



ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА ХОЛЬТА-ВИНТЕРСА ДЛЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ГОСПИТАЛИЗАЦИИ ПАЦИЕНТОВ В ГОРОДАХ

В. А. Кляпко

Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения

Современная ситуация, вызванная коронавирусной инфекцией, вызывает необходимость использования моделей и методов прогнозирования для принятия решений в условиях быстроизменяющейся ситуации в крупных городах и населенных пунктах. Объектом исследования выбран город Санкт-Петербург, выполнен анализ ситуации госпитализации пациентов в данном городе. В ходе исследования собраны аналитические данные, выявлены районы города, где вероятнее всего будет наблюдаться сложно прогнозируемая ситуация с транспортировкой пациентов до медицинских организаций, а также рассматривается методология прогнозирования госпитализации пациентов средствами карет скорой медицинской помощи. При решении задачи прогнозирования ситуации используются методы прогнозирования в классе полиномиальных моделей и обосновывается эффективность использования метода Хольта-Винтерса.

Ключевые слова: прогнозирование, госпитализация, пациенты, медицинская помощь, кареты скорой помощи, методология прогнозирования, метод Хольта-Винтерса.

Для цитирования:

Кляпко В. А. Применение метода Хольта-Винтерса для прогнозирования госпитализации пациентов в городах // Системный анализ и логистика: журнал.: выпуск №4(30), ISSN 2077-5687. – СПб.: ГВАП. - 2021 – с. 22-32. РИНЦ. DOI: 10.31799/2077-5687-2021-4-22-32.

APPLICATION OF THE HOLT-WINTERS METHOD FOR FORECASTION HOSPITAL ADMISSIONS IN CITIES

V. A. Klyapko

St. Petersburg State University of Aerospace Instrumentation

The current situation of coronavirus infection necessitates the use of models and prediction methods for decision-making in a rapidly changing situation in large cities and towns. Due to the dynamics of the processes, it is necessary to use different models and forecasting methods for the development of the situation. The city of St. Petersburg is the object of study and an analysis of hospitalisation of patients is performed. St. Petersburg was chosen as the subject of the research. The presented research was carried out within the framework of the work "Mathematical modelling of logistic systems in medicine" during the performance of diploma projects on the assignment of St. Petersburg executive authorities in 2021. In the course of the study analytical data are collected, the city districts where the situation with transportation of patients to medical organizations is likely to be difficult to predict are identified, and the methodology of forecasting hospitalization of patients by ambulance cars is considered. In solving the problem of predicting the situation, forecasting methods in the class of polynomial models are used and the effectiveness of using the Holt-Winters method is justified.

Keywords: forecasting, hospitalization, patient, medical care, ambulances, forecasting methodology, Holt-Winters method.

For citation:

Klyapko V. A. Application of the Holt-Winters method for forecastion hospital admissions in cities // System analysis and logistics.: №4(30), ISSN 2077-5687. – Russia, Saint-Petersburg.: SUAI., 2021 – p. 22-32. DOI: 10.31799/2077-5687-2021-4-22-32.

Введение

В настоящее время известно, что оценка ключевых факторов в эпидемиологии, которые заключаются в выявлении закономерностей возникновения, распространения и прекращения различных заболеваний, участие в клинических исследованиях, а также прогнозирование сценариев течения эпидемий и пандемий, на сегодняшний день приобретает все большее значение для здравоохранения [1].

Ссылаясь на труды Е.Н. Шигана [2], можно выделить следующую классификацию прогнозов:

- по времени прогнозирования;
- по характеру их воздействия на объект прогнозирования;



- в зависимости от иерархического уровня изучаемой системы;
- по сложности объектов прогнозирования;
- в зависимости от цели; по способам представления результатов.

Если использование классических методов статистики не вызывает затруднений то, несколько сложнее дело обстоит с использованием статистического анализа при построении диагностических и прогностических моделей. Обычно при построении таких моделей используются многомерные методы. Простые математические модели, описывающие суть распространения эпидемии, могут быть использованы для подгонки данных с контролируемым числом параметров, а полученные значения можно использовать для составления обоснованных прогнозов [3,4].

На сегодняшний день сфера здравоохранения Санкт-Петербурга сталкивается с колоссальной нагрузкой, связанной с пандемией COVID-19 и обострением сопутствующих заболеваний, в том числе сезонных, хронических и прочих. Аналитические данные представлены на основных информационных порталах [5], [6].

На передний план, учитывая данные обстоятельства, ожидаемо выдвигается вопрос готовности медицинских организаций к различного рода изменениям количественного показателя госпитализации пациентов, особенно когда его значение увеличивается.

В подобных ситуациях учреждения здравоохранения должны быть готовыми к различному развитию событий ввиду того, что на кону стоят жизни людей.

Первоначальный этап реализации поставленной задачи заключается в анализе исходных данных. На первом рисунке изображена гистограмма численности граждан, прикрепленных к медицинским учреждениям [7]. Лидером по данному параметру является Приморский район. Районы Невский, Выборгский и Калининский имеют так же высокие показатели (рис. 1).

