

**ПРИБОРЫ МЕДИЦИНСКОГО НАЗНАЧЕНИЯ, КОНТРОЛЯ СРЕДЫ,  
ВЕЩЕСТВ, МАТЕРИАЛОВ И ИЗДЕЛИЙ**  
**MEDICAL DEVICES, ENVIRONMENT, SUBSTANCES,  
MATERIAL AND PRODUCT CONTROL EQUIPMENT**

<https://doi.org/10.32603/1993-8985-2019-22-3-106-112>

УДК 004.89+615.47

**М. А. Аль-Гаили, А. Н. Калиниченко**✉

Санкт-Петербургский государственный электротехнический  
университет "ЛЭТИ" им. В. И. Ульянова (Ленина)  
ул. Профессора Попова, д. 5, Санкт-Петербург, 197376, Россия

**ОЦЕНКА ГЛУБИНЫ АНЕСТЕЗИИ ПО ЭЛЕКТРОЭНЦЕФАЛОГРАММЕ  
С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ**

**Аннотация**

**Введение.** Мониторинг глубины анестезии при проведении хирургических операций является сложной задачей. Поскольку сигналы электроэнцефалограммы (ЭЭГ) содержат ценную информацию о процессах в головном мозге, анализ ЭЭГ рассматривается как один из наиболее полезных методов в исследовании и оценке глубины анестезии в клинических применениях. Анестезирующие средства влияют на частотный состав ЭЭГ. ЭЭГ бодрствующих субъектов, как правило, содержит смешанные альфа- и бета-ритмы. Изменения в ЭЭГ, вызванные переходом от состояния бодрствования к состоянию глубокой анестезии, проявляются в виде смещения спектральных составляющих сигнала к нижней части диапазона частот. Однако анестезирующие средства вызывают целый комплекс нейрофизиологических изменений, который невозможно правильно оценить только одним показателем.

**Цель работы.** Для адекватного описания сложных процессов в период перехода от бодрствования к глубокой анестезии необходим метод оценки глубины анестезии, использующий комплексный набор параметров, отражающих изменения в сигнале ЭЭГ. В настоящей статье представлены результаты исследования возможности построения регрессионной модели на основе искусственных нейронных сетей (ИНС) для определения уровней анестезии с использованием набора рассчитываемых по ЭЭГ параметров.

**Материалы и методы.** Предложен метод оценки уровня анестезии, основанный на применении ИНС, входными параметрами которых являются временные и частотные показатели ЭЭГ, а именно: спектральная энтропия; отношение "вспышки/подавление"; спектральная краевая частота и логарифм отношения мощностей спектра для трех пар частотных диапазонов.

**Результаты.** Были определены оптимальные параметры ИНС, при которых достигается наивысший уровень регрессии между рассчитанными и верифицированными значениями показателя глубины анестезии.

**Заключение.** Для создания практического варианта алгоритма необходимо дополнительно исследовать помехоустойчивость рассматриваемого метода и разработать комплекс алгоритмических решений, обеспечивающих надежную работу алгоритма при наличии шумов.

**Ключевые слова:** ЭЭГ, оценка глубины анестезии, искусственные нейронные сети, спектральная энтропия, BIS-индекс

**Для цитирования:** Аль-Гаили М. А., Калиниченко А. Н. Оценка глубины анестезии по электроэнцефалограмме с использованием нейронных сетей // Изв. вузов России. Радиоэлектроника. 2019. Т. 22, № 3. С. 106–112. doi: 10.32603/1993-8985-2019-22-3-106-112

**Источник финансирования.** Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ 19-07-00963 А.

**Конфликт интересов.** Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Статья поступила в редакцию 04.04.2019; принята к публикации 20.05.2019; опубликована онлайн 27.06.2019

© Аль-Гаили М. А., Калиниченко А. Н., 2019

Контент доступен по лицензии Creative Commons Attribution 4.0 License  
This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 License



