среда программирования Pycharm сильно упрощает процесс установки библиотек, необходимых для работы разрабатываемого кода.

Последние собранные данные:		Прогнозируемые данные:	
Время работы:	100	Время работы:	100
Qн:	24	Qн:	24
F:	49	F:	49
I:	12	I:	12
КВЧ - ХАЛ:	67	КВЧ - ХАЛ:	67
Р лин:	8	Р лин:	8
Р Буф:	6	Р Буф:	6
Р Затр:	12	Р Затр:	12
Нд:	2000	Нд:	2000
Обв Хал:	50	Обв Хал:	50
Э/Э:	800	Э/Э:	1200
Q ж тм:	12	Q ж тм:	12
Q ж:	26	Q ж:	26
Q газ тм:	541	Q газ тм:	541
Get the result	41.13%	Get the result	43.55%
Information			

Рис. 3. Программа «Вероятностный калькулятор»

Решение задачи оценки вероятности отказа исключает влияние неполноты данных и необходимость кластеризации неоднородных данных. В текущей реализации все параметры считаются равнозначными, а весовые коэффициенты у параметров отсутствуют. Возможно, это не совсем оправданно. Корректность общего разбиения параметров на интервалы будет уточняться по мере наступления новых случаев отказа. Возможен пересчет интервалов параметров, что повысит точность вычисляемых оценок.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Предложенная методика оценки вероятности отказов УЭЦН по причине отложений солей может быть использована и в других программах [5]. Эта вероятность рассчитывается на основе байесовских оценок и даёт оператору дополнительную информацию о вероятности отказа УЭЦН, позволяя принять доказательное управленческое решение.

## БЛАГОДАРНОСТИ

Авторы благодарят сотрудников Проектного офиса по развитию системы непрерывных улучшений ООО «Газпромнефть-Восток» (рук. М.В. Моисеенко) и начальника отдела нефтепромысловой химии Р.Р. Хусаинова за поста-

новку задачи и полезные обсуждения. Работа выполнена в рамках проекта МИЭМ ВШЭ «Вероятностный калькулятор отказов установок электроцентробежных насосов», см.: <https://cabinet.miem.hse.ru/#/project/128/>.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Принципы построения цифровой платформы для научно-технического центра / М.М. Хасанов, Р.М. Галеев, А.М. Маргарит, Ф.В. Краснов // Вестник кибернетики. – 2019. – № 4 (36). – С. 66–73.

2. Эра:град-платформа: свидетельство о гос. регистрации программы для ЭВМ RU 2017661667 / Р.М. Галеев, М.М. Хасанов., Р.Н. Асмандияров, А.А. Пустовских и др. – Заявка № 2017618803; зарег. 31.08.2017; опубл. 18.10.2017. – URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=39371533> (дата обращения: 07.07.2020).

3. *Маркелов Д.В.* Борьба с осложнениями в механизированной добыче нефти // Территория Нефтегаз. – 2005. – Вып. 2. – С. 30–35. – URL: <http://www.neftegas.info/tng/2-2005/borba-s-oslozhnieniyami-v-mekhanizirovan-poy-odobuche-nefti/> (дата обращения: 07.07.2020).

4. *Сагирова Л.Р., Котенёв Ю.А.* Классификация отложений солей, их состав и структура на месторождениях Ноябрьского региона // Нефтегазовое дело. – 2011. – № 5. – С. 189–195. – URL: <http://ogbus.ru/article/view/klassifikaciya-otlozhenij-solej-ix-sostav-i-struktura-na-mestorozhdeniyah-noyabrskogo-regiona> (дата обращения: 07.07.2020).

5. Шахматка и техрежим: свидетельство о гос. регистрации программы для ЭВМ RU 2015617898 / А.А. Шушаков, М.М. Хасанов, Н.М. Катрич, Д.А. Шестаков и др. – Заявка № 2015614534; зарег. 01.06.2015; опубл. 24.07.2015. – URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=39334502> (дата обращения: 07.07.2020).

