

# Моделирование домашнего телемониторинга состояния здоровья в системе здравоохранения

Гельман В. Я.<sup>1</sup>

*д.т.н., профессор, кафедра медицинской информатики и физики*

*1 – ФГБОУ ВО «Северо-Западный государственный медицинский университет им. И.И. Мечникова», г. Санкт-Петербург, Российская Федерация*

**Автор для корреспонденции:** Гельман Виктор Яковлевич; **e-mail:** Viktor.Gelman@szgmu.ru

**Финансирование.** Исследование не имело спонсорской поддержки.

**Конфликт интересов.** Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

В настоящее время домашний мониторинг здоровья пациентов с консультациями в отложенном режиме становится одним из основных методов телемедицины. Однако, недостаточность научных исследований препятствует широкому внедрению в практику здравоохранения домашнего мониторинга здоровья. В работе проведен анализ включения домашнего мониторинга здоровья пациентов, страдающих хроническими заболеваниями, функциональными расстройствами и иными состояниями, в существующую систему здравоохранения. Рассмотрен случай с консультациями врача в отложенном режиме. В результате математического моделирования мониторинга с учетом периодичности наблюдения, показано, что, чем надежнее домашний мониторинг выявляет критические состояния и меньше доля не выявляемых им состояний, тем реже требуется проводить стационарные наблюдения. Соответственно, при тех же затратах на диспансеризацию, можно существенно повысить качество диспансерных обследований. Предложены методы расчета периода между наблюдениями при заданной вероятности пропуска жизнеугрожающих состояний.

**Ключевые слова:** домашний мониторинг, телемониторинг, отложенный режим, математическое моделирование, вероятность критического состояния, период наблюдения

**doi:** 10.29234/2308-9113-2021-9-1-14-23

**Для цитирования:** Гельман В. Я. Моделирование домашнего телемониторинга состояния здоровья в системе здравоохранения. *Медицина* 2021; 9(1): 14-23.

## Введение

В настоящее время регулярно проводится периодическое наблюдение больных хроническими неинфекционными заболеваниями (ХНИЗ) и пациентов с высоким риском их развития. При этом периодический медицинский осмотр представляет собой комплекс медицинских вмешательств, направленных на выявление патологических состояний, заболеваний и факторов риска их развития [11].

Одним из основных способов проведения периодического наблюдения являются диспансеризация и диспансерное наблюдение, которые представляют собой мощные инструменты профилактики ХНИЗ [8]. Диспансеризация это комплекс мероприятий, включающий в себя профилактический медицинский осмотр и дополнительные методы

обследований, проводимых в целях оценки состояния здоровья (включая определение группы здоровья и группы диспансерного наблюдения) и осуществляемых в отношении определенных групп населения, страдающих хроническими заболеваниями, функциональными расстройствами и иными состояниями [11].

Диспансерное наблюдение проводится с определенной периодичностью. Целью диспансеризации является своевременное выявление, предупреждение осложнений, обострений заболеваний, иных состояний, их профилактика и осуществление медицинской реабилитации пациентов. [11].

Наличие медицинских показаний для проведения диспансерного наблюдения, периодичность диспансерных приемов (осмотров, консультаций), длительность диспансерного наблюдения, объем профилактических, диагностических, лечебных и реабилитационных мероприятий определяются медицинским работником в соответствии с приказом Министерства здравоохранения «Об утверждении порядка проведения диспансерного наблюдения за взрослыми» [8], с учетом стандартов медицинской помощи и клинических рекомендаций.

Исторически и эволюционно сформировалась определенная периодичность наблюдения для разных пациентов и разных ситуаций.

Диспансерное наблюдение устанавливается для граждан в возрасте от 18 до 39 лет включительно 1 раз в 3 года, 40 лет и старше – 1 раз в год, для хронических больных: от раза в год до 4-х раз в год в зависимости от вида заболевания. Однако существуют ситуации, требующие более частого контроля. Частота наблюдения определяется риском развития тяжелого состояния [8].

К сожалению, диспансеризация населения встречает определенные трудности [3]. Низкая степень охвата диспансерным наблюдением обусловлена рядом причин: загруженностью участковых терапевтов, низкой приверженностью населения к профилактическим осмотрам, иными подобными причинами.

