

УДК 621.311

С.А. Вялкова, И.И. Надтока

## АНАЛИЗ ШУМОВОЙ СОСТАВЛЯЮЩЕЙ СУТОЧНЫХ ГРАФИКОВ АКТИВНОЙ МОЩНОСТИ ЭНЕРГОСИСТЕМЫ И МЕТЕОФАКТОРОВ ПРИ КРАТКОСРОЧНОМ ПРОГНОЗИРОВАНИИ

Южно-Российский государственный политехнический университет  
(НПИ) им. М.И. Платова

В используемых в настоящее время методах краткосрочного прогнозирования суточных почасовых графиков активной мощности, основанных на ортогональных разложениях временных рядов электропотребления и метеофакторов, не учитываются шумовые составляющие. Анализ и учет информации, содержащейся в шумовых составляющих, в некоторых случаях может повысить точность моделирования и, соответственно, прогнозирования. Для анализа и моделирования временных рядов почасовых значений активной мощности, температуры воздуха и естественной освещенности использован метод сингулярного спектрального анализа, в алгоритме которого предусмотрено выделение трендовых, гармонических и случайных (шумовых) составляющих. Авторами представлены результаты разложения временных рядов электропотребления и метеофакторов для г. Москвы за февраль 2015 года. На их основе получены трендовые, гармонические и шумовые составляющие почасовых графиков активной мощности, температуры воздуха и естественной освещенности. Построены графики автокорреляционных функций шумовых составляющих временных рядов активной мощности, температуры воздуха и естественной освещенности, а также выполнен анализ спектральных плотностей шумовых составляющих. Монотонное уменьшение значений автокорреляционных функций, свидетельствует о стационарности шумовых составляющих.

Определены оценки показателей Херста шумовых составляющих электропотребления, температуры воздуха и естественной освещенности. Из анализа значений показателя Херста следует, что для указанных случайных составляющих наблюдается отсутствие тенденции в сочетании с относительно высоким уровнем зашумленности. Следовательно, необходимы дальнейшие исследования шумовых составляющих активной мощности, температуры воздуха и естественной освещенности на более длительных выборках (2-3 месяца) а также с другими длинами окон.

**Ключевые слова:** естественная освещенность, метод Херста, прогнозирование электропотребления, сингулярный спектральный анализ, температура воздуха..

## 1. Введение

Используемые в настоящее время методы краткосрочного прогнозирования суточных графиков мощности энергосистем и энергообъединений, основанные на ортогональных разложениях временных рядов, как правило, не учитывают шумовую составляющую [1-3]. Анализ и учет информации, содержащейся в шумовой составляющей, в некоторых случаях может повысить точность прогнозирования.

В статье рассмотрены вопросы анализа шумовой составляющей в рамках комбинированного подхода к моделированию и прогнозированию нестационарного ряда электропотребления. Подход заключается в применении на этапе моделирования временных рядов ортогонального разложения сингулярного спектрального анализа (SSA – Singular Spectrum Analysis) [4-7] и нечеткой нейронной сети на этапе прогнозирования. При моделировании и краткосрочном прогнозировании суточных графиков активной мощности энергосистем и энергообъединений возникает необходимость проверки выделенной шумовой составляющей ряда активной мощности на наличие в ней трендовых составляющих [8-10]. В данной работе для этих целей применен показатель Херста [11, 12].

## II. Моделирование

Исходными данными для анализа и моделирования временных рядов являлись почасовые данные электропотребления территории города Москвы, предоставленные Региональным диспетчерским управлением энергосистемы Москвы и Московской области, филиалом ОАО «СО ЭЭС» (Московское РДУ) [13]. Для анализа и прогноза ряда электропотребления использованы следующие данные за февраль 2015 г.: суточные графики активной мощности  $P(t)$ , температуры воздуха  $\Theta(t)$  и естественной освещенности  $E(t)$ .