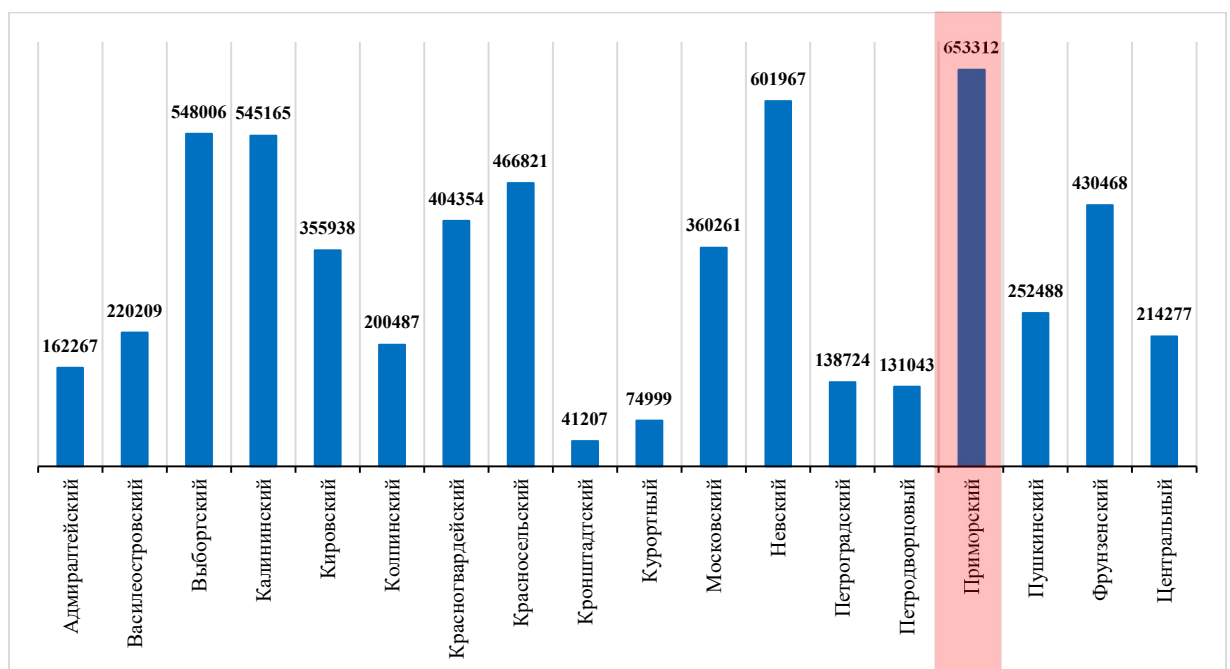


Рис.1. Гистограмма численности граждан, прикрепленных к медицинским учреждениям Санкт-Петербурга на 2021 год, чел.

На основе полученных данных на карту Санкт-Петербурга были нанесены все действующие стационары (рис. 2), определив месторасположение которых, можно заключить, что лидер по численности прикрепленного к медицинским учреждениям населения - Приморский район, практически не обладает стационарными учреждениями общих профилей.

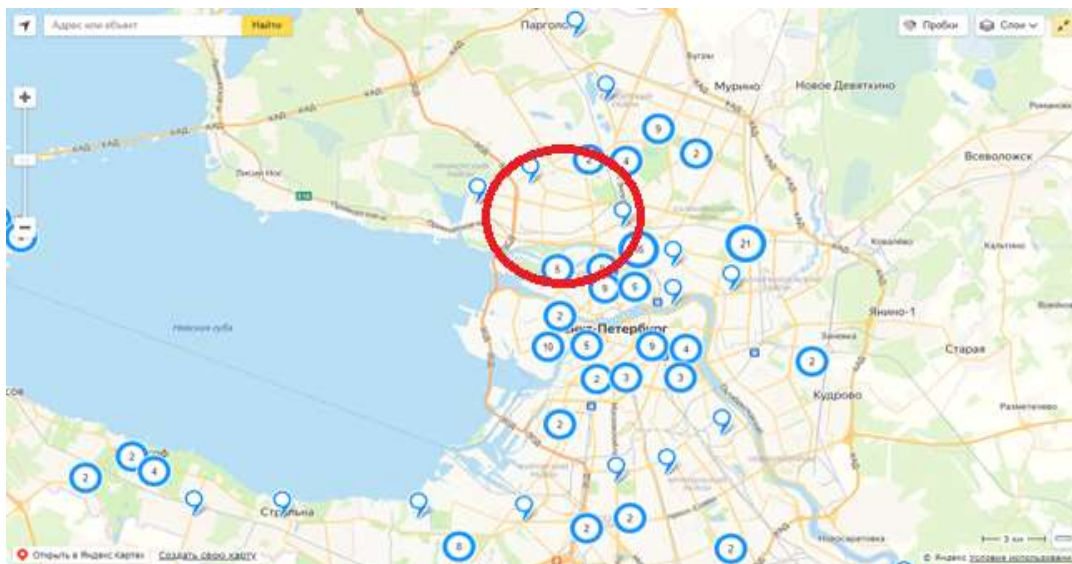


Рис. 2. Расположение стационаров на карте Санкт-Петербурга

Проводя анализ исследуемого параметра, можно предположить, что с высокой долей вероятности, Приморский район, практически не обладая учреждениями стационарного типа, имея при этом максимальную численность населения города относительно остальных районов, при максимальной нагрузке на подобные учреждения, перерастающей в нехватку коечного фонда, начнёт госпитализировать пациентов в ближайший район (Выборгский район), где сконцентрировано большое количество необходимых медицинских организаций. Обоснование выбора Выборгского района, опирается на соседствующее территориальное расположение, а также высокие показатели коечной мощности [7], что подтверждается графиком на рисунке 3.