Учитывая данные обстоятельства, необходима разработка механизма, позволяющего снизить нагрузку на участковых врачей и одновременно увеличить охват соответствующих контингентов пациентов диспансерным наблюдением. Одна из наиболее очевидных моделей – модель домашнего мониторинга (дистанционного наблюдения), которая позволяет проводить контроль состояния большого количества пациентов одновременно.

Предполагается, что дистанционное наблюдение пациентов потенциально способно снизить количество обращений по поводу обострений и осложнений заболеваний, количество вызов скорой и неотложной медицинской помощи, количество случаев и дней временной нетрудоспособности.

Домашняя телемедицина – это удаленное проведение лечебных и диагностических мероприятий пациентам, проходящим курс лечения в домашних условиях, и, соответственно, это сбор, обработка данных измерений функциональных показателей, проводимых самостоятельно пациентами, и организация доступа к этим данным для врачей и медицинских консультантов.

Домашний мониторинг состояния здоровья в последнее время получил широкое распространение. Все чаще используется регистрация различных показателей состояния здоровья в домашних условиях. Как правило, этим занимаются люди, активно следящие за своим здоровьем, и люди, страдающие хроническими заболеваниями. Измеряются и регистрируются частота сердечных сокращений, артериальное давление крови, температура тела, содержание сахара в крови и другие показатели. Часто информация параллельно передается на смартфон пациента. Соответствующие приборы широко распространены и свободно продаются в торговой сети, например, в аптеках.

Дистанционные системы домашнего мониторинга отличаются по способу его проведения. Существуют системы, функционирующие: а) в режиме реального времени (on-line) и б) в отложенном режиме (off-line).

В ходе развития телемедицины начали появляться специализированные мониторные системы реального времени, ориентированные на конкретные заболевания с передачей информации о состоянии больного в лечебно-профилактические учреждения и лечащему врачу, в частности, с применением автоматических или полуавтоматических механизмов обработки данных. Здесь уже становится возможным осуществлять лечение пациентов в режиме on-line. В реальном времени медицинские приборно-компьютерные системы осуществляют сбор и передачу данных о текущем состоянии пациента (информацию о температуре тела, артериальном и парциальном давлении, ЭКГ и функции дыхания) в лечебно-профилактическое учреждение для дальнейшей обработки специалистами. Это важно для больных, нуждающихся в регулярных и частых обследованиях. Технические вопросы здесь в целом решены. Однако, существуют проблемы в решении организационных вопросов.

Не совсем ясно, как совместить существующую систему здравоохранения с использованием домашних мониторных систем? Обычно этот вопрос остается в тени. Например, в режиме on-line предполагается, что информация передается лечащему врачу, на его смартфон или как-то иначе [10], и далее все вопросы лечения решаются сами собой. Основное внимание сосредоточено на организации линий связи и передаче информации. Все это, наряду со сложностью реализации, существенно осложняет внедрение систем дистанционного мониторинга в реальном времени.

В отложенном режиме анализ состояния и назначение лечения хронических больных и пациентов, заботящихся о здоровье, происходят при диспансеризации или очередном посещении лечащего врача. В режиме off-line домашняя телемедицина в настоящее

время используется достаточно широко: это и различные мониторы (например, Холтеровские), самостоятельная периодическая регистрация различных параметров (АД, ЧСС, сахар крови, температура и т.д.) с дальнейшей оценкой параметров врачом-специалистом.

Для консультаций в отложенном режиме измерение показателей здоровья и их регистрация осуществляется пациентом (или членом семьи) самостоятельно, с помощью соответствующего прибора, например, регулярное измерение температуры тела термометром с последующим сохранением результатов.

Системы домашнего мониторинга в реальном времени пока не являются широко распространенными. Их применение находится в стадии исследования. В то же время, можно сказать, что домашний мониторинг с консультациями в отложенном режиме становится одним из основных методов телемедицины.

Недостаточность научных исследований в этой области препятствует широкому внедрению в практику здравоохранения домашнего мониторинга здоровья [7,12]. В отечественной литературе были обнаружены лишь единичные публикации по данной тематике [1,3,5,6].