Для моделирования и прогнозирования временного ряда мощности  $P(t)$  был применен метод SSA. В результате разложений по методу SSA временные ряды  $P(t)$ ,  $\Theta(t)$ ,  $E(t)$  были разделены на трендовые  $P_T(t)$ ,  $\Theta_T(t)$ ,  $E_T(t)$  гармонические  $P_G(t)$ ,  $\Theta_G(t)$ ,  $E_G(t)$ , и случайные (шумовые)  $P_{СЛ}(t)$ ,  $\Theta_{СЛ}(t)$ ,  $E_{СЛ}(t)$  аддитивные составляющие:

$$\begin{aligned} P(t) &= P_T(t) + P_G(t) + P_{СЛ}(t); \\ \theta(t) &= \theta_T(t) + \theta_G(t) + \theta_{СЛ}(t); \\ E(t) &= E_T(t) + E_G(t) + E_{СЛ}(t). \end{aligned} \quad (1)$$

На рис. 1 показан пример реализации временного ряда мощности для г. Москвы за период с 1 по 28 февраля 2015 года и его составляющих  $P_T(t)$ ,  $P_G(t)$ ,  $P_{СЛ}(t)$ . Аналогичные разложения были выполнены для

почасовых графиков температуры  $\Theta(t)$  и освещенности  $E(t)$ . Длина окна была выбрана  $L = 24$  час.

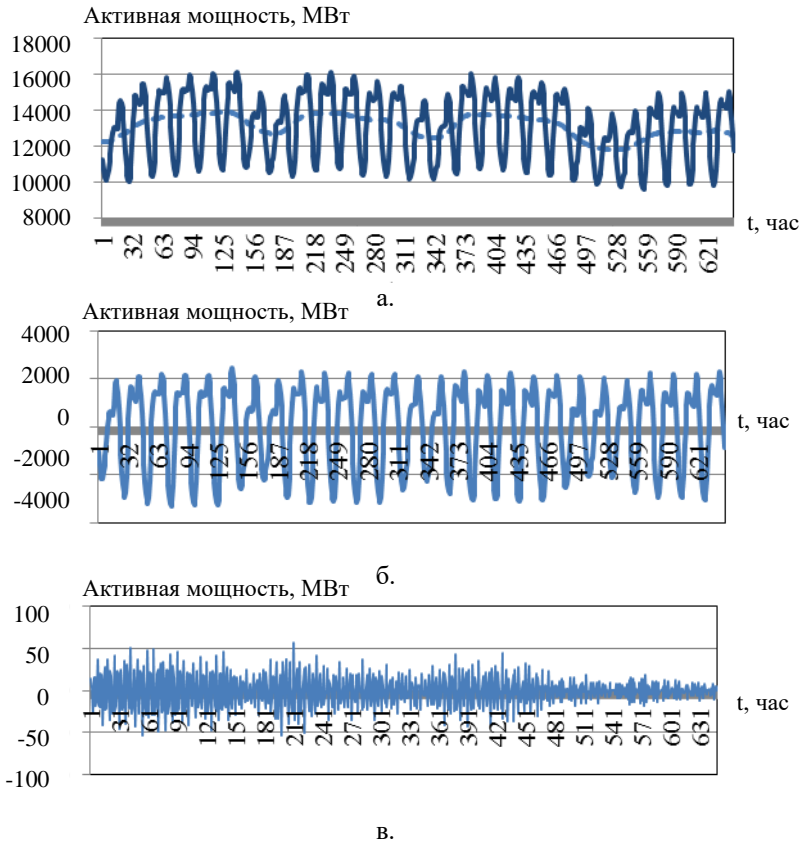


Рис. 1. Почасовые графики за февраль 2015 года:  
 а) фактической активной мощности и трендовой составляющей (пунктирная линия); б) гармонической составляющей; в) случайной составляющей

### III. Результаты

Для выявления тенденций в рядах выделенных шумовых составляющих РСЛ(t),  $\Theta$ СЛ(t), ЕСЛ(t) были построены графики автокорреляционных функций, определяющих тесноту линейных связей текущего и предыдущего значений ряда. Они использовались для проверки независимости (или, напротив, взаимосвязанности) значений временных рядов случайных составляющих.