**Mokhammed A. Al-Ghaili, Alexander N. Kalinichenko**✉  
Saint Petersburg Electrotechnical University "LETI"  
5, Professor Popov Str., 197376, St. Petersburg, Russia

## ESTIMATION OF THE DEPTH OF ANESTHESIA BY ELECTROENCEPHALOGRAM USING NEURAL NETWORKS

### Abstract.

**Introduction.** Monitoring of the depth of anesthesia during surgery is a complex task. Since electroencephalogram (EEG) signals contain valuable information about processes in the brain, EEG analysis is considered to be one of the most useful methods for study and assessment of the depth of anesthesia in clinical applications. Anesthetics affect the frequency composition of the EEG. EEG of awake persons, as a rule, contains mixed alpha and beta rhythms. Changes in the EEG, caused by the transition from the waking state to the state of deep anesthesia, manifest as a shift of the spectral components of the signal to the lower part of the frequency range. Anesthetics cause a whole range of neurophysiological changes, which cannot be correctly assessed with just one indicator.

**Objective.** In order to describe complex processes during the transition from the waking state to the state of deep anesthesia adequately, it is required to propose a method for assessing the depth of anesthesia, using a comprehensive set of parameters reflecting changes in the EEG signal. The article presents the results of study the possibility of building a regression model based on artificial neural networks (ANN) to determine levels of anesthesia using a set of parameters calculated by EEG.

**Materials and methods.** The authors of the article propose the method for assessing the level of anesthesia, based on the use of neural networks, which input parameters are time and frequency EEG parameters, namely: spectral entropy (SE); burst-suppression ratio (BSR); spectral edge frequency (SEF95) and log power ratio of the spectrum (RBR) for three pairs of frequency ranges.

**Results.** The optimal parameters of ANN were determined, at which the highest level of regression is achieved between the calculated and the verified values of the anesthesia depth indices.

**Conclusion.** In order to create a practical version of the algorithm, it is necessary to investigate further the noise stability of the proposed method and develop a set of algorithmic solutions, which ensure a reliable operation of the algorithm in the presence of noise.

**Key words:** EEG, Anesthesia depth estimation, Artificial neural networks, Spectral entropy, BIS-index

**For citation:** Al-Ghaili M. A., Kalinichenko A. N. Estimation of the Depth of Anesthesia by Electroencephalogram Using Neural Networks. Journal of the Russian Universities. Radioelectronics. 2019, vol. 22, no. 3, pp. 106–112. doi: 10.32603/1993-8985-2019-22-3-106-112

**Acknowledgements.** The research was implemented within the frames of the grant of the RFBR 19-07-00963 A.

**Conflict of interest.** Authors declare no conflict of interest.

Submitted 04.04.2019; accepted 20.05.2019; published online 27.06.2019

**Введение.** Во время общей анестезии у пациента происходит полная потеря сознания, достигаемая посредством комбинации инъекционных и вдыхаемых лекарств. Этот тип анестезии часто используется для высокоинвазивных операций или случаев, когда требуется полное расслабление пациента. Важнейшая задача анестезиолога – обеспечение оптимальных дозировок, предотвращающих эпизоды интраоперационного сознания, которое может стать причиной опасных психологических воздействий на пациентов [1]. Поэтому специалист-анестезиолог должен иметь возможность точно контролировать глубину анестезии и обеспечивать ее адекватность. Следова-

тельно, разработка методов и алгоритмов для точной оценки глубины анестезии во время хирургических операций особенно важна.

В течение последних двух десятилетий вместо традиционных методов оценки глубины анестезии (ГА), основанных на гемодинамических параметрах, получили распространение новые методы, в основе которых лежит обработка сигналов электроэнцефалограммы (ЭЭГ). Известно, что анестетики оказывают прямое влияние на синаптическую активность мозговых нейронов [2]. Таким образом, предпочтительно использовать анализ ЭЭГ для определения количественной оценки ГА [3], [4].

