

УДК 621.314

doi: 10.53816/23061456_2024_11–12_31

**РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОГО МОДУЛЯ, РЕАЛИЗУЮЩЕГО МЕТОДИКУ
ИДЕНТИФИКАЦИИ НЕИСПРАВНОСТЕЙ СИЛОВЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ**
**DEVELOPMENT OF A PROGRAM MODULE REALIZING THE METHODOLOGY
OF POWER TRANSFORMER FAULT IDENTIFICATION**

Д-р техн. наук И.А. Меделяев, д-р техн. наук Д.В. Макаров, М.С. Шопик

D.Sc. I.A. Medelyaev, D.Sc. D.V. Makarov, M.S. Shopik

Военная академия Ракетных войск стратегического назначения им. Петра Великого

В статье раскрывается вопрос оптимизации процесса сбора и обработки информации об отказах силовых трансформаторов и другого оборудования энергоблоков электростанций и подстанций, для чего была разработана программа для электронно-вычислительных машин, которая формирует архив отказов, выполняет статистическую обработку архивных данных и рассчитывает среднее время наработки на отказ. Раскрыт процесс работы данной программы для электронно-вычислительных машин и подробно описаны алгоритмы, по которым осуществляется реализация методики идентификации неисправностей с привязкой по фактору времени, номеру силового трансформатора и месту возникновения, с их подробным описанием для осуществления дальнейшего наиболее полного и достоверного анализа технического состояния силовых трансформаторов и прогноза по их дальнейшей эксплуатации.

Ключевые слова: силовой трансформатор, алгоритм, неисправность, программа ЭВМ, методика идентификации.

The article reveals the issue of optimizing the process of collecting and processing information on failures of power transformers and other equipment of power units of power plants and substations, for which a program for electronic computers has been developed, which forms an archive of failures, performs statistical processing of archive data and calculates the average time to failure. The process of work the given program for electronic-computing machines is disclosed and algorithms are described in detail, according to which realization of methodology of identification of failures with reference to time factor, number of power transformer and place of occurrence is carried out, with their detailed description for realization of the further most complete and reliable analysis of technical condition of power transformers and forecast on their further operation.

Keywords: power transformer, algorithm, fault, computer program, identification technique.

В связи со сложной геополитической ситуацией в мире, в условиях проведения Специальной военной операции Российской Федерацией, актуальность сохранения целостности нашей

страны и отстаивание ее интересов никуда не исчезает.

В современных условиях, когда более 50 % силового электрооборудования различных

объектов достигло нормативного срока эксплуатации, а его обновление происходит низкими темпами, основной задачей становится продление срока службы оборудования вплоть до выработки реального, заложенного при изготовлении, ресурса [1–3].

При этом на первый план выходят методы контроля состояния оборудования на месте его установки под рабочим напряжением. Внедрение средств технического диагностирования состояния маслонаполненного электрооборудования (трансформаторов, автотрансформаторов, реакторов) является актуальной и остро необходимой задачей. Это обусловлено рядом объективно сложившихся причин, основной из которых является физический износ, достигающий 50–70 % [4–6].

Целью сбора информации об аварийных отключениях является их распределение по группам и определение характерных неисправностей, возникающих в трансформаторах. Результатом данной статьи должны стать алгоритмы обработки данных об отказах силовых трансформаторов по различным факторам [6–9].

Однако обработка «вручную» объемной информации об аварийных отключениях и их причинах требует больших усилий и временных затрат. С целью их минимизации данных затрат появилась необходимость разработки специализированного программного обеспечения для автоматизированной обработки данных о неисправностях и причинах их возникновения.