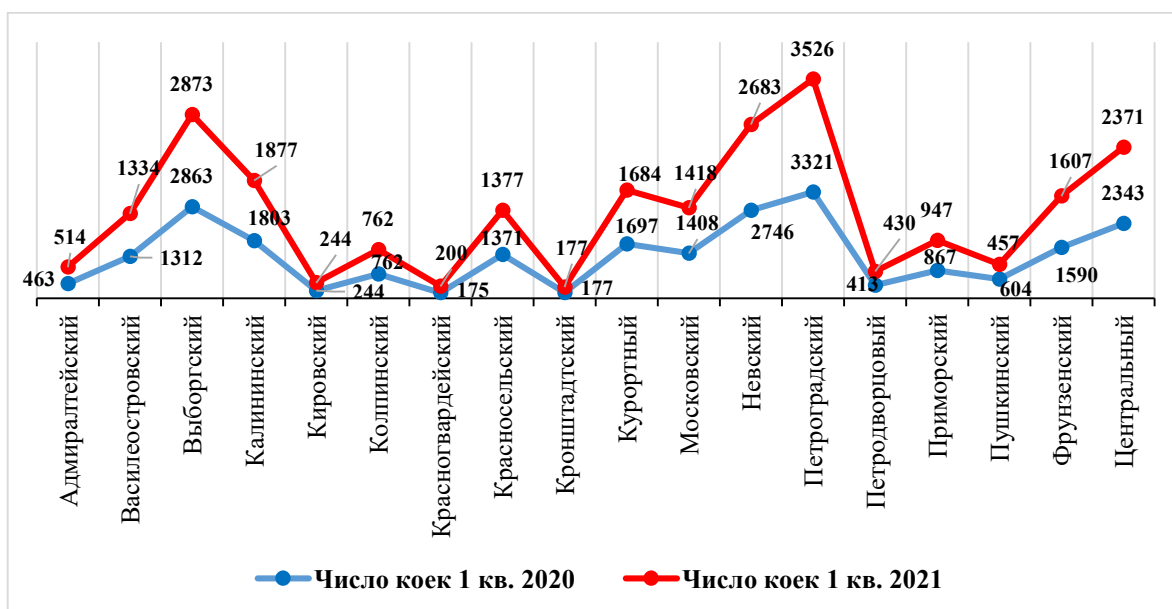


Рис. 3. График коечной мощности стационаров по районам Санкт-Петербурга за исследуемый период 1 квартала 2020 и 2021 годов, чел.

Подводя итог анализа исходных данных для исследования, можно заключить, что наиболее непредсказуемая ситуация с госпитализацией пациентов вероятнее всего будет наблюдаться в Приморском и Выборгском районах Санкт-Петербурга, поэтому именно



данные районы будут выбраны в качестве объекта исследования на следующих этапах.

Модели и методы

Одним из инструментов для осуществления контроля вероятного уровня госпитализации пациентов является прогнозирование. Прогнозирование – это процедура разработки сценария, включающая в себя ряд взаимосвязанных этапов, на каждом из которых реализуются определённого рода задачи, с помощью присущей только конкретному этапу совокупности методов и подходов. Практические примеры актуальности и востребованности решений приведены в работах [8,9,10]. Под прогнозом можно назвать вероятностную, научно – обоснованную точку зрения о перспективах, потенциальных состояниях некоторых явлений в будущем и/или о возможных путях и временных рамках их осуществления.

Сегодня можно говорить о необходимости внедрения интеллектуальных технологий в задачи прогнозирования [10].

Методология прогнозирования включает в себя следующие понятия:

1. Метод прогнозирования – способ исследования конкретного объекта, сосредоточенный на разработке прогноза.
2. Модель прогнозирования – это функциональное представление, адекватно описывающее изучаемый процесс, которое является основополагающим фактором для получения его значений в будущем (прогноза).
3. Методика прогнозирования – объединение одного или некоторого количества методов.
4. Система прогнозирования – организованная совокупность методик и средств реализации прогнозирования [11,12,13].

Методы прогнозирования для логистических систем в самом общем смысле классифицируют на интуитивные (имеющими дело с суждениями и оцениванием экспертов) и формализованные (имеющими дело с математическими моделями) методы.

В настоящей статье предпочтение отдаётся именно формализованным методам, ввиду их наибольшей актуальности применения в области здравоохранения.

Проанализировав существующие модели и методы прогнозирования, можно заключить, что в методическом плане ключевым способом какого угодно прогноза является схема экстраполяции, которая, в свою очередь подразделяется на формальную и прогнозную.

Формальная экстраполяция основывается на предположении о соблюдении в будущем времени прошедших и нынешних тенденций изменения объекта прогноза.

Прогнозная экстраполяция базируется на фактическом изменении и сочетается с гипотезами о динамике исследуемого процесса с учитыванием в перспективе его физической и логической сущности.

Фундаментом экстраполяционных методов прогнозирования является исследование временных рядов, которые представляют собой упорядоченные во времени наборы измерений каких-либо характеристик изучаемого объекта, либо процесса. Временной ряд, можно интерпретировать в следующем виде:

$$y_i = x_i + S + C + e_i \quad (1)$$

где y_i – детерминированная компонента процесса (иначе говоря – тренд);

S – сезонная составляющая;

C – циклическая составляющая;

e_i – стохастическая компонента процесса.

На основании изученных теоретических сведений можно заключить, что если тренд отражает нынешнюю динамику изменения процесса в целом, то стохастическая компонента характеризует случайные колебания или шумы процесса. Две эти составные части процесса определяются некоторым функциональным механизмом, отображающим их поведение во временном промежутке. Ключевая миссия прогноза формулируется в определении вида



экстраполирующих функций, сезонной и циклической составляющей и стохастической компоненте, основываясь на исходных эмпирических данных.

Начальной ступенью экстраполяции тренда интерпретируется выбор оптимального вида функции, который описывает эмпирический ряд. В связи с этим, осуществляются предварительные обработки и преобразования исходных данных, которые берут ориентир на облегчение выбора вида тренда методом сглаживания и выравнивания временного ряда, нахождение функций дифференциального роста, а также формального и логического анализа особенностей исследуемого процесса. Дальнейшим шагом будет являться расчёт параметров выбранной экстраполяционной функции.