В связи со сложностью визуальной интерпретации ЭЭГ возникает необходимость применения для оценки глубины анестезии автоматических компьютерных методов обработки сигналов. В ряде исследований для оценки глубины анестезии по ЭЭГ применялся нелинейный анализ. В частности, в [5] исследована эффективность использования спектральной энтропии и аппроксимированной энтропии для количественной оценки регулярности сигнала ЭЭГ. Полученные результаты демонстрируют высокую чувствительность указанных показателей к частотному составу сигнала и к дозе анестезирующего препарата. В [6] исследован показатель ГА, названный спектральной краевой частотой (Spectral Edge Frequency – SEF). При выборе порогового значения частоты  $SEF = 14$  Гц чувствительность и специфичность для прогнозирования возникновения движений во время анестезии составили 72 и 82 % соответственно.

К широко распространенным алгоритмам оценки глубины анестезии относится биспектральный индекс (BIS-индекс) [3], [7]. BIS-индекс представляет собой сложный частотно-временной параметр, состоящий из нескольких подпараметров, меняющих свое значение в зависимости от глубины наркоза пациента. Значения BIS-индекса около нуля соответствуют состоянию очень низкой активности мозга, значения в диапазоне от 20 до 80 – различным уровням хирургической анестезии, а значения, близкие к 100, – полному бодрствованию пациента. В качестве подпараметров BIS-индекса, в частности, используются следующие два показателя: отношение "вспышки/подавление" (Burst/Suppression Ratio – BSR) и относительное содержание бета-ритма (Relative Beta Ratio – RBR) [7].

Анестезирующие средства вызывают комплекс нейрофизиологических изменений, что обуславливает сложность ЭЭГ [3]. Для количественной оценки этих изменений требуется целый набор параметров ЭЭГ, описывающий все факторы перехода от бодрствования к глубокой анестезии. После формирования соответствующего набора параметров ЭЭГ они могут быть использованы для расчета численных показателей, характеризующих различные стадии анестезии.

Быстрая эволюция технологий способствовала появлению новых методов распознавания и классификации, среди которых наиболее перспективно использование нейронных сетей. Искусственные нейронные сети (ИНС) представляют

собой вычислительные алгоритмы, состоящие из ряда взаимосвязанных элементарных процессоров (ячеек или нейронов). ИНС используются для распознавания образов, прогнозирования, оптимизации и классификации. Их наиболее важной особенностью является способность к обучению. Технически обучение заключается в нахождении коэффициентов связей между нейронами. В процессе обучения нейронная сеть способна выявлять сложные зависимости между входными и выходными данными, а также выполнять обобщение. Каждая ячейка характеризуется передаточной функцией, которая обрабатывает свою входную информацию, а ее выход направляется после взвешивания на другие связанные с ней ячейки [8], [9].

В настоящей статье приведены результаты исследования возможности построения регрессионной модели на основе ИНС для определения уровней анестезии с использованием набора рассчитываемых по ЭЭГ параметров. В качестве входных данных для ИНС используются следующие параметры:

- спектральная энтропия (SE);
- отношение "вспышки/подавление" (BSR);
- спектральная краевая частота (SEF 95);
- логарифм отношения мощностей спектра (RBR) для трех пар частотных диапазонов.

**Материалы и методы.** Исходными данными для исследования служат записи ЭЭГ, полученные во время операции с электродов, расположенных на лбу пациента. В качестве анестезирующего средства применялся пропофол. Параллельно с регистрацией сигнала с периодичностью один раз в 30 с фиксировались показания контрольного прибора (монитора анестезии), формирующего количественную оценку уровня анестезии в виде BIS-индекса. При исследовании использовался набор из 319 фрагментов ЭЭГ продолжительностью по 30 с каждый, отобранных таким образом, чтобы в них по возможности равномерно был представлен весь диапазон значений BIS-индекса. Реализация алгоритма и экспериментов выполнялась в программном пакете MATLAB.