Основной алгоритм программы сбора и статистической обработки данных об отказах

Для оптимизации процесса сбора и обработки информации об отказах силовых трансформаторов и другого оборудования энергоблоков электростанций была разработана программа для ЭВМ. Данная программа формирует архив отказов, выполняет статистическую обработку архивных данных и рассчитывает среднее время наработки на отказ. Основной алгоритм программы приведен на рис. 1. Для работы алгоритма необходимы входные данные: информация о произошедшем отказе в силовом трансформаторе. Ввод данных осуществляется непосредственно в программе (блок 1). Данные вводятся в следующем формате: YYYYMMDD.NN.Cause,

где YYYYMMDD — дата возникновения отказа: год, месяц и число, введенные без пробелов; NN — номер трансформатора либо энергоблока, в котором произошел отказ оборудования; Cause — причина отказа, представляющая собой строку длиной до 50 символов [10, 11].

Данные сохраняются в файле архива Archive.dat. На экран выводится следующая информация о файле архива: имя файла, количество записей в нем, первая и последняя даты (блок 2). Ввод данных осуществляется до тех пор, пока оператор не ответит положительно на запрос об обработке данных (блок 3).

В случае положительного ответа выполняются сортировка и обработка сохраненных данных по дате: определяется суммарное число отказов в течение каждого года, а также распределение этих отказов по обследуемым объектам. Затем рассчитываются статистические показатели (математическое ожидание и дисперсия) для каждого года. Отсортированные статистические данные сохраняются в файлах SortArchive.dat и StatData.dat соответственно (блоки 4–5).

На следующем этапе аналогичная статистическая обработка данных осуществляется по номеру трансформатора. Данные сохраняются в файлах SortTrans.dat и StatTrans.dat (блок 6).

Далее оператору поступает запрос на детализацию одного из годов. В случае положительного ответа подсчитывается количество отказов трансформаторов в каждом месяце выбранного года. Результаты сохраняются в файле SortArchiveYear.dat (блок 7).

Затем данные сортируются по причине (месту возникновения) отказа: определяется суммарное число отказов по данной причине и их распределение по трансформаторам. Данные подвергаются статистической обработке. Результаты сохраняются в файлах SortCause.dat и StatCause.dat соответственно (блок 8).

После выполнения всех статистических расчетов выполняется расчет среднего времени наработки на отказ трансформаторов всех энергоблоков. Рассчитанные значения сохраняются в файле Totk.dat и выводятся на экран (блок 9).

На завершающем этапе на экране строятся диаграммы, отображающие распределение количества отказов по годам, по трансформаторам, по причинам возникновения, а также строится диаграмма распределения количества отказов