## Цель исследования

Целью настоящей работы является анализ включения домашнего мониторинга здоровья пациентов с консультациями в отложенном режиме в существующую систему здравоохранения, математическое моделирование мониторинга, в частности, учет периодичности наблюдения.

## Материалы и методы исследования

Методологической основой исследования являлись анализ научных публикаций, экспертная оценка и обобщенный практический опыт при выявлении основных тенденций и проблем, возникающих при внедрении домашних телемедицинских систем в процесс оказания медицинской помощи хроническим больным, а также математическое моделирование процессов наблюдения (лечения) хронических больных с использованием домашнего мониторинга.

## Результаты и их обсуждение

Ниже рассматривается ситуация домашнего мониторинга в режиме отложенного времени.

Общая схема выглядит следующим образом: осуществляются опорные тщательные медицинские обследования с большим периодом между ними и регулярные наблюдения по малому числу параметров постоянно (с высокой частотой дискретизации), что позволяет своевременно выявлять критические состояния для проведения более серьезного медицинского обследования.

Для постоянного наблюдения (домашнего мониторинга) выбираются наиболее значимые, репрезентативные параметры оценки состояния при хроническом заболевании. Например, при сахарном диабете – уровень глюкозы крови, при артериальной гипертензии – артериальное давление [2]. Это дает возможность выявления экстремальных состояний, раннего обнаружения угрозы их появления. Позволяет более гибко осуществлять назначения приема лекарственных препаратов.

При этом предполагается высокая вовлеченность пациентов в лечебно-профилактический процесс. Для этого пациент должен быть хорошо обучен и проинструктирован: о способах проведения домашнего мониторинга; об основных клинических проявлениях угрожающего состояния; о необходимости срочного вызова скорой помощи при их появлении; о простейших мероприятиях первой помощи, которые необходимо провести до прибытия бригады скорой помощи. Желательно, чтобы пациент был обеспечен необходимой памяткой по алгоритму действий при жизнеугрожающем состоянии, вероятность развития которого у пациента наиболее высокая (например, памятка для пациента «Неотложные меры самопомощи и взаимопомощи при развитии острых жизнеугрожающих заболеваний (состояний)» представлена в Приложении 2 к национальным рекомендациям «Профилактика хронических неинфекционных заболеваний» [9]).

Рассмотрим упрощенную математическую модель мониторинга состояния пациента.

Будем считать, что при периодическом (диспансерном) обследовании выявляются все возможные жизнеугрожающие состояния и осуществляется прогноз их наступления. При замерах показателей при домашнем мониторинге выявляются только некоторые, наиболее вероятные угрожающие состояния при данном хроническом заболевании.

Предполагаем равномерное распределение вероятности появления критического состояния у пациента при отсутствии наблюдения.

**Случай отсутствия домашнего мониторинга.** Рассмотрим случай системы наблюдения пациента без домашнего мониторинга.

При равномерном распределении вероятности появления критического состояния у пациента при отсутствии наблюдения, вероятность появления критического состояния  $p_{кр}$  за время  $t$  равна:

$$p_{кр}(t) = f t,$$

где  $f$  – плотность вероятности равномерного распределения вероятности появления критического состояния при отсутствии наблюдения.