**Вычисление параметров.** Подпараметр BSR используется для оценки эффекта "вспышки/подавление" во время глубокого наркоза. При этом чередуются сегменты сигнала, имеющие очень низкую амплитуду и сегменты с высокой амплитудой. Для расчета этого параметра участки "подавления" идентифицируются как периоды

продолжительностью не менее 0.5 с, в течение которых напряжение ЭЭГ не выходит за пределы  $\pm 5.0$  мкВ [7]. Подсчитывается общее время в состоянии "подавления" и параметр BSR вычисляется как доля суммарной длины участков, где ЭЭГ соответствует критериям "подавления".

Для вычисления показателя спектральной энтропии сначала с помощью метода быстрого преобразования Фурье вычисляется спектральная плотность мощности (СПМ). После этого полученная СПМ нормируется так, чтобы результат умножения суммарной мощности сигнала в некотором диапазоне частот  $f_1 \leq f \leq f_2$  на константу нормализации был равен единице:

$$\sum_{f_i=f_1}^{f_2} P_H(f_i) = C_H \sum_{f_i=f_1}^{f_2} P_0(f_i) = 1,$$

где  $P_H(f_i)$  – нормированные значения СПМ;  $C_H$  – константа нормализации;  $P_0(f_i)$  – значения СПМ сигнала ЭЭГ при  $i$ -м значении частоты в анализируемом диапазоне.

Далее вычисляются значения спектральной энтропии [10]:

$$SE = \sum_{f_i=f_1}^{f_2} P_H(f_i) \lg \frac{1}{P_H(f_i)}.$$

Для вычисления нормализованного значения  $SE_H$  полученный результат делится на величину  $\lg N$ , где  $N$  – количество частотных составляющих:

$$SE_H = SE / \lg N.$$

Спектральная краевая частота (SEF95) представляет собой частоту, в пределах которой сосредоточено 95 % мощности спектра. При анестезии SEF95, как правило, снижается [7]. Параметр RBR – логарифм отношения суммы мощностей  $P_0$  в эмпирически определенной полосе нижних частот (от 0 до 1.5 Гц) к сумме этой величины и суммарной мощности  $P_i$  в некотором  $i$ -м диапазоне частот:

$$RBR_i = \lg \frac{P_0}{P_0 + P_i},$$

где  $i = 1, 2, 3$ , а  $P_1$ ,  $P_2$  и  $P_3$  вычислялись для диапазонов частот 7...16, 4...6 и 16...30 Гц соответственно. Указанные диапазоны подбирались эмпирически по критерию наилучшей делимости между различными состояниями анестезии [11], [12].

Таким образом, был сформирован набор из шести показателей ЭЭГ: SE, BSR, SEF95, RBR<sub>1</sub>, RBR<sub>2</sub> и RBR<sub>3</sub> для всех верифицированных уровней анестезии.

**Выбор структуры ИНС.** Указанные параметры для всех уровней анестезии использовались как входные переменные ИНС. Для обучения и проверки ИНС сначала все выборки были перемешаны случайным образом, а после этого разделены на следующие базы данных: обучающая база данных с объемом выборки 60 % от общего объема, валидационная база данных с объемом выборки 20 % от общего объема и тестовая база данных с объемом выборки 20 % от общего объема.

Для оценки уровней анестезии использована модель многослойного перцептрона как структура ИНС, наиболее адекватная решению задачи регрессии для одного выходного показателя [13]. Эффективность ИНС оценивалась с использованием коэффициента регрессии  $R$ . Исследованы структуры с одним, двумя, тремя и четырьмя скрытыми слоями. Количество нейронов в каждом скрытом слое варьировалось от 10 до 100 с шагом 5 нейронов. В качестве функций активации для скрытых и выходного слоев были выбраны гиперболический тангенс и линейная функция соответственно [14], [15].

