

## ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ПРОДАЖ НА РЫНКЕ ЭНДОПРОТЕЗИРОВАНИЯ СУСТАВОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДОВ АНАЛИЗА ДАННЫХ И МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ

И. В. Маланьина<sup>1</sup>, А. С. Похвалов<sup>2</sup>

<sup>1, 2</sup> Пензенский государственный университет, Пенза, Россия

<sup>1, 2</sup> ecifin@mail.ru

**Аннотация.** *Актуальность и цели.* Рассматривается проблема повышения эффективности прогнозирования продаж на рынке эндопротезирования крупных суставов человека, решение которой связано с необходимостью учета большого числа количественных и качественных параметров, зависящих от выбора отдельных типов искусственных суставов и технологий протезирования. Показаны условия, при которых традиционный подход к прогнозированию, основанный на простой экстраполяции и методе сценариев, не позволяет учесть особенности продукта и требования целевого рынка. *Материалы и методы.* Информационной базой выступили результаты научных и прикладных исследований специалистов в области прогнозирования рынков медицинских изделий, статистического анализа данных и машинного обучения. В работе показаны направления использования методов классификации и статистического обучения для прогнозирования объемов продаж искусственных суставов человека. *Результаты.* Рассмотрены условия применения древовидных моделей и логистической регрессии с позиции повышения точности прогнозирования на целевом рынке. Показана возможность применения данных моделей для решения обратных задач нахождения оптимального набора признаков классификации сегментов рынка и исследования конкуренции между продуктами с позиции процессов замещения или дополнения. *Выводы.* Результаты исследования позволят эффективнее решать прикладные задачи планирования создания новых продуктов и оценки потенциала увеличения продаж на рынке эндопротезирования. Они могут применяться для выбора оптимальных способов позиционирования и продвижения продукции на рынке.

**Ключевые слова:** прогнозирование продаж, рынок эндопротезирования, древовидные модели, логистическая регрессия

**Финансирование:** статья подготовлена при финансовой поддержке конкурса «Ректорские гранты» Пензенского государственного университета, договор № ХП-83/21 от 19 апреля 2021 г.

**Для цитирования:** Маланьина И. В., Похвалов А. С. Прогнозирование продаж на рынке эндопротезирования суставов с использованием методов анализа данных и машинного обучения // Модели, системы, сети в экономике, технике, природе и обществе. 2021. № 4. С. 41–51. doi:10.21685/2227-8486-2021-4-4

## SALES FORECASTING FOR THE MARKET OF JOINT ENDOPROTHETICS USING METHODS OF DATA ANALYSIS AND MACHINE LEARNING

I.V. Malanyina<sup>1</sup>, A.S. Pokhvalov<sup>2</sup>

<sup>1, 2</sup> Penza State University, Penza, Russia

<sup>1, 2</sup> ecifin@mail.ru

**Abstract.** *Background.* The problem of increasing the efficiency of forecasting sales in the market for endoprosthetics of large human joints is considered, the solution of which is associated with the need to take into account a large number of quantitative and qualitative parameters depending on the choice of individual types of artificial joints and prosthetics technologies. The conditions are shown under which the traditional approach to forecasting, based on simple extrapolation and the method of scenarios, does not allow taking into account the features of the product and the requirements of the target market. *Materials and methods.* The information base was the results of scientific and applied research of specialists in the field of forecasting the markets of medical devices, statistical data analysis and machine learning. The paper shows the directions of using the methods of classification and statistical training to predict the volume of sales of artificial human joints. *Results.* The conditions for the application of regression trees models and logistic regression from the standpoint of improving the forecasting accuracy in the target market are considered. The possibility of using these models for solving inverse problems of finding the optimal set of signs for classifying market segments and studying competition between products from the standpoint of substitution or addition processes is shown. *Conclusions.* The results of the study will make it possible to more effectively solve applied problems of planning the creation of new products and assessing the potential for increasing sales in the endoprosthetics market. They can be used to select the best ways to position and promote products on the market.