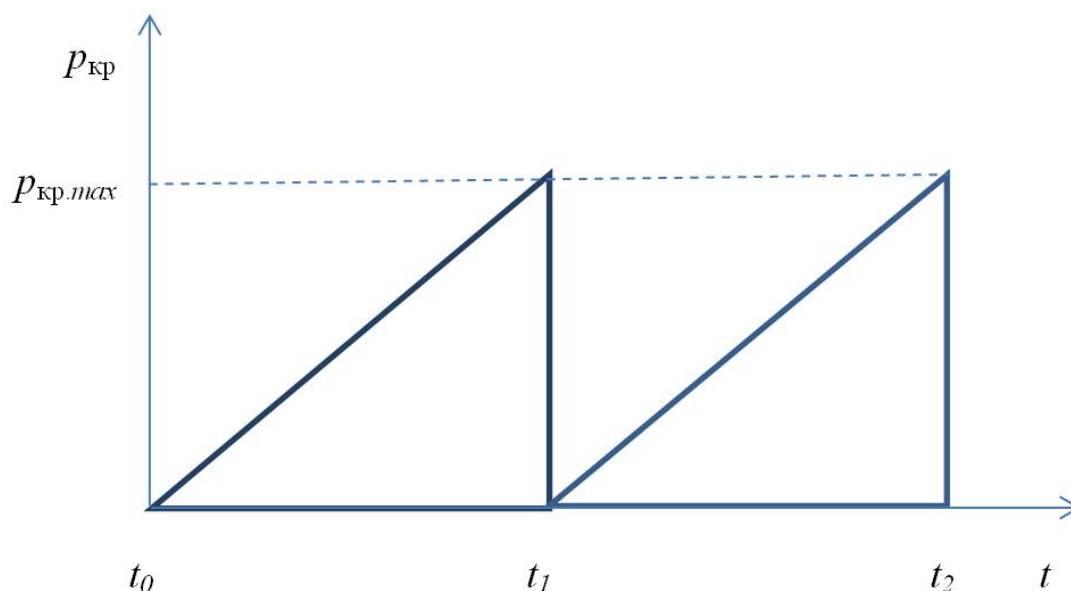
Максимальная вероятность появления критического состояния  $p_{кр.мах}$  за период между двумя осмотрами врача равна:

$$p_{кр.мах} = f T,$$

где  $T$  – продолжительность периода между осмотрами.

Тогда вероятность пропуска появления критического состояния между наблюдениями пациента с хроническим заболеванием при периодическом наблюдении (например, диспансерном) представлена на рис. 1. Можно видеть, что чем больше период между наблюдениями, тем эта вероятность выше.

*Рис. 1. Изменения вероятности пропуска критического состояния (при равномерном распределении вероятностей) между диспансерными обследованиями (моменты времени  $t_0$ ,  $t_1$  и  $t_2$ ) при отсутствии домашнего мониторинга.*



**Случай наличия домашнего мониторинга.** В случае наличия домашнего мониторинга, в промежутках между врачебными обследованиями осуществляется достаточно частый контроль наиболее важного показателя (показателей) состояния хронического больного,

позволяющий выявлять критические состояния и их приближение. Однако, регистрация одного или нескольких показателей не может обеспечить контроль всех возможных критических состояний. Поэтому существует вероятность пропуска критического состояния, не выявляемого домашним мониторингом  $p_{кр.невьяв}$ .

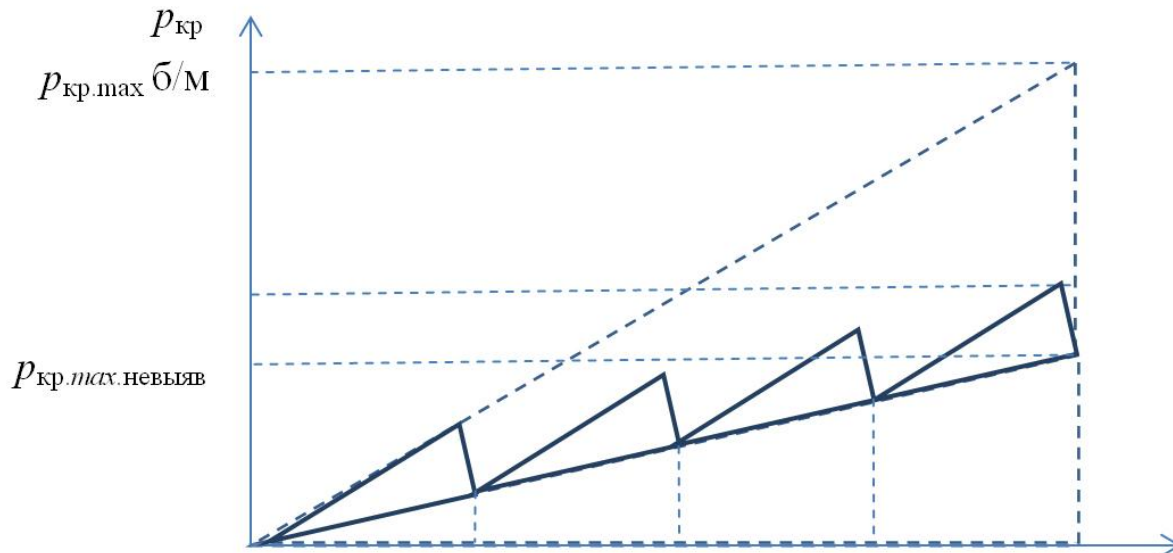
Соответственно, общая вероятность пропуска критического состояния ( $p_{кр}$ ) при домашнем мониторинге равна сумме