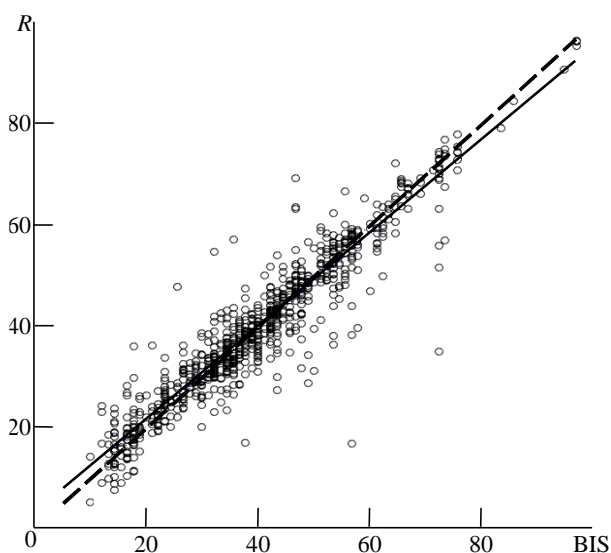
**Анализ результатов.** В таблице показаны усредненные по тестовой выборке значения коэффициента регрессии  $R_{cp}$  для разных структур ИНС. Наибольшее значение коэффициента  $R_{cp} = 0.94$  достигнуто для структуры ИНС со скрытыми слоями, содержащими 60, 35, 35 и 60 нейронов в первом, втором, третьем и четвертом слоях соответственно. Исследования показали, что дальнейшее увеличение числа слоев не приводит к повышению среднего значения коэффициента.

Результаты тестирования разработанной ИНС представлены на рисунке, где проведено сравне-

Значения коэффициента регрессии, усредненные на тестовой выборке

The regression coefficient values averaged over the test sample

Число скрытых слоев ИНС Number of Ann Hidden Layers	$R_{cp}$
1	0.87
2	0.88
3	0.89
4	0.94



Сравнение результатов прогнозирования степени анестезии, даваемых искусственной нейронной сетью, с BIS-индексом

Results comparison of anesthesia depth predictions given by the artificial neural network and BIS-index values

ние прогнозируемых ею значений показателя глубины анестезии  $D$  со значениями BIS-индекса, полученными на тестовой выборке. Кружками показаны результаты на элементах выборки, сплошной линией – сравнение результатов ИНС и индексом, штриховая линия отражает полное совпадение индексов.

Как следует из рисунка, формируемые ИНС оценки степени анестезии хорошо согласуются с результатами, получаемыми принятой методикой показателя глубины анестезии.