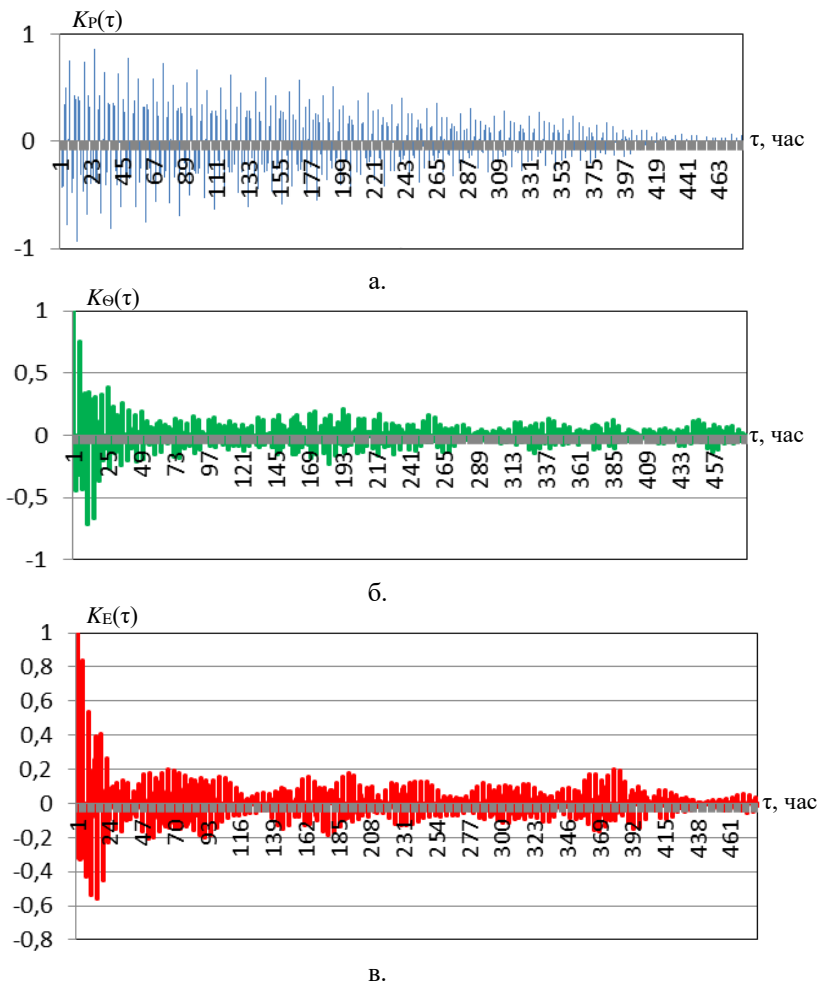
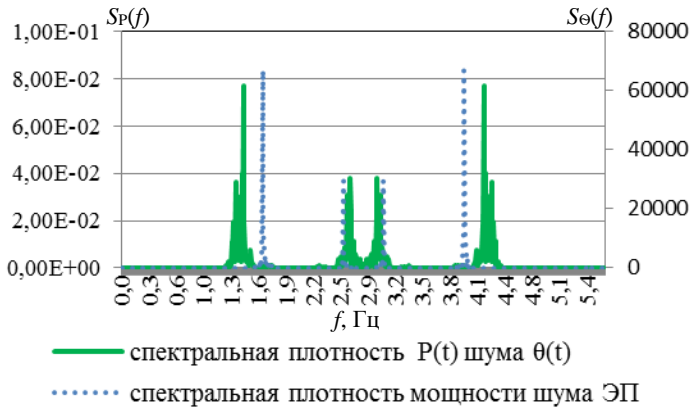
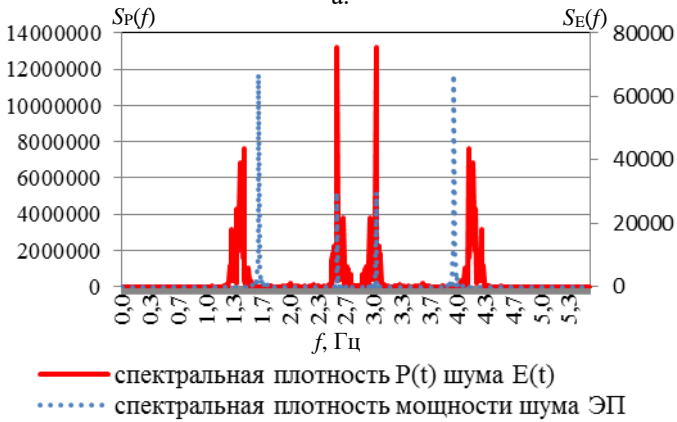


Рис. 2. Графики автокорреляционных функций шумовых составляющих за февраль 2015 года  
 а) активной мощности; б) температуры; в) освещенности

Представленные на рис. 2 графики имеют положительную и отрицательную автокорреляцию. Поскольку автокорреляционные функции монотонно убывают, можно сделать вывод о стационарности временного ряда.