В наибольшей степени распространённым методом оценки параметров зависимостей, является метод наименьших квадратов, а также его различные модификации.

Смысловое содержание метода наименьших квадратов интерпретируется в поиске параметров модели тренда, которые минимизируют её отклонение от точек исходного временного ряда. Математически, рассматриваемый метод можно представить в виде следующего выражения:

$$S = \sum_{i=1}^n (\hat{y}_i - y_i)^2 \rightarrow \min \quad (2)$$

где \hat{y}_i - расчётные значения исходного ряда;
 y_i – фактические значения исходного ряда;
 n – число наблюдений.

Модель тренда можно представить в виде следующего выражения:

$$\hat{y}_i = f(x_i; a_1, a_2, \dots, a_k, t) \quad (3)$$

где x_i – независимые переменные;
 a_1, a_2, \dots, a_k – параметры модели;
 t – время.

В проведенном исследовании в качестве модели тренда будут использованы следующие функции: линейная, экспоненциальная, степенная, логарифмическая, полиномиальная. Прогнозирование данными методами, даёт качественные результаты, но только на короткий промежуток времени.

Для того, чтобы сделать прогноз на более длительный период, в данной работе предлагается использовать метод Хольта-Винтерса, в котором фигурируют несколько параметрических моделей прогноза, а именно: сглаженный экспоненциальный ряд, тренд, сезонность.

Сглаженный экспоненциальный ряд описывается следующим выражением:

$$L_t = \frac{k \times Y_t}{S_{t-s}} + (1 - k) \times (L_{t-1} + T_{t-1}) \quad (4)$$

где L_t – сглаженная величина за текущий период
 k – коэффициент сглаживания ряда, который находится в диапазоне от 0 до 1;
 S_{t-s} – коэффициент сезонности предыдущего периода;
 Y_t – текущее значение ряда;
 L_{t-1} – сглаженная величина за предыдущий период;
 T_{t-1} – значение тренда за предыдущий период.

Значения тренда определяется следующим выражением:

$$T_t = b \times (L_t - L_{t-1}) + (1 - b) \times T_{t-1} \quad (5)$$

где T_t – значение тренда на текущий период;



b – коэффициент сглаживания тренда, который находится в диапазоне от 0 до 1.

Сезонность характеризуется выражением:

$$S_t = \frac{q \times Y_t}{L_t} + (1 - q) \times S_{t-s} \quad (6)$$

где S_t – коэффициент сезонности текущего периода;
 q – коэффициент сглаживания сезонности.

Прогнозные значения определяются выражением:

$$Y_{t+p} = (L_t + p \times T_t) \times S_{t-s+p} \quad (7)$$

где Y_{t+p} – прогнозные значения на p период вперед;
 p – порядковый номер периода, на который делается прогноз;
 S_{t-s+p} – коэффициент сезонности за аналогичный период, в последнем сезоне.

Прогнозирование полиномиальными методами и методом Хольта-Винтерса

Программная реализация прогнозирования, численного значения госпитализаций в Приморском и Выборгском районах Санкт-Петербурга до 2021 года, реализованная с использованием метода наименьших квадратов и экстраполяцией тренда, была осуществлена с помощью программного обеспечения Microsoft Excel, в частности, были использованы следующие математические функции [14]:

- линейная (рис. 4);
- экспоненциальная (рис. 5);
- степенная (рис. 6);
- логарифмическая (рис. 7);
- полиномиальная.

Полиномиальная функция представлена в виде нескольких степеней, данные итерации проиллюстрированы на рисунках 8 - 12.