**Выводы.** В рассмотренном исследовании предложен метод оценки уровня анестезии, основанный на применении ИНС, входными параметрами которых служат временные и частотные показатели ЭЭГ, а именно: спектральная энтропия (SE); отношение "выпешки/подавление" (BSR); спектральная краевая частота (SEF95) и логарифм отношения мощностей спектра (RBR) для трех частотных диапазонов. Определены оптимальные параметры сети в форме многослойного персептрона, при которых достигается наивысший уровень регрессии между рассчитанными и верифицированными значениями показателя глубины анестезии. Предложенный метод может применяться в мониторах анестезии, служащих для контроля глубины наркоза, в целях выбора адекватной дозы анестезирующих препаратов во время операций, что позволит избежать как случаев интраоперационного пробуждения, так и излишне глубокого наркоза. Для создания практического варианта алгоритма необходимо дополнительно исследовать помехоустойчивость рассматриваемого метода и разработать комплекс алгоритмических решений, обеспечивающих надежную работу алгоритма при наличии шумов.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Rampil IJ. A primer for EEG signal processing in anesthesia // *Anesthesiology*. 1998. Vol. 89. P. 980–1002.
2. Welling P. G. Pharmacokinetics: processes, mathematics and applications. 2nd ed. Washington DC: American Chemical Society. 1997. 393 p.
3. Bispectral analysis measures sedation and memory effects of propofol, midazolam, isoflurane and Alfentanil in normal volunteers / P. S. Glass, M. Bloom, L. Kearsse, C. Rosow, P. Sebel, P. Manberg // *Anesthesiology*. 1997. Vol. 86(4). P. 836–847.
4. Traast H. S., Kalkman C. J. Electroencephalographic characteristics of emergence from propofol/sufentanil total intravenous anesthesia // *Anesthesia & Analgesia*. 1995. Vol. 81(2). P. 366–371. doi: 10.1097/0000539-199508000-00027
5. Behavior of entropy/complexity measures of the electroencephalogram during propofol-induced sedation / R. Ferenets, A. Vanluchene, T. Lipping, B. Heyse, M. Struys // *Anesthesiology*. 2007. Vol. 106(4). P. 696–706. doi:10.1097/01.anes.0000264790.07231.2d
6. Spectral edge frequency of the electroencephalogram to monitor 'depth' of anaesthesia with isoflurane or Propofol / D. Schwender, M. Daunderer, S. Mulzer, S. Klasing, U. Finsterer, K. Peter // *Brit. J. of Anaesthesia*. 1996. Vol. 77(2). P. 179–184. doi: 10.1093/bja/77.2.179
7. Tong S., Thakor N. V. Quantitative EEG analysis methods and clinical applications. Norwood: Artech House, 2009. 421 p.
8. Hossein R., Alireza M. D., Mehrab G. Estimation the depth of anesthesia by the use of artificial neural Network // *Artificial Neural Networks. Methodological Advances and Biomed. Appl.* / Ed. by K. Suzuki. 2011. P. 283–302. doi: 10.5772/15139
9. Description of the entropy algorithm as applied in the datex-ohmeda S/5 entropy module / H. Viertiö-Oja, V. Maja, M. Särkelä, P. Talja, N. Tenkanen, H. Tolvanen-Laa-kso, M. Paloheimo, A. Vakkuri, A. Yli-Hankala, P. Meriläinen // *Acta Anaesthesiol. Scand.* 2004. Vol 48(2). P. 154–161. doi: 10.1111/j.0001-5172.2004.00322.x
10. Аль-Гаили М. А., Калиниченко А. Н. Оценка глубины анестезии на основе совместного анализа частотных и временных параметров ЭЭГ // *Изв. СПбГЭТУ "ЛЭТИ"*. 2018. № 3. С. 80–85.
11. Classification of EEG signals based on pattern recognition approach / H. U. Amin, W. Mumtaz, A. R. Subhani, M. N. M. Saad, A. S. Malik // *Frontiers in Computational Neuroscience*. 2017. Vol. 11, art.103. P. 1–12.
12. Classification of wakefulness and anesthetic sedation using combination feature of EEG and ECG / B. Lee, D. Won, K. Seo, H. J. Kim, S. Lee // *Proc. of 2017 5th Intern.*

Winter Conf. on Brain-Computer Interface (BCI). Sabuk, South Korea, 9–11 Jan. 2017. Piscataway: IEEE, 2017. P. 88–90. doi: 10.1109/IWW-BCI.2017.7858168

13. Monitoring the depth of anesthesia using entropy features and an artificial neural network / R. Shalbf, H. Behnam, J. W. Sleigh, A. Steyn-Ross, L. J. Voss // J. of Neuroscience Methods. 2013. Vol. 218, iss. 1. P. 17–24.