а.



б.

Рис. 3. Графики спектральных плотностей шумовых составляющих за февраль 2015 г:

- а) температуры воздуха и активной мощности;  
 б) освещенности и активной мощности

Графики спектральной плотности  $S(f)$ , представленные на рис. 3, показывают распределение мощности шумовых составляющих по диапазону частот. Чем больше величина  $S(f)$ , тем меньшие частоты (уже график), представлены в спектральной плотности и тем медленнее изменяется величина шумовой составляющей во времени. Наоборот, чем большие (шире график) частоты представлены в спектральной плотности, тем быстрее происходят изменения шумовой составляющей во времени.

Показатель Херста  $H$  характеризует отношение значений тренда к уровню шума [11, 12, 14, 15]. Херст показал, что большинство явлений имеют характер «смещенное случайное блуждание» – тренд с шумом.

Существует несколько методов оценки показателя Херста исходного ряда: а) Истаса и Лэнга –  $H_1$ ; б) порядка вейвлет-преобразованиях –  $H_2$ ; в) метод Фландрена –  $H_3$  [12]. С помощью программного продукта Matlab были найдены оценки для компонент рядов шума РСЛ( $t$ ),  $\Theta$ СЛ( $t$ ), ЕСЛ( $t$ ), представленные в табл. 1.

Таблица 1.  
Показатели Херста шумовых составляющих временных рядов для февраля 2015 года

Величина	Активная мощность $P_{СЛ}(t)$	Температура воздуха $\Theta_{СЛ}(t)$	Освещенность $E_{СЛ}(t)$
$H_1$	0,13	0,19	-0,06
$H_2$	-0,09	0,002	-0,21
$H_3$	-1,05	-1,03	-1,00
Среднее значение шума	0,003427	-0,000044	0,20
Дисперсия шума	356,02	0,001432	226761,46

Когда ряд имеет характер «случайное блуждание», показатель Херста  $H$  не должен быть равен 0,5, т.е., в данном случае имеет место отсутствие тренда. Для  $0 < H < 0,5$  характерна тенденция в сочетании с относительно высоким уровнем зашумленности. При  $0,5 < H < 1$  имеется сохранение наблюдаемой тенденции в сочетании с относительно низким уровнем зашумленности [12]. Так как в исследуемом ряде шумовая составляющая не имеет наклона (рис. 1), то показатель  $H_3$  в дальнейшем анализе не применялся. В данной работе для анализа случайных составляющих РСЛ( $t$ ),  $\Theta$ СЛ( $t$ ), ЕСЛ( $t$ ) использовался показатель  $H_1$ . Из анализа значений показателя  $H_1$  следует, что в указанных случайных отсутствует тенденция в сочетании с относительно высоким уровнем зашумленности. Показатель  $H_1$  для ряда шума отрицателен благодаря выделенному методом SSA тренду.

#### IV. Выводы

1. Дальнейшее совершенствование применения метода SSA в краткосрочном прогнозировании электропотребления требует проведения исследования с разными длинами окна  $L = 24$  часа,  $L = 168$  часов (неделя) и др. для учета суточной и недельной периодичности во временных рядах

активной мощности. Также необходимы испытания нейронных сетей с одинаковой структурой, но с индивидуальными параметрами для каждой составляющей ряда: трендовой  $PT(t)$ , и гармонической  $PG(t)$ .

2. С целью выявления условий, при которых могут появляться трендовые составляющие во временных рядах шумовых составляющих, необходимо выполнить аналогичные исследования на более длительных выборках электропотребления и метеофакторов (2-3 месяца), а также с разными длинами окон.