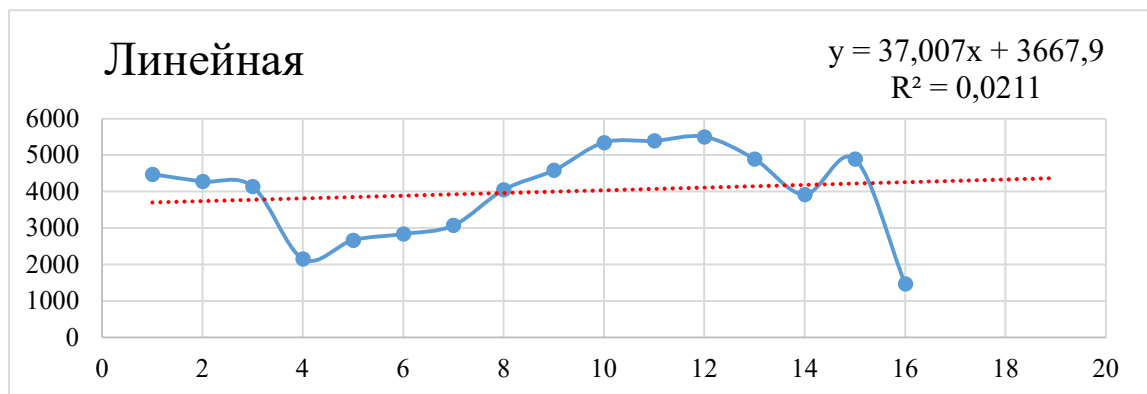


Рис. 4. Прогнозирование, представленное линейной функцией

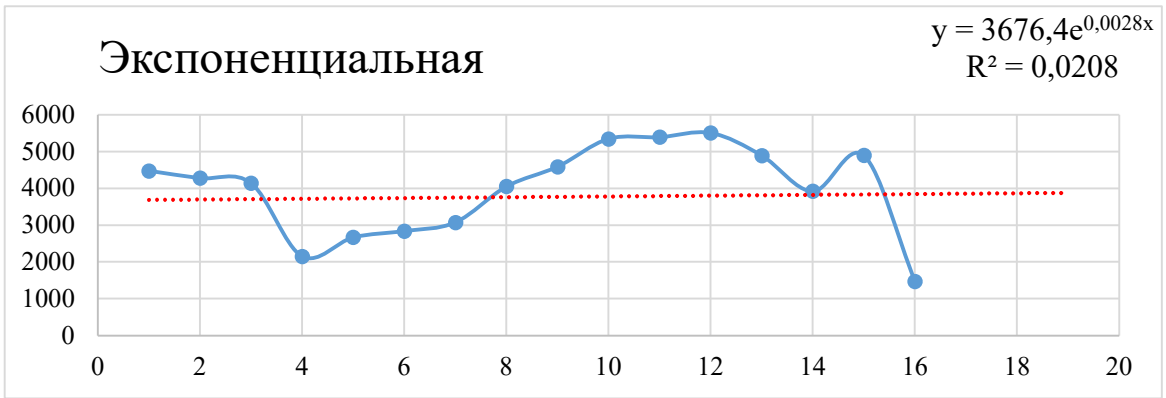


Рис. 5. Прогнозирование, представленное экспоненциальной функцией

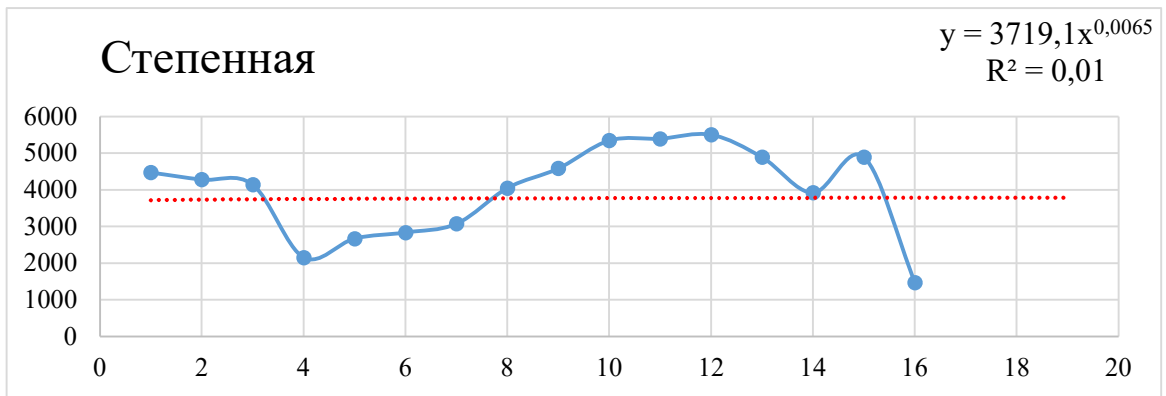


Рис. 6. Прогнозирование, представленное степенной функцией

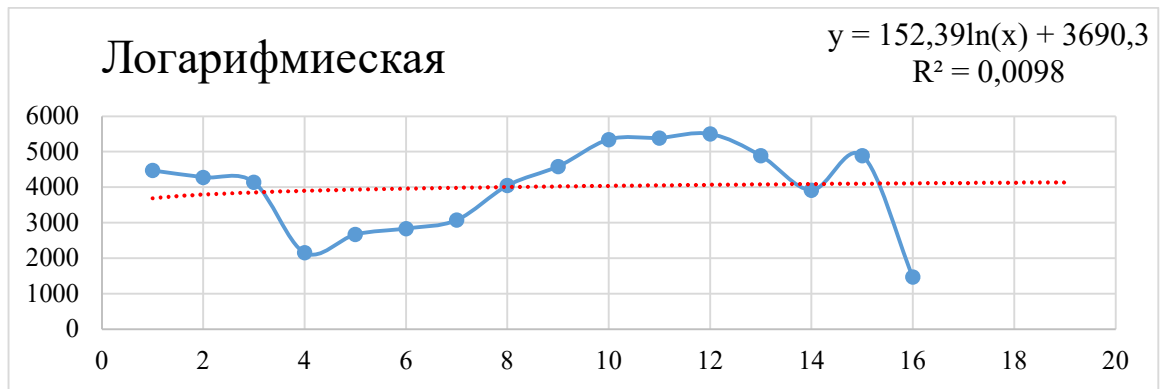


Рис. 7. Прогнозирование, представленное логарифмической функцией

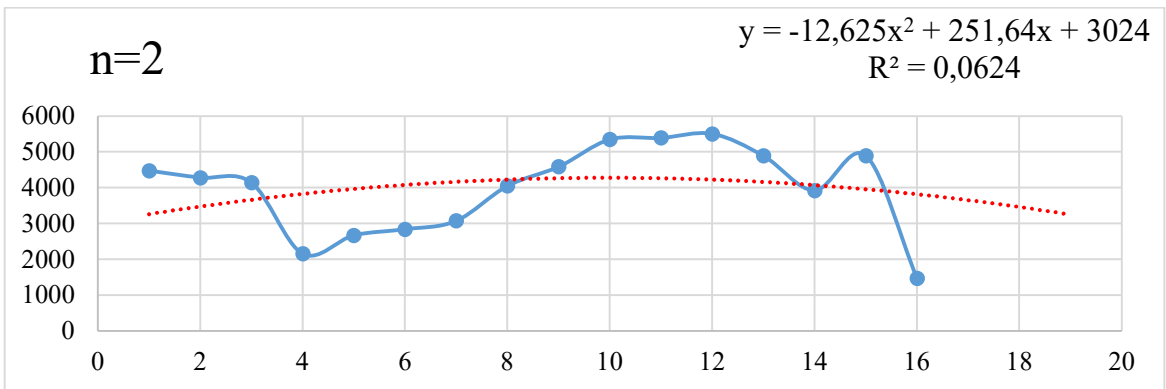


Рис. 8. Прогнозирование, представленное полиномиальной функцией (n = 2)