14. Wavelet entropy based classification of depth of anesthesia / V. K. Benzy, E. A. Jasmin, R. C. Koshy, F. Amal // 2016 Intern. Conf. on Computational Techniques in In-

formation and Communication Technologies (ICCTICT), New Delhi, India, 11–13 March 2016. Piscataway: IEEE, 2016. P. 521–524. doi: 10.1109/ICCTICT.2016.7514635

15. A comparison of different classification algorithms for determining the depth of anesthesia level on a new set of attributes / A. Arslan, B. Şen, F. V. Çelebi, M. Peker, A. But // 2015 Intern. Symp. on Innovations in Intelligent Systems and Applications (INISTA), Madrid, Spain, 2–4 Sept. 2015. Piscataway: IEEE, 2015. P. 1–7. doi: 10.1109/INISTA.2015.7276738

**Аль-Гаули Мохаммед Ахмед Хамуд** – магистр по направлению "Биотехнические системы и технологии" (2013), аспирант кафедры биотехнических систем Санкт-Петербургского государственного электротехнического университета "ЛЭТИ" им. В. И. Ульянова (Ленина). Автор шести научных публикаций. Сфера научных интересов – цифровая обработка биомедицинских сигналов, машинное обучение, распознавание образов. E-mail: alghily@mail.ru

**Калиниченко Александр Николаевич** – доктор технических наук (2009), старший научный сотрудник (1998), профессор кафедры биотехнических систем Санкт-Петербургского государственного электротехнического университета "ЛЭТИ" им. В. И. Ульянова (Ленина). Автор более 160 научных работ. Сфера научных интересов – компьютерный анализ биомедицинских сигналов, машинное обучение, распознавание образов. <https://orcid.org/0000-0001-8946-2831>  
E-mail: ank-bs@yandex.ru

## REFERENCES

1. Rampil IJ. A primer for EEG signal processing in anesthesia. *Anesthesiology*. 1998, vol. 89, pp. 980–1002.

2. Welling P. G. *Pharmacokinetics: Processes, Mathematics, and Applications*. 2nd ed. Washington DC: American Chemical Society. 1997, 393 p.

3. Glass P. S., Bloom M., Kears L., Rosow C., Sebel P., Manberg P. Bispectral analysis measures sedation and memory effects of propofol, midazolam, isoflurane, and alfentanil in normal volunteers. *Anesthesiology*, 1997, vol. 86(4), pp. 836–847.

4. Traast H. S., Kalkman C. J. Electroencephalographic characteristics of emergence from propofol/sufentanil total intravenous anesthesia. *Anesthesia & Analgesia*. 1995, vol. 81(2), pp. 366–371. doi: 10.1097/00000539-199508000-00027

5. Ferenets R., Vanluchene A., Lipping T., Heyse B., Struys M. Behavior of Entropy/Complexity Measures of the Electroencephalogram during Propofol-induced Sedation. *Anesthesiology*, 2007, vol. 106(4), pp. 696–706. doi:10.1097/01.anes.0000264790.07231.2d

6. Schwender D., Dauderer M., Mulzer S., Klasing S., Finsterer U., Peter K. Spectral edge frequency of the electroencephalogram to monitor 'depth' of anaesthesia with isoflurane or propofol. *British Journal of Anaesthesia*, 1996, vol. 77(2), pp. 179–184. doi: 10.1093/bja/77.2.179

7. Tong S., Thakor N. V. *Quantitative EEG Analysis Methods and Clinical Applications*. Norwood: Artech House, 2009, 421 p.

8. Hossein R., Alireza M. D., Mehrab G. Estimation the Depth of Anesthesia by the Use of Artificial Neural Network // *Artificial Neural Networks. Methodological Advances and Biomedical Applications*. Ed. by Kenji Suzuki. 2011. P. 283–302. doi: 10.5772/15139

9. Viertö-Oja H., Maja V., Särkelä M., Talja P., Tenkanen N., Tolvanen-Laakso H., Paloheimo M., Vakkuri A., Yli-Hankala A., Meriläinen P. Description of the Entropy

algorithm as applied in the Datex-Ohmeda S/5 Entropy Module. *Acta Anaesthesiol. Scand*. 2004, vol. 48(2), pp. 154–161. doi: 10.1111/j.0001-5172.2004.00322.x

10. Al-Ghaili M. A., Kalinichenko A. N. Evaluation of Depth of Anesthesia Based on Joint Analysis of EEG Frequency and Time Parameters. *Izvestiya SPBGU "LETI" [Proceedings of Saint Petersburg Electrotechnical University]*, 2018, no. 3, pp. 80–85. (In Russian)

11. Amin H. U., Mumtaz W., Subhani A. R., Saad M. N. M., Malik A. S. Classification of EEG Signals Based on Pattern Recognition Approach. *Frontiers in Computational Neuroscience*, 2017, vol. 11, art.103. P. 1–12.