© Вялкова С.А., 2018

© Надтока И.И., 2018

### Библиографический список

- [1] Гурский С.К. Адаптивное прогнозирование временных рядов в электроэнергетике. Минск: Наука и техника, 1983. – 271 с.
- [2] Седов А.В., Надтока И.И. Системы контроля, распознавания и прогнозирования электропотребления: модели, методы, алгоритмы и средства. Ростов н/Д.: Рост, 2002. – 320 с.
- [3] Макоклюев Б.И. Анализ и планирование электропотребления. М.: Энергоатомиздат, 2008. – 296 с.
- [4] Александров Ф.И. Выбор параметров при автоматическом выделении трендовых и периодических составляющих временного ряда в рамках подхода «Гусеница» – SSA [Электронный ресурс]. URL: <http://www.pdmi.ras.ru/~theo/autossa/files/SICPRO2005—paper-Thresholds.pdf> (дата обращения: 02.09.2018).
- [5] Александров Ф.И., Голяндина Н.Э. Автоматическое выделение и прогнозирование временных рядов методом SSA // V Санкт-Петербургская конференция по Моделированию, 26 июня – 2 июля 2005 года, Санкт-Петербург, Россия, Санкт-Петербургский государственный университет, 2005. С. 45-50.
- [6] Голяндина Н.Э. Метод «Гусеница» – SSA: прогноз временных рядов, учеб. пособие. СПб: СПбГУ, 2004. – 52 с.
- [7] Голяндина Н.Э., Некрулин В.А. Жиглавский А.А. Сингулярный спектральный анализ для временных рядов [Электронный ресурс]. (дата обращения: 02.09.2018).
- [8] Надтока И.И., Корнюкова О.А. Адаптация метода сингулярного спектрального анализа для прогнозирования временных рядов электропотребления // Известия вузов Северо-Кавказский регион. Технические науки. 2008. № 3. С. 88-90.
- [9] Вялкова С.А., Поддубская С.С., Куприянова М.А., Корнюкова О.А. Применение одномерного гусеничного метода для моделирования графиков суточной нагрузки на примере Ростовской области // Сборник работ победителей отборочного тура Всероссийского конкурса научно-исследовательских работ студентов, аспирантов и молодых ученых по

- нескольким междисциплинарным направлениям (Эврика 2011), окт. – нояб. 2011, Новочеркасск, Россия, Юж. – Рос. гос. техн. ун-т (НПИ). С. 297-299.
- [10] Надтока И.И., Вялкова С.А., Корнюкова О.А. Сравнительный анализ методов одномерного и многомерного спектрального анализа при очистке от шумовой составляющей временного ряда электропотребления 2012 – 2013 годов // Электроэнергетика глазами молодежи: научные труды IV Междунар. науч.-техн. конф. Новочеркасск: ЮРГТУ, 2013. С. 194-197.
- [11] Колпач Д.М. Исследование области применения критерия Херста. [Электронный ресурс]. URL: <http://stud.reflexivity.ru/Herst07.pdf> (дата обращения: 02.09.2018).
- [12] А.А. Пучков. Прогнозируемость фондовых индексов с помощью константы Херста [Электронный ресурс]. URL: <http://jurnal.org/articles/2011/ekon27.html> (дата обращения: 02.09.2018).
- [13] Системный оператор Единой Энергетической Системы: Электронный ресурс. [Электронный ресурс]. URL: <https://so-ups.ru/> (дата обращения: 02.09.2018).
- [14] Солнцев Л.А., Иудин Д.И., Снегирева М.С. Фрактальный анализ векового хода средней температуры воздуха в г. Нижнем Новгороде // Вестник Нижегородского университета им. Н.И. Лобачевского. 2007. № 4. С. 88-91.
- [15] Hurst H.E., Black R.P., Simaika Y.M. Long – term storage: An experimental study. L.: Constable, 1965.

**S.A. Vyalkova, I.I. Nadtoka**

## **ANALYSIS OF THE NOISE COMPONENT OF THE DAILY SCHEDULES OF ACTIVE POWER ENERGY SYSTEMS AND METEOFACTORS AT SHORT-TERM FORECASTING**

Platov South-Russian State Polytechnic University (NPI),  
Novocherkassk, Russia

**Abstract.** It is shown that in the currently used methods of short-term forecasting of daily hourly active power graphs based on orthogonal expansions of the time series of power consumption and meteorological factors, noise components are not taken into account. Analysis and accounting of information contained in the noise components in some cases, can improve the accuracy of modeling and, accordingly, prediction.

In the article, the method of singular spectral analysis was used for the analysis and modeling of time series of hourly values of active power, air temperature and natural light, the algorithm of which provides for the allocation of trend, harmonic and random (noise) components.