**Keywords:** sales forecasting, endoprosthetics market, tree models, logistic regression

**Acknowledgment:** the article was prepared with the financial support of the competition "Rector's grants" of Penza State University, contract № HP-83/21 dated April 19, 2021.

**For citation:** Malanyina I.V., Pokhvalov A.S. Sales forecasting for the market of joint endoprosthetics using methods of data analysis and machine learning. *Modeli, sistemy, seti v ekonomike, tekhnike, prirode i obshchestve* = *Models, systems, networks in economics, technology, nature and society*. 2021;(4):41–51. (In Russ.). doi:10.21685/2227-8486-2021-4-4

### Введение

Рынок эндопротезирования относится к рынку медицинских изделий. Его большая часть приходится на замену крупных суставов человека, к которым относятся тазобедренный и коленный суставы [1]. Годовое количество таких операций в мире превышает 2 млн единиц, а размер глобального рынка эндопротезирования только тазобедренного сустава в 2020 г. составил 6,57 млрд долл. Ожидается, что к 2028 г. размер рынка достигнет 9,91 млрд долл. со среднегодовым темпом роста около 5,3 % [2]. Российский рынок эндопротезов суставов в 2019 г. составил 7,7 млрд руб. (113,2 млн долл.), из них на импорт пришлось почти 96 % [3].

Общее число операций эндопротезирования в США составляет около 500 на 100 тыс. человек населения в год. В Европе эта цифра колеблется от 300 в Швейцарии и ФРГ, до 240 во Франции и 170 в Италии. В России она

составляет от 50 до 60 протезирований на 100 тыс. человек. При емкости рынка в 200–300 тыс. операций ежегодно, в России проводится лишь 100–120 тыс. операций в год, из них около 70 тыс. приходится на протезирование тазобедренного сустава [1, 4, 5].

С учетом размера и масштабов эндопротезирования важной практической задачей становится повышение точности получаемых прогнозов продаж. В прикладных исследованиях прогнозирование объема, емкости рынка и спроса на отдельные виды эндопротезирования чаще всего проводят путем простой экстраполяции прошлых тенденций, используя методы анализа временных рядов или регрессию. Например, для получения консервативного прогноза предлагается использовать линейную парную или множественную регрессию, а для моделирования более агрессивных сценариев – регрессию Пуассона, содержащую экспоненциальный тренд [6]. Для прогнозирования спроса на новые технологические решения в области эндопротезирования допускается применение кривых обучения [7].

Часть работ по прогнозированию основана на исследовании процессов распространения новой продукции с помощью моделей диффузии инноваций, которые приводят к логистической или S-образной кривой спроса с насыщением. С экономической точки зрения процесс диффузии означает принятие нового продукта или технологии и их распространение в некоторой группе потребителей посредством коммуникации. Распространение инновации пропорционально осведомленности потребителей о новом продукте. Имеется положительный опыт применения таких моделей при исследовании эффектов от внедрения IT-решений в системе здравоохранения и в фармакологии [8, 9].

Многие модели распространения инноваций могут быть переопределены в более широкий класс зависимостей спроса с насыщением, к которому относятся кривые роста [10]. Они включают экспоненциальные и логистические зависимости и так же используются для оценки траекторий технологического развития, проникновения на рынок новых продуктов, а также освоения технологий. При этом отмечается невысокая точность получаемых прогнозов в случае возможности появления прорывных технологий или возникновения шоков на рынке [11].

При этом увеличения точности оценок пытаются достигать за счет перекрестной сегментации рынка [2]:

- по процедуре (тотальное, частичное или ревизионное эндопротезирование);
- по материалу пары трения (металл-металл, металл-полиэтилен, керамика-металл, керамика-полиэтилен, керамика-керамика);
- по типу фиксации (цементное, бесцементное, гибридное);
- по конечному пользователю (госпитали и амбулаторные хирургические центры, ортопедические клиники и прочие);
- по географическому размещению или макрорегиону с разбивкой по крупнейшим сегментам.