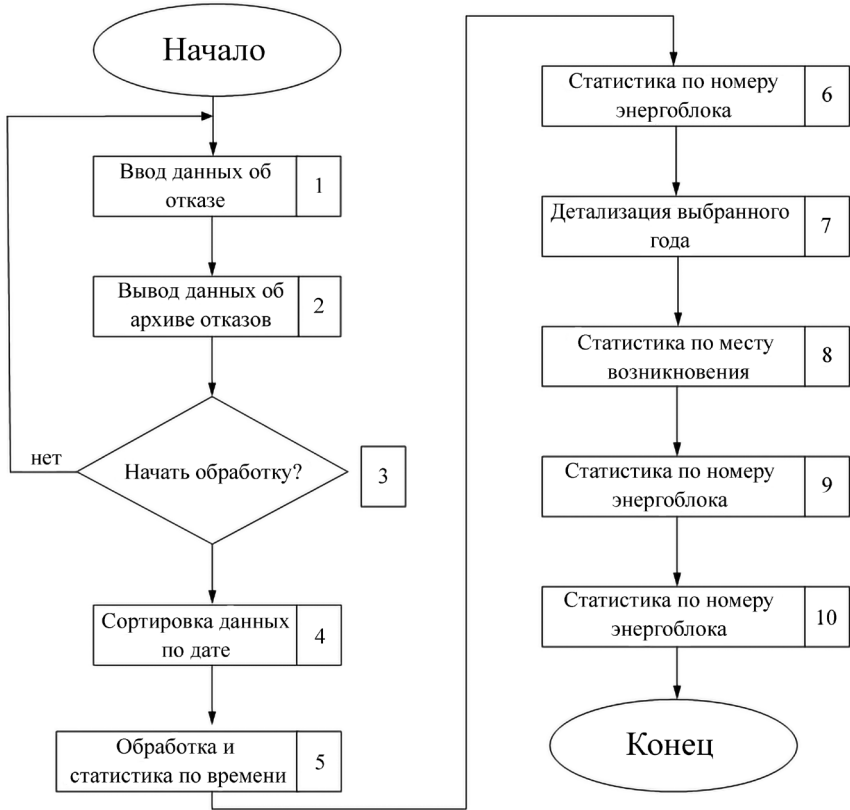


Рис. 1. Основной алгоритм программы сбора и статистической обработки данных об отказах

по месяцам года, выбранного для детализации (блок 10).

Алгоритм обработки данных об отказах по фактору времени и номеру трансформатора

В основном блоке программы производится сортировка данных об отказах по дате. Для того чтобы оценить зависимость количества отказов от времени и номера трансформатора, рассчи-

тать числовые характеристики полученных распределений и получить графическое представление собранных данных, необходимо отсортированный массив обработать и представить в виде, показанном на рис. 2. Для этого был разработан алгоритм обработки данных, представленный на рис. 3.

В блоках 1 и 2 алгоритма задаются начальные значения переменных i , k и str . В блоке 3 выполняется проверка равенства текущего года

	Число отказов трансформатора энергоблока 1	Число отказов трансформатора энергоблока 2	...	Число отказов трансформатора энергоблока i	Суммарное число отказов
год_1					
год_2					
...					
год_к					

Рис. 2. Представление данных об отказах для последующей статистической обработки

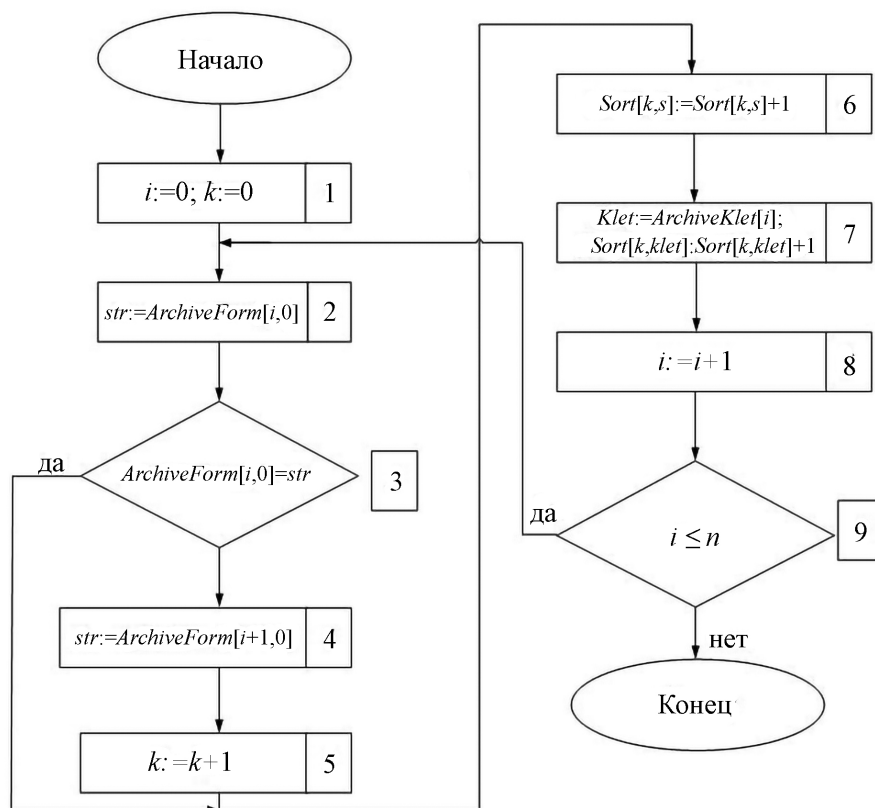


Рис. 3. Алгоритм обработки данных об отказах по фактору времени и номеру трансформатора

str и года записи в массиве отсортированных данных $ArchiveForm[i,0]$. Если условие выполняется, то суммарное количество отказов в этом году увеличивается на единицу (блок 6). В блоке 7 выполняется поиск номера трансформатора, в котором произошел данный отказ, и количество отказов в данном трансформаторе также увеличивается на один. Если условие не выполняется, то значение текущего года изменяется на следующее (блок 4), счетчик годов k увеличива-

ется (блок 5), и после этого выполняются операции, показанные в блоках 6, 7.