The results of the decomposition of the time series of power consumption and meteorological factors for Moscow in February 2015 are presented, the results of which are used to obtain trend, harmonic and noise components of hourly graphs of active power, air temperature and natural light. The graphs of the autocorrelation functions of the



noise components of the time series of active power, air temperature and natural illumination were constructed, and the spectral densities of the noise components were also analyzed. The monotonic decrease in the values of autocorrelation functions indicates the stationary of the noise components.

Estimates of the Hurst indicators of the noise components of electrical consumption, air temperature and natural light are determined. From the analysis of the values of the indicator. Hurst follows that in these random components there is a lack of trend in combination with a relatively high level of noise. The conclusion was made about the need for further studies of the noise components of active power, air temperature and natural light on longer samples (2-3 months) as well as with other window lengths.

**Keywords:** air temperature, Hurst's method, natural light, power consumption prediction, singular spectral analysis.

### References

- [1] S.K. Gursky, Adaptive time series forecasting in the power industry. Minsk: Science and Technology, 1983.
- [2] A.V. Sedov and I.I. Nadtok, Control systems, recognition and prediction of power consumption: models, methods, algorithms and tools. Rostov-at-Don: Rost, 2002.
- [3] B.I. Makoklyuev, Analysis and planning of power consumption. Moscow: Energoatomizdat, 2008.
- [4] F.I. Alexandrov, «The choice of parameters for the automatic allocation of trend and periodic components of the time series in the framework of the «Caterpillar» approach – SSA» [Online]. Available at: <http://www.pdmi.ras.ru/~theo/autossa/files/SICPRO2005-paper-Thresholds.pdf> [Accessed at: Feb. 9, 2018].
- [5] F.I. Aleksandrov and N.E. Goljandina, «Automatic selection and forecasting of time series using the CCA method», V St. Petersburg Conference on Modeling, June 26 – July 2, 2005, St. Petersburg, Russia, St. Petersburg State University, 2005, pp. 45-50.
- [6] N.E. Goljandina, The Caterpillar Method – SSA: Time Series Forecast. St. Petersburg: St. Petersburg State University, 2004.
- [7] N.E. Goljandina, V.A. Nekrulin and A.A. Zhiglavsky, «Singular spectral analysis for time series». [Online]. [Accessed at: Feb. 9, 2018].
- [8] I.I. Nadtoka and O.A. Korniyukova, «Adaptation of the method of singular spectral analysis to predict the time series of power consumption», University news. North-Caucasian region. Technical sciences series, no. 3, pp. 88-90, 2008.
- [9] S.A. Vyalkova, S.S. Poddubskaya, M.A. Kupriyanova and O.A. Korniyukova, «Application of the one-dimensional caterpillar method for modeling daily load graphs on the example of the Rostov region», Collection of works by the winners of the qualifying round of the All-Russian competition of research works of students, graduate students and young scientists in several interdisciplinary areas (Evrika 2011), Novoчеркассk, Russia, pp. 297-299, Oct.-Nov. 2011.
- [10] I.I. Nadtok, S.A. Vyalkova and O.A. Korniyukova, «Comparative analysis of the methods of one-dimensional and multidimensional spectral analysis during the cleaning of the noise component of the time series of power consumption 2012-2013», Power industry through the eyes of young people: scientific works of the IV

- International. scientific and technical conf. Novocherkassk: YuSGTU, pp. 194-197, 2013.
- [11] D.M. Korpach, «Study the scope of the Hurst criterion». [Online]. Available at: <http://stud.reflexivity.ru/Herst07.pdf> [Accessed at: Feb. 9, 2018].
- [12] A.A. Puchkov, «Predictability of stock indices using the Hurst constant» [Online]. Available at: <http://jurnal.org/articles/2011/ekon27.html> [Accessed at: Feb. 9, 2018].
- [13] «System Operator of the Unified Energy System: Electronic Resource». [Online]. Available at: <https://so-ups.ru/> [Accessed at: Feb. 9, 2018].
- [14] L.A. Solntsev, D.I. Iudin and M.S. Snegireva, «Fractal analysis of the secular variation of average air temperature in Nizhny Novgorod», Vestnik of Lobachevsky University of Nizhni Novgorod, vol. 4, pp. 88-91, 2007.
- [15] H.E. Hurst, R.P. Black and Y.M. Simaika. Long-term storage: An experimental study. L.: Constable, 1965.