Более сложной процедурой является сценарный подход, предполагающий последовательное уточнение прогнозной оценки рынка и продаж продукции за счет многошаговой процедуры [12]:

- определение границ и размера рынка;

- уточнение размера рынка с учетом специфических факторов: географии и демографии конкретного региона, целевых сегментов рынка по использованию, ключевой технологии, появления нового продукта и т.д.;
- собственно прогнозирование объема продаж ключевых игроков в рамках выделенного сценария.

Детализация оценки достигается за счет совмещения восходящей и нисходящей оценки. Нисходящая оценка предполагает идентификацию информации по выручке, рыночной доле и темпам роста продаж ключевых игроков, действующих на рынке. Восходящая оценка базируется на идентификации продуктов крупных и небольших предприятий, представленных на рынке. Далее эта оценка используется для прогноза выручки и доли отдельных сегментов. При этом принимают в расчет общее число пациентов, ожидаемые расходы на лечение, число поставленных диагнозов и другую релевантную информацию.

Большинство рассмотренных подходов характеризуются значительным агрегированием данных и не учитывают их скрытую структуру, связанную с многошаговым характером решений при эндопротезировании. Они также не учитывают взаимосвязь технологических факторов и потребительских свойств изделий при формировании спроса на продукцию конкретных производителей. Для того чтобы вскрыть эти взаимосвязи и повысить точность прогнозирования, предлагается использовать современные методы анализа данных, в частности древовидные методы классификации и регрессии.

### ***Материалы и методы***

Основная сложность прогнозирования продаж на рынке эндопротезирования связана с высокой степенью его дифференциации из-за большого числа факторов, влияющих на выбор конкретного продукта и используемой технологии. Действительно, причинами, приводящими к необходимости замены суставов человека, могут служить заболевания (на эту причину приходится около 90 % операций), травмы и врожденные патологии. При этом возможна полная (тотальная) или частичная замена сустава, предполагающая замену отдельных частей.

Для установки протеза важна технология крепления и используемые материалы пар трения. Крепление элементов протеза возможно на базе цементной, бесцементной и гибридной технологии. Пары трения образуются соприкасающимися поверхностями имплантов и могут выполняться в следующих сочетаниях: металл-полиэтилен, керамика-полиэтилен, металл-металл, керамика-керамика. Наиболее износостойкими являются последние два варианта, на которые приходится более 40 % операций среди всех пациентов и около 70 % пациентов до 55 лет.

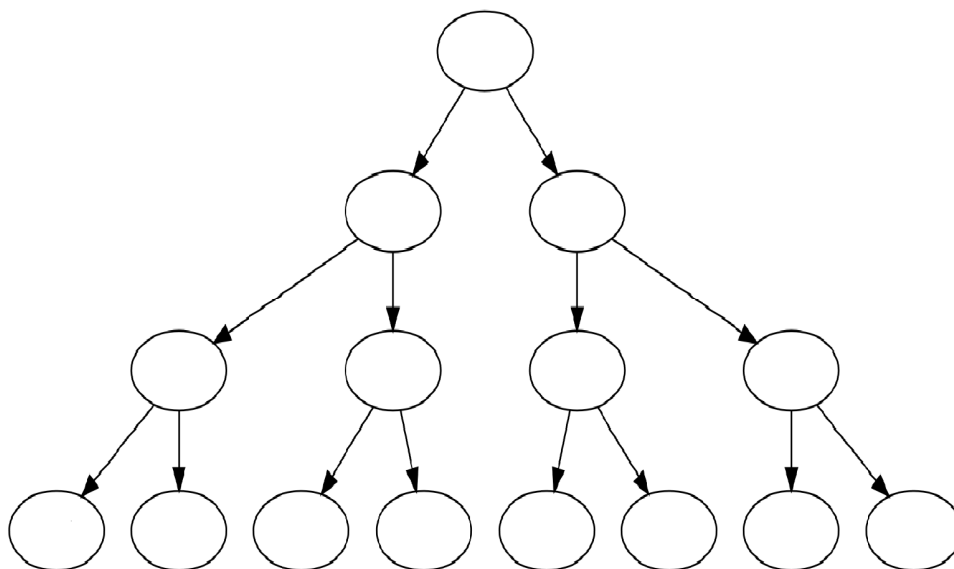
В то же время технология крепления зависит от возраста, веса и пола пациента, состояния костной ткани, предпочтений хирурга. Выбор технологии крепления предопределяет материал протеза, его покрытие и стоимость. Цементный способ характеризуется низкой стоимостью и возможностью установки при наличии сопутствующих заболеваний и слабости костной ткани. Однако в этом случае возможно использование только пары трения металл-полиэтилен. Бесцементный способ позволяет более свободно выбирать пару трения, обеспечивает более длительную эксплуатацию протеза, а также