$$p_{кр} = p_{кр.мон} + p_{кр.невьяв},$$

где  $p_{кр.мон}$  – вероятность пропуска критического состояния, выявляемого домашним мониторингом, при отсутствии наблюдения;  $p_{кр.невьяв}$  – вероятность пропуска критического состояния, не выявляемого домашним мониторингом, при отсутствии наблюдения.

Тогда вероятность пропуска появления критического состояния между двумя стационарными наблюдениями пациента с хроническим заболеванием при домашнем мониторинге представлена на рис. 2.

*Рис. 2. Изменения вероятности пропуска критического состояния между диспансерными обследованиями (моменты времени  $t_0$  и  $t_1$ ) при домашнем мониторинге (моменты времени  $t_{м1}$ ,  $t_{м2}$  и  $t_{м3}$ ).  $p_{кр.мах б/м}$  – максимальное значение вероятности пропуска критического состояния, если бы домашнего мониторинга не было.*



При домашнем мониторинге возможно осуществлять достаточно частый контроль наиболее важного показателя (показателей), позволяющего выявлять критические состояния и их приближение. При малом периоде измерений максимальная вероятность пропуска критического состояния  $p_{кр.мон.мах}$  становится сравнительно небольшой.



Из рис. 2 можно видеть, что за счет домашнего мониторинга можно существенно увеличить период между стационарными наблюдениями у хронических больных. При одной и той же максимально допустимой вероятности пропуска критического состояния ( $p_{кр.мах}$ ) и достаточно высокой частоте измерений при домашнем мониторинге, когда максимальной вероятностью пропуска критического состояния ( $p_{кр.мон.мах}$ ) можно пренебречь, период между стационарными наблюдениями может быть увеличен в  $k$  раз

$$k = f / f_{\text{невыяв}} ,$$

где  $f$  – плотность вероятности пропуска критического состояния при отсутствии наблюдения,  $f_{\text{невыяв}}$  – плотность вероятности пропуска критического состояния, не выявляемого домашним мониторингом.

Таким образом, чем надежнее домашний мониторинг выявляет критические состояния и меньше доля не выявляемых им состояний, тем реже требуется проводить стационарные наблюдения. Соответственно, при тех же затратах на диспансеризацию, можно существенно повысить качество диспансерных обследований.

## Заключение

В работе проведен анализ включения домашнего мониторинга здоровья пациентов, страдающих хроническими заболеваниями, функциональными расстройствами и иными состояниями, в существующую систему здравоохранения. Рассмотрен случай с консультациями врача в отложенном режиме. В результате математического моделирования мониторинга с учетом периодичности наблюдения, показано, что, чем надежнее домашний мониторинг выявляет критические состояния и меньше доля не выявляемых им состояний, тем реже требуется проводить стационарные наблюдения. Соответственно, при тех же затратах на диспансеризацию, можно существенно повысить качество диспансерных обследований.

## Литература

1. Атьков О.Ю., Кудряшов Ю.Ю., Довголевский Я.П. Перспективы использования телемедицинских технологий в системе кардиологической реабилитации и вторичной профилактики. *Профилактическая медицина*. 2013; 6: 4-8.
2. Бойцов С.А., Комков Д.С., Вальденберг А.В., Ровкина Е.И., Шипачев К.В., Гришанова Т.Г. Диспансерное наблюдение больных хроническими неинфекционными заболеваниями. Методика проведения дистанционного диспансерного наблюдения. Методические рекомендации. М.: ГНИЦПМ. 2015. 21 с.
3. Гельман В.Я., Дохов М.А. Проблемы развития домашнего мониторинга состояния здоровья. *Медицина*. 2020; 2: 50-60.