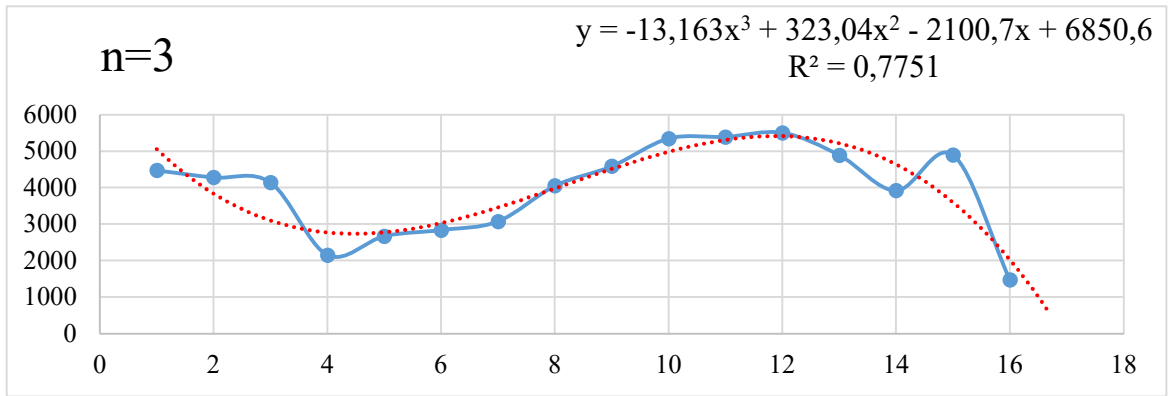


Рис. 9. Прогнозирование, представленное полиномиальной функцией ($n = 3$)

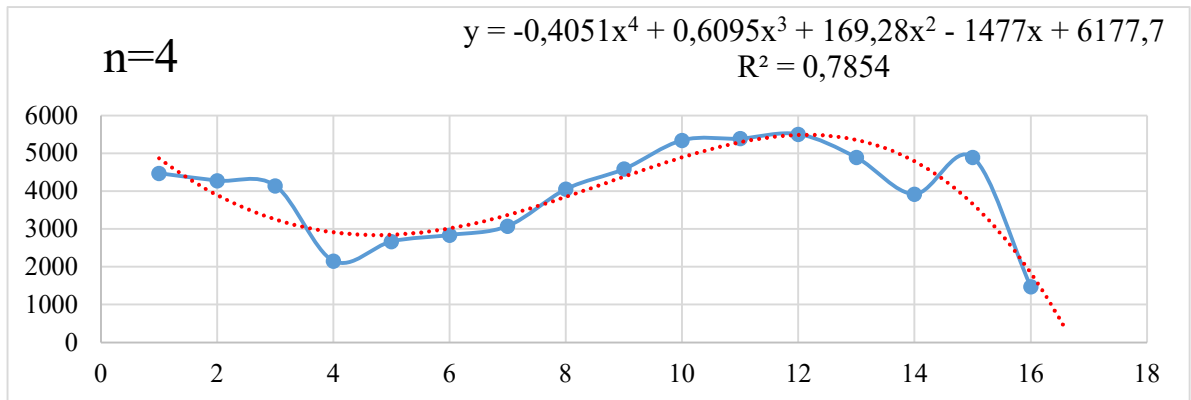


Рис.10. Прогнозирование, представленное полиномиальной функцией ($n = 4$)

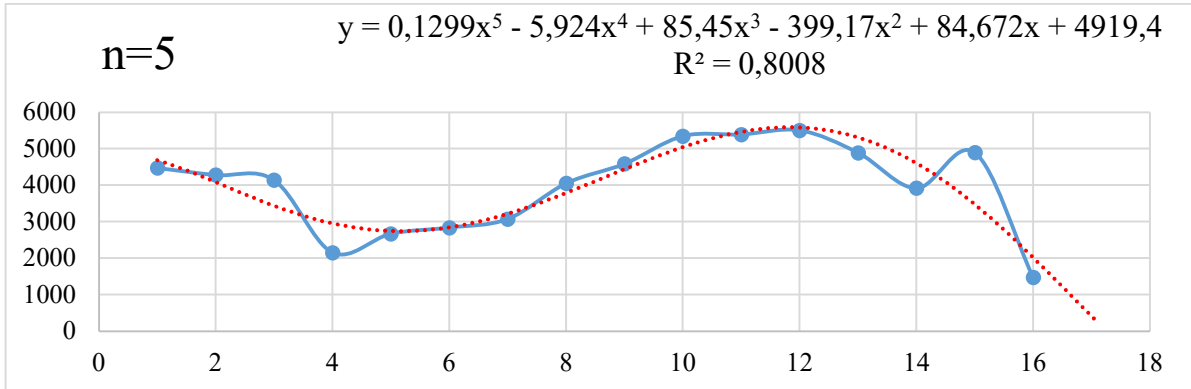


Рис.11. Прогнозирование, представленное полиномиальной функцией ($n = 5$)