После завершения обработки текущей записи алгоритм переходит к обработке следующей (блок 8). Обработка осуществляется до тех пор, пока не будут проверены все записи (блок 9). Результаты выполнения данного алгоритма передаются в основной алгоритм, где полученный массив сохраняется и подвергается статистическому анализу.

Характер неисправности	Число отказов трансформатора_1	...	Число отказов трансформатора_i	Суммарное число отказов
Износ изоляции обмоток				
Пробой изоляции отводов				
Пробой внутренней изоляции высоковольтных вводов				
Повреждения РПН				
...				
Прочие причины				

Рис. 4. Представление данных для последующей статистической обработки

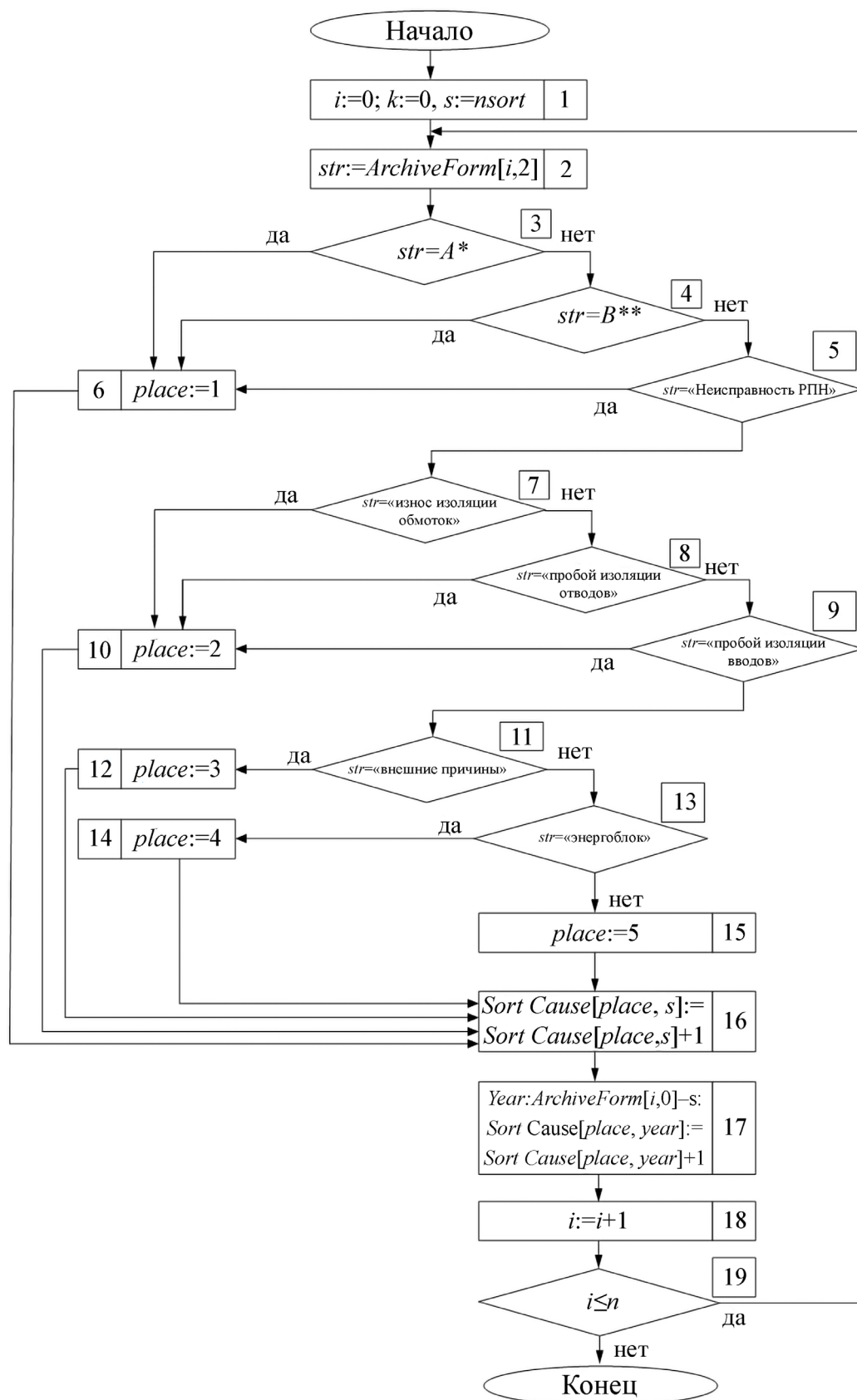


Рис. 5. Алгоритм обработки данных об отказах по месту возникновения

Алгоритм обработки данных по месту возникновения отказа

Для того чтобы оценить распределение количества отказов в зависимости от места их возникновения, рассчитать числовые характеристики полученного распределения и получить графическое представление собранных данных необходимо отсортированный массив обработать и представить в виде, показанном рис. 4. Для этого был разработан алгоритм обработки данных, представленный на рис. 5.

Для работы алгоритма необходимы входные данные:

ArchiveForm[*i*,0] — нулевой столбец массива с отсортированными данными, содержащий информацию о годах;

ArchiveForm[*i*,2] — столбец массива с отсортированными данными, содержащий информацию о причинах отказов;

n — общее число записей в массиве с отсортированными данными;

nsort — число лет.

В алгоритме приняты следующие обозначения:

i — номер текущей записи в массиве отсортированных данных об отказах;

place — индекс, обозначающий место возникновения отказа;

s — номер столбца, в который вносится сумма отказов в месте возникновения *place*;

year — год;

str — текущая причина отказов;