4. Диспансерное наблюдение больных хроническими неинфекционными заболеваниями и пациентов с высоким риском их развития. Методические рекомендации. Под ред. С.А. Бойцова и А.Г. Чучалина. М.: 2014. 112 с.
5. Леванов В.М., Кирпичева И.С., Яшин А.А. Типичные ошибки при проведении телеконсультаций. *Медицинский альманах*. 2014; 1: 15-18.
6. Лямина Н.П., Котельникова Е.В. Внедрение телемедицинских технологий в реабилитационную практику современной системы здравоохранения. *Здравоохранение*. 2013; 8:106-114.
7. Осокина А.К., Щинова А.М., Потехина А.В., Филатова А.Ю., Ноева Е.А., Барабанова Е.А. и др. Телемедицина: история и перспективы развития. *Вестник всероссийского общества специалистов по медико-социальной экспертизе, реабилитации и реабилитационной индустрии*. 2019; 2: 111-120.
8. Приказ Министерства здравоохранения РФ от 29 марта 2019 г. № 173н "Об утверждении порядка проведения диспансерного наблюдения за взрослыми" [Электронный ресурс]. *Режим доступа*: <http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/0001201904260046> (дата обращения 12.02.2021).
9. Профилактика хронических неинфекционных заболеваний. М.: ГНИЦПМ, 2013. С. 123.
10. Садыкова Е.В., Юлдашев З.М. Система удаленного мониторинга состояния здоровья и оказания экстренной медицинской помощи пациентам с хроническими заболеваниями. *Биотехносфера*. 2017; 1: 2-7.
11. Федеральный закон от 21.11.2011 N 323-ФЗ (ред. от 22.12.2020) "Об основах охраны здоровья граждан в Российской Федерации" (с изм. и доп., вступ. в силу с 01.01.2021). *Режим доступа*: [http://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_121895/](http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_121895/) (дата обращения 12.02.2021).
12. Craig J., Patterson V. Introduction to the practice of telemedicine. *Journal of Telemedicine and telecare*. 2005; 11: 3-9.

## Modeling of Health Status Home Telemonitoring in the Healthcare System

**Gelman V. Ya.<sup>1</sup>**

*Doctor of Technical Sciences, Professor, Department for Medical Informatics and Physics*

*1 – North-West State Medical University named after I.I. Mechnikov, 191015, St. Petersburg, Russian Federation*

**Corresponding Author:** Gelman Viktor; **e-mail:** [Viktor.Gelman@szgmu.ru](mailto:Viktor.Gelman@szgmu.ru)

**Conflict of interest.** None declared.

**Funding.** The study had no sponsorship.

### Abstract

Currently, home monitoring of patients' health with delayed consultations is becoming one of the main methods of telemedicine. However, the lack of scientific research prevents the widespread introduction of home health monitoring into health care practice. The paper analyzes the inclusion of home health monitoring of patients suffering from chronic diseases, functional disorders and other conditions in the existing health care system. A case with a delayed doctor's consultation is considered. The mathematical modeling of monitoring was carried out considering the periodicity of observations. It is shown that the more reliable home monitoring detects critical conditions and the smaller the proportion of conditions not detected by it, the less often stationary observations are required. Accordingly, with the same expenses for clinical examination, the quality of examinations can be significantly improved. Methods for calculating the period between observations for a given probability of missing life-threatening conditions are proposed.