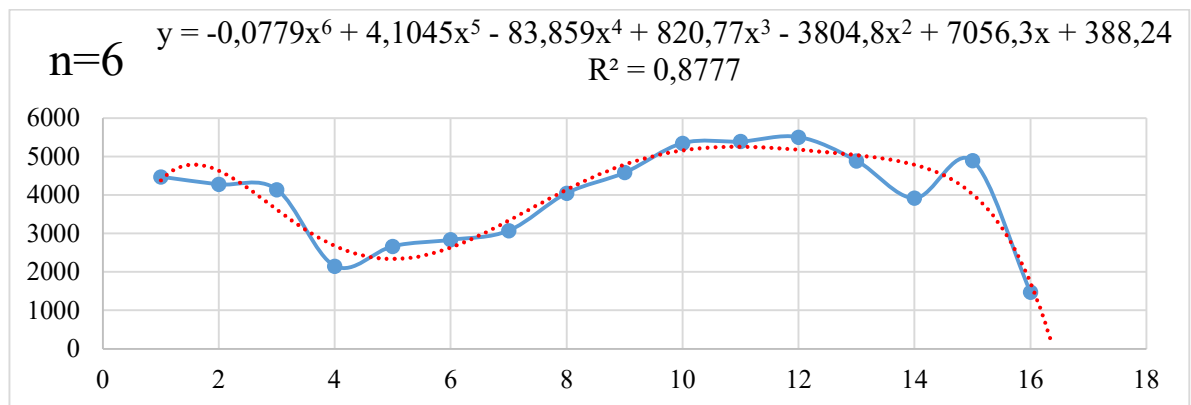


Рис. 12. Прогнозирование, представленное полиномиальной функцией ($n = 6$)



Прогнозирование, осуществляемое методом Хольта – Винтерса, представлено в виде комбинированного графика (рис. 13), реализованного в программной среде Microsoft Excel. Итоговые результаты прогнозирования, реализованного методом наименьших квадратов, представленном различными функциями, а также методом Хольта – Винтерса, сведены в таблицу 1. Данное сравнение, говорит о том, что наиболее близким к истине является прогнозирование, реализованное методом Хольта – Винтерса.

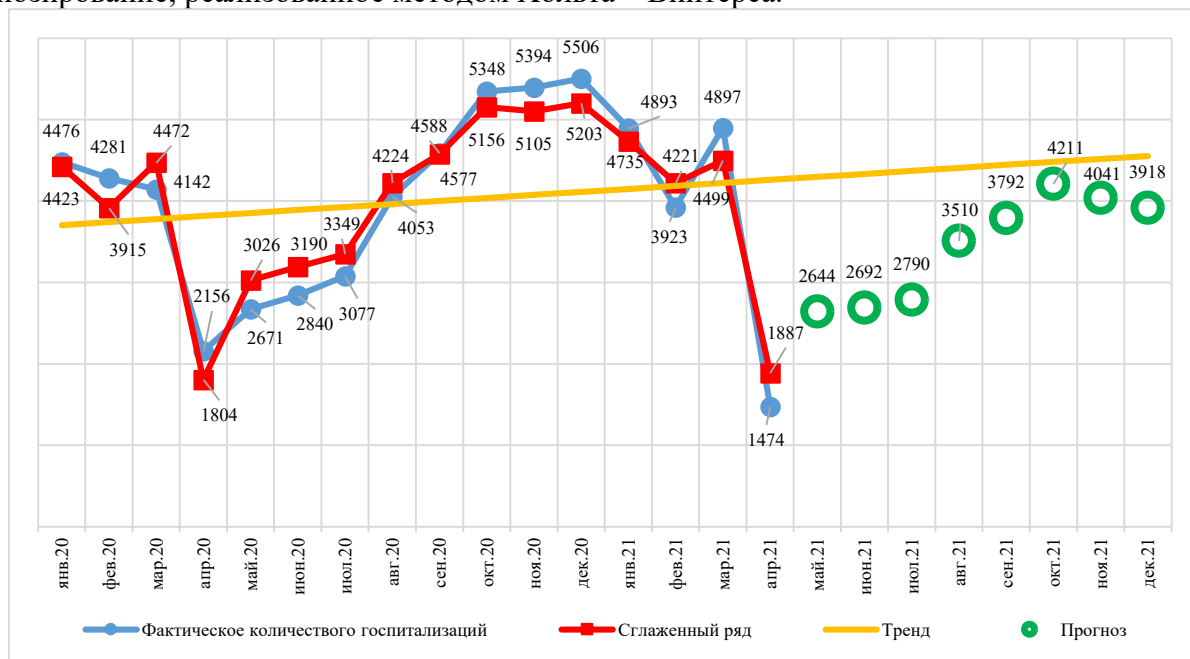


Рис. 13. Прогнозирование количества госпитализаций пациентов, осуществляемых каретами скорой медицинской помощи, прикрепленных к Приморскому и Выборгскому районам Санкт-Петербурга, выполненное методом Хольта – Винтерса

Таблица 1 - Общая таблица результатов прогнозирования госпитализаций до конца 2021 года, осуществляемых каретами скорой медицинской помощи, прикрепленных к Приморскому и Выборгскому районам Санкт-Петербурга

Дата	Линейная, чел.	Экспоненциальная, чел.	Степенная, чел.	Логарифмическая, чел.	Полиномиальная, чел.					Прогноз методом Хольта – Винтерса, чел.
					n = 2	n = 3	n = 4	n = 5	n = 6	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Май 2021	4297	3856	3788	4122	3653	173	10597	476	3300	2644
Июнь 2021	4334	3866	3790	4131	3463	3064	16366	966	15626	2692
Июль 2021	4371	3877	3791	4139	3248	6730	23613	1847	39728	2790
Август 2021	4408	3888	3792	4147	3007	11251	32542	1615	82886	3510
Сентябрь 2021	4445	3899	3793	4154	2741	16706	43367	435	155166	3792
Октябрь 2021	4482	3910	3795	4161	2450	23173	56313	5180	270023	4211
Ноябрь 2021	4519	3921	3796	4168	2133	30732	71616	13679	444960	4041
Декабрь 2021	4556	3932	3797	4175	1791	39460	89523	27194	702236	3918

Заключение

Прогнозирование в медицине является одним из важных инструментов для формирования оперативного принятия решений. Крайне важным является вопрос анализа результатов прогнозирования и точность полученных данных. Ввиду динамики изменения



процессов крайне важно использовать метод прогнозирования, который имеет наибольшую точность.