SortCause[*place*,*year*] и *Sort Cause*[*place*,*s*] — значения массива, содержащие количество отказов в году *year* и суммарное количество отказов в месте возникновения *place*.

В блоке 1 алгоритма задается начальное значение переменной *i*. В блоке 2 считывается текущая причина возникновения отказа трансформатора. В блоках 3–5 выполняется сравнение текущего значения причины отказа с возможными причинами отказов. Если хотя бы одно условие выполняется, то индексу *place*, обозначающему место возникновения отказа, присваивается значение «1» (блок 6). В противном случае проверка продолжается и в блоках 7–9 проверяется, не относится ли текущая причина отказа к пробному изоляции. Если условие выполняется, то индексу *place* прис-

ваивается значение «2» (блок 10). Если условия блоков 7–9 не выполняются, то в блоке 11 проверяется условие равенства текущей причины отказов значению «внешние причины». При выполнении этого условия индексу *place* присваивается значение «3» (блок 12). В противном случае алгоритм проверяет текущую причину отказов на соответствие значению «энергоблок» (блок 14), и индексу *place* присваивается значение «4» в случае равенства сравниваемых причин (блок 14) и значение «5» (прочие причины) в случае невыполнения условия (блок 15).

*A** = 'неисправность внешних соединений';

*B*** = 'неисправность системы вентиляции'.

После выполнения блоков 3–15 и определения места возникновения отказов суммарное количество отказов в данном месте возникновения увеличивается на единицу (блок 16). В блоке 17 выполняется поиск года, в котором произошел данный отказ, и количество отказов в данном году также увеличивается на один.

После завершения обработки текущей записи алгоритм переходит к обработке следующей (блок 18). Обработка осуществляется до тех пор, пока не будут проверены все записи (блок 19). Результаты выполнения данного алгоритма передаются в основной алгоритм, где полученный массив сохраняется и подвергается статистическому анализу.