12. Lee B., Won D., Seo K., Kim H. J., Lee S. Classification of Wakefulness and Anesthetic Sedation Using Combination Feature of EEG and ECG. *Proc. of 2017 5th Intern. Winter Conf. on Brain-Computer Interface (BCI)*. Sabuk, South Korea, 9–11 Jan. 2017. Piscataway: IEEE, 2017, pp. 88–90. doi: 10.1109/IWW-BCI.2017.7858168

13. Shalbf R., Behnam H., Sleigh J. W., Steyn-Ross A., Voss L. J. Monitoring the Depth of Anesthesia Using Entropy Features and an Artificial Neural Network. *J. of Neuroscience Methods*, 2013, vol. 218, iss. 1, pp. 17–24.

14. Benzy V. K., Jasmin E. A., Koshy R. C., Amal F. Wavelet Entropy Based Classification of Depth of Anesthesia. 2016 Intern. Conf. on Computational Techniques in Information and Communication Technologies (ICCTICT), New Delhi, India, 11–13 March 2016. Piscataway, IEEE, 2016, pp. 521–524. doi: 10.1109/ICCTICT.2016.7514635

15. Arslan A., Şen B., Çelebi F. V., Peker M., But A. A Comparison of Different Classification Algorithms for Determining the Depth of Anesthesia Level on a New Set of Attributes. 2015 Intern. Symp. on Innovations in Intelligent Systems and Applications (INISTA), Madrid, Spain, 2–4 Sept. 2015. Piscataway, IEEE, 2015, pp. 1–7. doi: 10.1109/INISTA.2015.7276738

**Mokhammed A. Al-Ghaili** – Master (2013) in Biotechnical Systems and Technologies, postgraduate student of the Department of Bioengineering Systems of Saint Petersburg Electrotechnical University "LETI". The author of 6 scientific publications. Area of expertise: digital processing of biomedical signals; machine learning; pattern recognition. E-mail: alghily@mail.ru

**Alexander N. Kalinichenko** – Dr. of Sci. (Engineering) (2009), Professor of the Department of Bioengineering Systems of Saint Petersburg Electrotechnical University "LETI". The author of more than 160 scientific publications. Area of expertise: computer analysis of biomedical signals; machine learning; pattern recognition. <https://orcid.org/0000-0001-8946-2831>  
E-mail: ank-bs@yandex.ru

---

## Книжные новинки

УДК 621.318.1 + 621.317.4  
ББК 3235 + 3222  
Б67

Автор: Бишард Е. Г.

### **Средства измерения магнитных свойств материалов и элементов**

СПб.: Изд-во СПбГЭТУ "ЛЭТИ", 2018. 160 с.  
ISBN 978-5-7629-2368-2

Приведены основные сведения о свойствах современных магнитных материалов и их магнитных характеристиках, в частности для микроэлектроники. Изложены соображения по рациональному выбору материалов для проектирования измерительных устройств с включением технологических процедур намагничивания и размагничивания, магнитных систем с постоянными магнитами.

Проанализированы возможности современных магнитоизмерительных приборов и преобразователей. Показаны методы построения и их реализация в аппаратуре для определения магнитных характеристик материалов специального назначения.

Издание может быть полезно инженерам, занимающимся проектированием и испытанием устройств с применением магнитных систем, а также аспирантам и студентам вузов, обучающимся по специальностям, связанным с информационно-измерительной техникой.