Выбор метода Хольта-Винтерса обоснован следующими положениями. Метод Хольта-Винтерса включает в себя три составляющих: основную тенденцию развития, сезонность и экспоненциально-сглаженный ряд. Благодаря тренду с включенным экспоненциальным сглаживанием, можно не только выявить направление развития ряда динамики, но и сгладить мелкие колебания в ряду динамики для поиска частных спадов и скачков. Сезонность позволяет построить прогноз на будущие периоды с учетом сезонности, что наглядно показывает построенный прогноз (рис. 13).

В представленной работе выполнен сбор данных по районам Санкт-Петербурга, на основании которого была проанализирована текущая ситуация госпитализации пациентов, выявлены районы города, где вероятнее всего будет наблюдаться сложно прогнозируемая ситуация с транспортировкой пациентов до медицинских организаций. Реализованное на практике прогнозирование количества госпитализаций, осуществляемых каретами скорой медицинской помощи, прикрепленных к Приморскому и Выборгскому районам города, позволяет использовать полученные результаты для оценки загруженности медицинских организаций и имеющего количества коечных мест на период с мая по декабрь 2021 года.

Итоговый результат позволяет строить прогнозы на ещё более длительные промежутки времени, поскольку он учитывает несколько факторов прогнозирования.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Маслаускене Т.П., Михалевич И.М., Басаева В.В.. Рациональность использования математического прогноза в практическом здравоохранении Сибирский медицинский журнал. 2009. № 7. – С. 162-164
2. Шиган Е.Н. Методы прогнозирования и моделирования в социально-гигиенических исследованиях. — М., 1986. — 207 с.
3. Perc M, Gorišek Miksic N, Slavinec M ' and Stožer A Forecasting COVID-19. *Front. Phys.* 8:127. (2020). doi: 10.3389/fphy.2020.00127
4. Wang Z, Bauch CT, Bhattacharyya S, d'Onofrio A, Manfredi P, Perc M, et al. Statistical physics of vaccination. *Phys Rep.* (2016) 664:1–113. doi: 10.1016/j.physrep.2016.10.006
5. Данные по распространению Covid -19 в мире — URL: <https://ncov.blog/> (дата обращения: 05.09.2021).
6. Статистические данные по распространению Covid-19 в России — URL: <https://yandex.ru/covid19/stat> (дата обращения: 06.09.2021)
7. Санкт-Петербургское государственное бюджетное учреждение здравоохранения «Медицинский информационно-аналитический центр» (СПб ГБУЗ МИАЦ) — URL: <https://spbmiac.ru/> (дата обращения: 03.09.2021)
8. Методы и модели социально-экономического прогнозирования: учебник и практикум для академической магистратуры. В 2-х т. Т. 1 Теория и методология прогнозирования И. С. Светуньков, С. Г. Светуньков. — М.: Издательство Юрайт, 2020 — 351 с. — Серия: Магистр. Академический курс.
9. Maiorov, N.N. Improvement of the quality of the sea passenger terminal based on methods of forecasting / N.N. Maiorov, V.A. Fetisov // *Naše more (Our Sea)*. – 2018. – Vol 65. No 3. – pp. 135–140. DOI 10.17818/NM/2018/3.1
10. Maiorov, N.N. Forecasting the operational activities of the sea passenger terminal using intelligent technologies / N.N. Maiorov, V.A. Fetisov, S. Krile // *Transport Problems*. – 2018. – Vol.13 (Issue 1). – pp. 27-36.
11. Майоров, Н.Н. Прогнозирование процессов морского пассажирского терминала в классе полиномиальных моделей / Н.Н. Майоров // *Вестник Астраханского*



государственного технического университета. Серия: Морская техника и технология. – 2018. – № 3. – С. 113–122. DOI: 10.24143/2073-1574-2018-3-113-122

12. Лукинский В.С. Модели и методы теории логистики: Учебное пособие. 2-е изд. / Под ред. В. С. Лукинского. — СПб.: Питер, 2018. — 448 с.

13. Тихонов Э. Е. Методы прогнозирования в условиях рынка: учебное пособие. - Невинномысск, 2016. – 221 с.

14. Фетисов В.А. Системный анализ/ Н. Н. Майоров, В. А. Фетисов, В. Е. Таратун, В. А. Романек - Санкт-Петербург: ГУАП, 2016. - 137 с.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ

Кляпко Владислав Андреевич

Магистр кафедры системного анализа и логистики

Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения

190000, Россия, Санкт-Петербург, ул. Большая Морская, д. 67, лит. А

E-mail: klyapko.rv@yandex.ru

INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

Klyapko Vladislav Andreevich

Master student of the Department of System Analysis and Logistics

Saint-Petersburg State University of Aerospace Instrumentation

SUAI, 67, Bolshaya Morskaya str., Saint-Petersburg, 190000, Russia

E-mail: klyapko.rv@yandex.ru