снижает риски при выполнении операций по ревизии протеза. Такой способ также имеет недостатки – неравномерное распределение нагрузки и риски перелома в процессе операции.

При эндопротезировании возникают побочные эффекты, которые могут привести к необходимости ревизионного вмешательства по замене искусственного сустава. Это происходит из-за износа элементов протеза, инфекции, перелома протеза или расшатывания искусственного сустава.

В благоприятных условиях и при соблюдении рекомендаций по эксплуатации срок службы протеза оценивается от 10 до 20 лет. Порядка 65–70 % из них нормально эксплуатируются не менее 10 лет, а около половины могут эксплуатироваться 15–20 лет без ревизии. Согласно статистике, соотношение первичных и ревизионных операций в среднем составляет от 9 к 1 в России до 10 к 1 в развитых странах [1, 4]. Причем проведение ревизии и ее результаты (включая осложнения и выживаемость на горизонте 10 лет) зависят от возраста и состояния здоровья пациента. Чем больше возраст пациента, тем меньше, по естественным причинам, доля ревизии в соответствующей возрастной группе и выше доля осложнений [6].

Такие наборы данных, образованные конкретными случаями эндопротезирования, легко интерпретировать в виде деревьев решений, представляющих собой набор правил последовательного сегментирования (разбиения) данных [13]. Каждое дерево содержит узлы, в которых происходит разбиение (классификация) согласно некоторому правилу, и листья, которые представляют собой конечную точку в наборе правил – итог классификации или отнесения наблюдений к конкретному классу (рис. 1). Например, в качестве узла может выступать условие относительно возраста пациента (до 55 лет) или наличия сопутствующего заболевания (диабет). В качестве листа – выбор конкретного варианта эндопротезирования, например, тотальное бесцементное эндопротезирование с парой трения керамика-керамика.



Дерево решений разбивает множество всех наблюдений в выборке на отдельные относительно однородные сегменты, каждому из которых можно поставить в соответствие некоторую количественную оценку (например, константу).

Основными задачами при построении дерева решений являются:

- обоснование набора объясняющих переменных;
- выбор числа разбиений для каждой независимой переменной (глубины дерева), чтобы обеспечивалась максимальная однородность наблюдений в группе.

При выборе числа разбиений следует отдавать предпочтение тем шагам, при которых выделение нового сегмента существенно уменьшает разнородность данных. Для этого рекомендуется последовательно протестировать несколько вариантов разбиений для каждого дерева и выбрать наилучший.

Оценка однородности выделенных сегментов может проводиться на основе коэффициента разнородности Джини или показателя энтропии. В случае предсказания непрерывных зависимых переменных, как в исследуемой ситуации, однородность измеряется величиной квадратической ошибки.

В табл. 1 представлен перечень возможных независимых переменных для решения задач классификации и прогнозирования на основе модели деревьев решений.