**Key words:** home monitoring, telemonitoring, delayed mode, mathematical modeling, probability of critical condition, observation period

## References

1. At'kov O.Yu., Kudryashov Yu.Yu., Dovgolevskiy Ya.P. Perspektivy ispol'zovaniya telemeditsinskih tekhnologiy v sisteme kardiologicheskoy reabilitatsii i vtorichnoy profilaktiki. [Prospects for the use of telemedicine technologies in the system of cardiological rehabilitation and secondary prevention]. *Profilakticheskaya meditsina [Prevention medicine]* 2013; 6: 4-8. (In Russ.)
2. Boytsov S.A., Komkov D.S., Valdenberg A.V., Rovkina E.I., Shipachev K.V., Grishanova T.G. Dispansernoe nablyudeniye bol'nyh hronicheskimi neinfektsionnymi zabolevaniyami. Metodika provedeniya distantsionnogo dispansernogo nablyudeniya. Metodicheskie rekomendatsii. [Dispensary observation of patients with chronic non-infectious diseases. Methodology for conducting remote dispensary observation. Guidelines]. Moscow: GNITSPM. 2015. (In Russ.)
4. Dispansernoe nablyudeniye bol'nyh hronicheskimi neinfektsionnymi zabolevaniyami i pacientov s vysokim riskom ih razvitiya. Metodicheskie rekomendatsii [Dispensary observation of patients with chronic non-communicable diseases and patients with a high risk of their development. Guidelines]. Ed. S.A. Boytsov and A.G. Chuchalin. Moscow: 2014. (In Russ.)
5. Levanov V.M., Kirpicheva I.S., Yashin A.A. Tipichnye oshibki pri provedenii telekonsul'tatsiy. [Typical errors during teleconsultations]. *Meditsinskiy al'manakh [Medical almanac]* 2014; 1: 15-18. (In Russ.)
6. Lyamina N.P., Kotel'nikova E.V. Vnedreniye telemeditsinskih tekhnologiy v reabilitatsionnyuyu praktiku sovremennoy sistemy zdravoohraneniya. [The introduction of telemedicine technologies in the rehabilitation practice of the modern healthcare system]. *Zdravookhraneniye [Healthcare]* 2013; 8: 106-114. (In Russ.)
7. Osokina A.K., Shchinova A.M., Potekhina A.V., Filatova A.Yu., Noeva E.A., Barabanova E.A. et al. Telemedicina: istoriya i perspektivy razvitiya [Telemedicine: history and development prospects]. *Vestnik vserossiyskogo obshchestva spetsialistov po mediko-sotsial'noy ekspertize, reabilitatsii i reabilitatsionnoy industrii [Bulletin of the All-Russian Society of Specialists in Medical and Social Expertise, Rehabilitation and Rehabilitation Industry]* 2019; 2: 111-120. (In Russ.)
8. Prikaz Ministerstva zdravoohraneniya RF ot 29 marta 2019 g. № 173n "Ob utverzhdenii poryadka provedeniya dispansernogo nablyudeniya za vzroslyimi". [Order of the Ministry of Health of the Russian Federation of March 29, 2019 No. 173n "On approval of the procedure for conducting dispensary observation of adults"]. Available at: <http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/0001201904260046> Accessed: 12.02.2021 (In Russ.)
9. Profilaktika hronicheskikh neinfektsionnykh zabolevanij. [Prevention of chronic non-communicable diseases]. Moscow: GNITSPM, 2013, p. 123. Available at: <http://www.gnicpm.ru/309/14177/550251> Accessed: 12.02.2021 (In Russ.)
10. Sadykova E.V., Yuldashev Z.M. Sistema udalennogo monitoringa sostoyaniya zdorov'ya i okazaniya ekstremnoj medicinskoj pomoshchi pacientam s hronicheskimi zabolevaniyami. [The system of remote monitoring of health status and emergency medical care for patients with chronic diseases]. *Biotekhnosfera [Biotechnosphere]* 2017; 1: 2-7. (In Russ.)
11. Federal'nyy zakon ot 21.11.2011 N 323-FZ (red. ot 22.12.2020) "Ob osnovah ohrany zdorov'ya grazhdan v Rossijskoj Federacii" (s izm. i dop., vstup. v silu s 01.01.2021). [Federal Law of November 21, 2011 N 323-FZ (as amended on December 22, 2020) "On the Fundamentals of Health Protection of Citizens in the Russian Federation" (as amended and supplemented, entered into force on 01.01.2021)]. Available at: [http://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_121895/](http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_121895/) Accessed: 12.02.2021 (In Russ.)
12. Craig J., Patterson V. Introduction to the practice of telemedicine. *Journal of Telemedicine and telecare*. 2005; 11: 3-9.