6. Эра:Добыча:Шахматка: свидетельство о гос. регистрации программы для ЭВМ № RU 2016663252 / А.А. Шушаков, М.М. Хасанов, А.Г. Сулейманов, Р.Д. Хамидуллин и др. – Заявка № 2016661206; зарег. 14.10.2016; опубл. 29.11.2016. – URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=39357583> (дата обращения: 07.07.2020).

7. Применение метода Байеса при оценке вероятности «полета» погружного насосного агрегата на забой скважины / А.Р. Атнагулов, И.Е. Ишемгужин, А.Н. Зотов, Е.И. Ишемгужин // Нефтегазовое дело. – 2008. – № 1. – С. 1–7. – URL: <http://ogbus.ru/article/view/primeneniye-metoda-bajesa-pri-ocenke-veroyatnosti-poleta-pogruzhnogo-nasosnogo-agregata-na-zaboj-skvazhiny> (дата обращения: 07.07.2020).

**Данилко Алексей Иванович**, сотрудник Московского института электроники и математики им. А.Н. Тихонова Национального исследовательского университета «Высшая школа экономики». E-mail: aidanilko@edu.hse.ru

**Стукач Олег Владимирович**, доктор технических наук, профессор департамента электронной инженерии Московского института электроники и математики им. А.Н. Тихонова Национального исследовательского университета «Высшая школа экономики», профессор кафедры защиты информации Новосибирского государственного технического университета. Направления научных исследований: теория управления, математическое моделирование в радиоэлектронике, статистические методы управления. Автор более 280 статей, книг, научных и методических работ, шести изобретений и программных средств. E-mail: tomsk@iee.org

DOI: 10.17212/2307-6879-2020-1-2-55-66

## **The Software Module for Evaluation of the Failure Probability of the Well Electric Submersible Pump Installation\***

**A.I. Danilko<sup>1</sup>, O.V. Stukach<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> *National Research University Higher School of Economics, Tikhonov Moscow Institute of Electronics and Mathematics, MIEM HSE, 34 Tallinskaya, Moscow, 123458, Russian Federation, employee. E-mail: aidanilko@edu.hse.ru*

<sup>2</sup> *National Research University Higher School of Economics, Tikhonov Moscow Institute of Electronics and Mathematics, MIEM HSE, 34 Tallinskaya, Moscow, 123458, Russian Federation, doctor of technical sciences, professor of school of electronic engineering.*

*Novosibirsk State Technical University, 20 Karl Marx Prospekt, Novosibirsk, 630073, Russian Federation, professor of the Information security department. E-mail: tomsk@iee.org.*

Submersible electric pump installations (ESP) are the main tool of oil production due to the high rate of the oil deposits development. Improving of the production efficiency using ESP is an urgent problem for the oil industry. Failures of installations are caused by many factors, some of them are salts. Water contained in the oil is oversaturated by sparingly soluble salts. It can precipitate in the form of scale at heating. It leads to the gradual decrease of the pump pipe diameter and consequently decreasing of production. In this case, the pump operation mode may be failed. Timely shutdown of the pump for well repair before failure can significantly reduce costs, as well as prevent critical damage of all equipment. But such type of failure as the salt deposition is difficult to perceive, and subsequent repair involve aggressive acid flushing. Reverse situation is connected with maximization of the turnaround maintenance. Therefore, for operators of production control centers it is important to have an information of the failure probability for certain parameters at a given time points. At present, datasets on the

---

\* Received 27 May 2020.

technical operating modes for equipment are saved by special software of the digital support platform. Nevertheless calculations of the probabilistic characteristics are not presented. Based on Bayesian estimates, we propose to obtain evaluation of the failure probability in order to support of the evidence monitoring of the wells operation and generate a control impact in case of the critical probability of failures.