Таблица 1

Независимые переменные по наборам данных об эндопротезировании

Наименование переменной	Значение	Тип переменной
1. Причина замены сустава	Заболевание, перелом, врожденные патологии	Качественный
2. Вариант эндопротезирования	Тотальное, частичное	Качественный
3. Технология крепления	Цементная, бесцементная, гибридная	Качественный
4. Материал пары трения	Металл–полиэтилен, керамика–полиэтилен, металл–металл, керамика–керамика	Качественный
5. Возраст	До 55 лет, после 55 лет	Количественный
6. Сопутствующие заболевания	По факту	Качественный
7. Состояние костной ткани	По факту	Качественный
8. Цена эндопротеза и стоимость сопутствующих материалов	По факту	Количественный

В процессе классификации множество данных разбивается на области в соответствии с выбранными значениями узлов (правил разделения). Пример выделения областей данных по результатам разбиения для двумерного пространства признаков (переменных) показан на рис. 2.

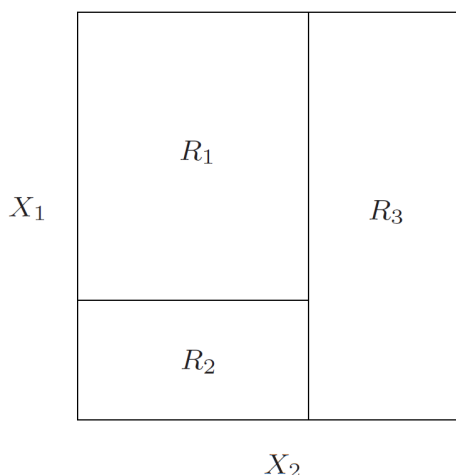


Рис. 2. Разбиение двумерного пространства признаков  $X_1$  и  $X_2$  на три области  $R_1$ ,  $R_2$  и  $R_3$ , соответствующих конечным узлам (листьям) дерева решений

Разбиение на рис. 2 можно интерпретировать следующим образом. Если переменная  $X_2$  находится ниже некоторого порогового значения, действие фактора  $X_1$  будет приводить к результатам  $R_1$  и  $R_2$  в заданной пропорции. В противном случае результат будет равен  $R_3$ .

Для прогнозирования непрерывных зависимых переменных построение дерева решений происходит в форме деревьев регрессий [14]. Последовательность шагов при построении дерева регрессий имеет вид:

- разбиение пространства переменных  $X_1, \dots, X_n$  на  $k$  непересекающихся областей  $R_1, \dots, R_k$ ;
- для любых наборов данных, отнесенных к некоторой области  $R_i$ , прогнозное значение находится в виде средней величины отклика по обучающей выборке;
- предпочтительно первоначально построить большое дерево решений и в дальнейшем провести обрезку его ветвей, что позволяет регулировать уровень квадратической ошибки.

На практике прогнозирование на базе деревьев решений обычно показывает лучшие результаты, если используются ансамбли моделей, т.е. наборы деревьев решений в виде случайных лесов или бэггинга, полученные в результате последовательного отбора и данных, и переменных [13, 15].

В качестве альтернативного инструмента прогнозирования объема и структуры продаж на рынке эндопротезирования можно принять еще одну модель машинного обучения – логистическую регрессию [16].

Бинарная логистическая регрессия может быть использована для оценки вероятности некоторого события в диапазоне от 0 до 1. Она позволяет спрогнозировать вероятность выбора конкретной технологии или производителя изделия на рынке эндопротезирования по набору исходных признаков. Для этого используется логит-преобразование, которое позволяет отобразить вероятность на расширенную шкалу, подходящую для линейного моделирования. Логит-преобразование имеет вид [16]

$$f(x) = (1 + \exp(-q))^{-1}, \quad (1)$$

где  $f(x)$  – логистическая функция, принимающая значение в диапазоне от 0 до 1;  $q$  – линейная функция предиктивных переменных, которая находится из соотношения:

$$q = g_0 + g_1x_1 + g_2x_2 + \dots + g_mx_m, \quad (2)$$

где  $g_0, g_1, \dots, g_m$  – параметры регрессионной модели;  $x_1, x_2, x_m$  – значения предиктивных переменных.