Таким образом, разработанная и описанная в данной статье программа для ЭВМ позволяет осуществлять оптимизацию процесса сбора и обработки информации об отказах силовых трансформаторов и другого оборудования энергоблоков электростанций и подстанций, формировать архив отказов, выполнять статистическую обработку архивных данных и рассчитывать среднее время наработки на отказ, что позволяет проводить наиболее полный и достоверный анализ технического состояния силовых трансформаторов и делать прогноз по их дальнейшей эксплуатации [11].

Список источников

1. Блок В.М. Электрические сети и системы. М.: Высшая школа, 1986. 430 с.

2. Методические указания по диагностике силовых трансформаторов, автотрансформаторов, шунтирующих реакторов и их вводов. МУ 0634–2006. Москва, Федеральное агентство по атомной энергетике. 2006. 60 с.

3. Трубицин В.И. Теория надежности в вопросах эксплуатации и проектирования электрической части станций: учеб. пособие. М.: МЭИ, 1989. 64 с.

4. Руководство по эксплуатации прибора локализации частичных разрядов (акустическим методом) AR-700. Пермь, 2006. 49 с.

5. Карандаев А.С., Евдокимов С.А., Мостовой С.Е. и др. Внедрение систем диагностирования технического состояния высоковольтных силовых трансформаторов // Сталь. 2009. № 3. 94 с.

6. РД ЭО 0188-00. Методические рекомендации по диагностике электрических аппаратов, распределительных устройств электростанций и подстанций. Москва.

7. Алексеев Б.А. Новое в энергетике: трансформаторы // Энергетика за рубежом. 2005. № 6. С. 40–53.

8. Аксенов Ю.П. Мониторинг технического состояния высоковольтной изоляции электрооборудования энергетического назначения в эксплуатации и при ремонтах: учеб. пособие. М.: Научтехлитиздат, 2002. 338 с.

9. Киреева Э.А. Диагностика силовых трансформаторов // Электрооборудование: эксплуатация и ремонт. 2008. № 9. С. 59–65.

10. Хренников А.Ю., Гольдштейн В.Г., Назарычев А.Н. Диагностические модели для оценки технического состояния электрооборудования электростанций и подстанций // Промышленная энергетика. 2010. № 10. С. 17–20.

11. Правила устройства электроустановок. М.: Эксмо, 2023. 512 с.

References

1. Block V.M. Electric networks and systems. M.: Vyssh. shk., 1986. 430 p.

2. Methodical instructions for diagnostics of power transformers, autotransformers, shunt reactors and their types. MU 0634–2006. Moscow, 2006. 60 p.

3. Trubitsin V.I. Reliability theory in the issues of operation and design of the electrical part of stations: textbook. Moscow: MEI, 1989. 64 p.

4. Operation Manual of the partial discharge locator (acoustic method) AR-700. Perm, 2006. 49 p.

5. Karandaev A.S., Evdokimov S.A. Implementation of systems of diagnostics of technical condition of high-voltage power transformers // Steel, 2009. № 3. 94 p.

6. RD EO 0188-00. Methodical recommendations on diagnostics of electrical apparatuses, switchgears of power stations and substations. Moscow.

7. Alekseev B.A. New in power engineering: transformers // Energetics abroad. 2005. № 6. Pp. 40–53.

8. Aksenov Yu.P. Monitoring of technical condition of high-voltage insulation of electrical equipment of power engineering purpose in operation and during repairs. M.: Nauchtekhizdat, 2002. 338 p.

9. Kireeva E.A. Diagnostics of power transformers // Electrical equipment: operation and repair. 2008. № 9. Pp. 59–65.

10. Khrennikov A.Yu., Goldstein V.G., Nazarychev A.Yu. Diagnostic models for evaluating the technical condition of electrical equipment of power plants and substations // Industrial Energy. 2010. № 10. Pp. 17–20.

11. Rules for the construction of electrical installations. M.: EXMO, 2023. 512 p.