**Keywords:** MTBF, oil production, ESP failure, modeling of failures, probability calculation software, oil service

## REFERENCES

1. Khasanov M.M., Galeev R.M., Margarit A.M., Krasnov F.V. Printsipy postroeniya tsifrovoy platformy dlya nauchno-tekhnicheskogo tsentra [Digital platform buildup principles for science and technology center]. *Vestnik kibernetiki = Proceedings in Cybernetics*, 2019, no. 4 (36), pp. 66–73. (In Russian).
2. Galeev R.M., Khasanov M.M., Asmandiyarov R.N., Pustovskikh A.A. et al. *Era: grad-platforma* [Era:hail platform]. The certificate on official registration of the computer program. N RU 2017661667, 2017. (In Russian, unpublished). Available at: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=39371533> (accessed 07.07.2020).
3. Markelov D.V. Bor'ba s oslozhnennyami v mekhanizirovannoi dobyche nefi [Fighting Complications in Mechanized Oil Production]. *Territoriya Neftegaz = Oil and Gas Territory*, 2005, iss. 2, pp. 30–35. Available at: <http://www.neftegas.info/tng/2-2005/borba-s-oslozhnennyami-v-mekhanizirovannoy-dobyche-nefti/> (accessed 07.07.2020).
4. Sagirova L.R., Kotenev Yu.A. Klassifikatsiya otlozhenii solei, ikh sostav i struktura na mestorozhdeniyakh Noyabr'skogo regiona [Salt deposits on oilfields of Noyabrsk region: classification, composition and structure]. *Neftegazovoe delo = Oil and Gas Business*, 2011, no. 5, pp. 189–195. Available at: <http://ogbus.ru/article/view/klassifikatsiya-otlozhenij-solej-ix-sostav-i-struktura-na-mestorozhdeniyax-noyabrskogo-regiona> (accessed 07.07.2020).
5. Shushakov A.A., Khasanov M.M., Katrich N.M., Shestakov D.A. et al. *Shakhmatka i tekhrezhim* [Chess and Tech]. The certificate on official registration of the computer program. N RU 2015617898, 2015. (In Russian, unpublished). Available at: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=39334502> (accessed 07.07.2020).
6. Shushakov A.A., Khasanov M.M., Suleymanov A.G., Khamidullin R.D. et al. *Era:Dobicha:Shakhmatka* [Era:Prey:Chess]. The certificate on official registration of the computer program. N RU 2016663252, 2016. (In Russian, unpublished). Available at: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=39357583> (accessed 07.07.2020).
7. Atnagulov A.R., Ishemguzhin I.E., Zotov A.N., Ishemguzhin E.I. Primenenie metoda Baiesa pri otsenke veroyatnosti «poleta» pogruzhnogo nasosnogo agregata na zaboii skvazhiny [Bayes method application at the estimation of probability

"flight" submersible drive pump unit on the bottom hole]. *Neftegazovoe delo = Oil and Gas Business*, 2008, no. 1, pp. 1–7. Available at: <http://ogbus.ru/article/view/primenenie-metoda-bajesa-pri-ocenke-veroyatnosti-poleta-pogruzhnogo-nasosnogo-agregata-na-zaboj-skvazhiny> (accessed 07.07.2020).

Для цитирования:

Данилко А.И., Стукач О.В. Программный модуль для оценки вероятности отказов скважинных электроцентробежных насосов // Сборник научных трудов НГТУ. – 2020 – № 1–2 (97). – С. 55–66. – DOI: 10.17212/2307-6879-2020-1-2-55-66.

For citation:

Danilko A.I., Stukach O.V. Programmnyi modul' dlya otsenki veroyatnosti otkazov skvazhinnykh elektrotsentrobezhnykh nasosov [The software module for evaluation of the failure probability of the well electric submersible pump installation]. *Sbornik nauchnykh trudov Novosibirskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta = Transaction of scientific papers of the Novosibirsk state technical university*, 2020, no. 1–2 (97), pp. 55–66. DOI: 10.17212/2307-6879-2020-1-2-55-66.