В качестве факторов модели для оценки вероятности выбора конкретной технологии могут быть приняты переменные из табл. 1.

Более общим вариантом является использование мультиномиальной логистической регрессии (модели с множественным откликом). В этом случае зависимая переменная не будет бинарной, а будет иметь больше двух категорий, отражающих различные варианты эндопротезирования. При использовании логистической регрессии прямое решение отсутствует, и подгонка модели осуществляется на базе метода максимального правдоподобия.

### **Результаты и обсуждение**

Реализация представленных моделей машинного обучения требует наличия минимального объема данных в виде выборки по реальным операциям эндопротезирования (количество операций за определенный срок, их пространственное распределение) и при наличии сведений по независимым переменным. В этом случае модели последовательно тестируются на двух наборах данных – обучающем и тестовом. Оба получены из исходного набора данных. Лучшая модель выбирается исходя из минимизации ошибки прогноза на тестовом наборе данных. С целью повышения точности прогнозных моделей проводят кросс-валидацию за счет разделения набора данных на несколько блоков для поочередной проверки [13, 15].

Сегодня подобное моделирование может быть выполнено с использованием готовых библиотек машинного обучения в рамках свободно распространяемых языков программирования R и Python. В качестве альтернативы может использоваться открытая платформа Microsoft Azure Machine Learning Studio, на базе которой можно протестировать различные варианты и конфигурации моделей и выбрать тот вариант, который обладает лучшим качеством подгонки.

В любом случае для моделирования с использованием методов машинного обучения применяются большие наборы данных. Сбор информации может осуществляться на базе медицинских информационных систем, аккумулирующих детальные данные о пациентах и выполненных операциях эндопротезирования, включая наименование производителя изделия и его технико-экономические характеристики. Такой подход становится стандартной практикой в большинстве стран и используется для построения систем предсказательной аналитики [17, 18].

### **Заключение**

Таким образом, применение методов анализа данных и машинного обучения дает возможность:

- повысить качество получаемых прогнозов;
- выявить наличие скрытой структуры данных, которая обычно теряется при отборе переменных и их агрегировании;



– за счет последовательного комбинирования прогнозов, полученных на основе разных методов, более эффективно структурировать в модели влияние специфических для рынка эндопротезирования факторов.

В свою очередь, это способно повысить эффективность решений о способах позиционирования и продвижения эндопротезов на рынке, обоснования ценовой и сбытовой политики на рынке эндопротезирования крупных суставов человека.

### *Список литературы*

1. Ferguson R. J., Palmer A. J., Taylor A. [et al.]. Hip replacement // Lancet. 2018. Vol. 392, № 10158. P. 1662–1671.
2. Hip Replacement Market Size, Share & COVID-19 Impact Analysis, by Procedure, by End User and Regional Forecast (2021 to 2028). URL: <https://www.fortunebusinessinsights.com/industry-reports/hip-replacement-implants-market-100247> (дата обращения: 10.04.2021).
3. Текущая ситуация на рынке эндопротезов суставов в России. URL: <https://drgroup.ru/press-relizy/2070-tekushchaya-situatsiya-na-rynke-endoprotezov-sustavov-v-rossii.html> (дата обращения: 18.04.2021).
4. Безуглова В. Эндопротезы возвращаются на родину // Эксперт. 2020. № 30. С. 34–35.
5. Белостоцкая С. Лист ожидания // Коммерсант, «Здравоохранение», Приложение № 88 от 24.05.2018. С.14.
6. Schwartz A. M., Farley K., Guild G. N., Bradbury T. L. Projections and Epidemiology of Revision Hip and Knee Arthroplasty in the United States to 2030 // The Journal of Arthroplasty. 2020. Vol. 35, № 6S. P. 79–85.
7. Robotics in Knee and Hip Arthroplasty: Current Concepts, Techniques and Emerging Uses / ed. Jess H. Lonner. Springer, 2019. 252 p.
8. Daim T. U., Behkami N., Basoglu N. [et al.]. Healthcare Technology Innovation Adoption. Springer, 2016. 257 p.
9. Reinhardt R., Hietschold N., Spyridonidis D. Adoption and Diffusion of Innovations in Health Care / Challenges and Opportunities in Health Care Management, ed. S. Gurtner, K. Soye. Springer, 2015. P. 211–221.
10. Park Y., Yoon B., Kim M.-S. On the Selection of Growth-Curve Models for Forecasting the Diffusion of IT Technologies // Journal of Scientific and Industrial Research. 2000. Vol. 59. P. 912–918.
11. Ko Y.-H., Hong S. P., Jun C. H. On Parameter Estimation of Growth Curves for Technological Forecasting by Using Non-linear Least Squares // Management Science and Financial Engineering. 2008. Vol. 14, № 2. P. 89–104.
12. Homer C., Bates L. Market sizing and forecasting in the medical device & diagnostic markets (MD&D). URL: [https://www.ipsos.com/sites/default/files/ct/publication/documents/2020-11/ipsos\\_paper\\_mdd\\_market\\_sizing\\_forecasting\\_november\\_2020.pdf](https://www.ipsos.com/sites/default/files/ct/publication/documents/2020-11/ipsos_paper_mdd_market_sizing_forecasting_november_2020.pdf) (дата обращения: 15.05.2021).
13. Hastie T., Tibshirani R., Friedman J. The Elements of Statistical Learning. Springer, 2009. 767 p.
14. Loh W.Y. Classification and regression trees // Data Mining and Knowledge Discovery. 2011. Vol. 1, № 1. P. 14–23.
15. Mohri M., Rostamizadeh A., Talwalkar A. Foundations of Machine Learning. MIT Press, 2018. 432 p.
16. Hilbe J. M. Logistic Regression Models. CRC Press, 2009. 656 p.
17. Sidey-Gibbons J. A. M., Sidey-Gibbons C. J. Machine learning in medicine: a practical introduction // BMC Medical Research Methodology. 2019. Vol. 19. P. 1–18.

18. Altmann-Richer L. Using Predictive Analytics to Improve Health Care Demand Forecasting. URL: <https://www.actuaries.org.uk/system/files/field/document/Using%20Predictive%20Analytics%20to%20Improve%20Health%20Care%20Demand%20Forecasting%202018.pdf> (дата обращения: 17.05.2021).

### References

1. Ferguson R.J., Palmer A.J., Taylor A. [et al.]. Hip replacement. *Lancet*. 2018; 392(10158):1662–1671.
2. *Hip Replacement Market Size, Share & COVID-19 Impact Analysis, by Procedure, by End User and Regional Forecast (2021 to 2028)*. Available at: <https://www.fortunebusinessinsights.com/industry-reports/hip-replacement-implants-market-100247> (accessed 10.04.2021).
3. *Tekushchaya situatsiya na rynke endoprotezov sustavov v Rossii = The current situation on the market of endoprotheses of joints in Russia*. (In Russ.). Available at: <https://drgroup.ru/press-relizy/2070-tekushchaya-situatsiya-na-rynke-endoprotezov-sustavov-v-rossii.html> (accessed 18.04.2021).
4. Bezuglova V. Endoprotheses are returning to their homeland. *Ekspert = Expert*. 2020;(30):34–35. (In Russ.)
5. Belostotskaya S. Waiting list. *Kommersant*, «Zdravookhranenie», *Prilozhenie № 88 ot 24.05.2018. S.14. = Kommersant, "Healthcare", Appendix No. 88 of 24.05.2018. p.14.* (In Russ.)
6. Schwartz A.M., Farley K., Guild G.N., Bradbury T.L. Projections and Epidemiology of Revision Hip and Knee Arthroplasty in the United States to 2030. *The Journal of Arthroplasty*. 2020;35(6S):79–85.
7. Lonner Jess H. (ed.). *Robotics in Knee and Hip Arthroplasty: Current Concepts, Techniques and Emerging Uses*. Springer, 2019:252.
8. Daim T.U., Behkami N., Basoglu N. [et al.]. *Healthcare Technology Innovation Adoption*. Springer, 2016:257.
9. Reinhardt R., Hietschold N., Spyridonidis D. *Adoption and Diffusion of Innovations in Health Care*. Challenges and Opportunities in Health Care Management, ed. S. Gurtner, K. Soye. Springer, 2015:211–221.
10. Park Y., Yoon B., Kim M.-S. On the Selection of Growth-Curve Models for Forecasting the Diffusion of IT Technologies. *Journal of Scientific and Industrial Research*. 2000;59:912–918.
11. Ko Y.-H., Hong S.P., Jun C.H. On Parameter Estimation of Growth Curves for Technological Forecasting by Using Non-linear Least Squares. *Management Science and Financial Engineering*. 2008;14(2):89–104.
12. Homer C., Bates L. *Market sizing and forecasting in the medical device & diagnostic markets (MD&D)*. Available at: [https://www.ipsos.com/sites/default/files/ct/publication/documents/2020-11/ipsos\\_paper\\_mdd\\_market\\_sizing\\_forecasting\\_november\\_2020.pdf](https://www.ipsos.com/sites/default/files/ct/publication/documents/2020-11/ipsos_paper_mdd_market_sizing_forecasting_november_2020.pdf) (accessed 15.05.2021).
13. Hastie T., Tibshirani R., Friedman J. *The Elements of Statistical Learning*. Springer, 2009:767.
14. Loh W.Y. Classification and regression trees. *Data Mining and Knowledge Discovery*. 2011;1(1):14–23.
15. Mohri M., Rostamizadeh A., Talwalkar A. *Foundations of Machine Learning*. MIT Press, 2018:432.
16. Hilbe J.M. *Logistic Regression Models*. CRC Press, 2009:656.
17. Sidey-Gibbons J.A.M., Sidey-Gibbons C.J. Machine learning in medicine: a practical introduction. *BMC Medical Research Methodology*. 2019;19:1–18.

18. Altmann-Richer L. *Using Predictive Analytics to Improve Health Care Demand Forecasting*. Available at: [https://www.actuaries.org.uk/system/files/field/document/Using %20Predictive %20Analytics %20to %20Improve %20Health %20Care %20Demand %20Forecasting %202018.pdf](https://www.actuaries.org.uk/system/files/field/document/Using%20Predictive%20Analytics%20to%20Improve%20Health%20Care%20Demand%20Forecasting%202018.pdf) (accessed 17.05.2021).

***Информация об авторах / Information about the authors***

**Ирина Вячеславовна Маланьина**

магистрант,  
Пензенский государственный университет  
(Россия, г. Пенза, ул. Красная, 40)  
E-mail: ecifin@mail.ru

**Irina V. Malanyina**

Master degree student,  
Penza State University  
(40 Krasnaya street, Penza, Russia)

**Андрей Сергеевич Похвалов**

кандидат экономических наук, доцент,  
доцент кафедры экономики и финансов,  
Пензенский государственный университет  
(Россия, г. Пенза, ул. Красная, 40)  
E-mail: ecifin@mail.ru

**Andrey S. Pokhvalov**

Candidate of economical sciences,  
associate professor,  
associate professor of the sub-department  
of economics and finance,  
Penza State University  
(40 Krasnaya street, Penza, Russia)

**Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов /**

**The authors declare no conflicts of interests.**

**Поступила в редакцию/Received 12.09.2021**

**Поступила после рецензирования/Revised 14.10.2021**

**Принята к публикации/Accepted 04.11.2021**