Volodymyr Mirnenko, Petro Yablonskyi, Mykola Butenko, Serhii Litvinko, Roman Hutvert (2019) Matematychna model' vyznachennya efektyvnosti dyspanseryzatsiyi viys'kovosluzhbovtziv [Mathematical model for determining the effectiveness of medical examination of military personnel]. *Social development & Security*. 9(5), 143 – 157.
DOI: <http://doi.org/10.33445/sds.2019.9.5.10>

Математична модель визначення ефективності диспансеризації військовослужбовців

Володимир Мірненко *, Петро Яблонський **, Микола Бутенко *,
Сергій Литвинко ****, Роман Гутверт *******

** Національний університет оборони України імені Івана Черняховського,
проспект Повітрофлотський 28, м. Київ, 03049, Україна,
e-mail: mirnenkovi@gmail.com,
д.т.н., професор, Заслужений працівник освіти України,
завідувач кафедри логістики Повітряних Сил.*

*** Національний університет оборони України імені Івана Черняховського,
проспект Повітрофлотський 28, м. Київ, 03049, Україна,
e-mail: teyka1943@gmail.com,
к.т.н., доцент,
професор кафедри логістики Повітряних Сил.*

**** Національний університет оборони України імені Івана Черняховського,
проспект Повітрофлотський 28, м. Київ, 03049, Україна,
e-mail: mirnenkovi@gmail.com,
старший науковий співробітник Центру воєнно-стратегічних досліджень.*

***** Національний військово-медичний клінічний центр
«Головний військовий клінічний госпіталь»,
вул. Госпітальна, 18, м. Київ, 01133, Україна,
e-mail: litvinkosergey@ukr.net,
начальник приймального відділення.*

****** Національний військово-медичний клінічний центр
«Головний військовий клінічний госпіталь»,
вул. Госпітальна, 18, м. Київ, 01133, Україна,
e-mail: romangutvert@gmail.com,
к.м.н.,
заступник начальника клініки урології.*

Article history:

Received: August, 2019

1st Revision: September, 2019

Accepted: October, 2019

Анотація: Стаття викликає цікавість у медичних фахівців, які провадять свою діяльність, як у системі Міністерства оборони України та Збройних Силах України, так і в інших органах державної влади, установах та організаціях будь-якої форми власності. Також, результати проведеного дослідження стануть у нагоді представникам медичної служби, як служби, що є безпосереднім учасником процесу оцінки

ефективності функціонування системи диспансеризації військовослужбовців. Встановлено місце і роль диспансеризації військовослужбовців у системі медичного обслуговування. Зазначене дало змогу виокремити зовнішні та внутрішні фактори у розрізі проблематики даної

статті. Внутрішні та зовнішні фактори було досліджено у контексті керованих та некерованих факторів. В роботі викладена математична модель медичного обслуговування військовослужбовців, які проходять диспансерні огляди, з застосуванням напівмарковського випадкового процесу. Запропонований кількісний критерій ефективності медичного обслуговування, який отримав назву коефіцієнт працездатності. Для встановлення залежності коефіцієнту працездатності від параметрів моделі використаний експоненціальний закон розподілу часу між захворюваннями. Такий закон можна вважати притаманним для військовослужбовців відносно молодого віку. Результати зазначеного дослідження є вихідною точкою для розв'язання наукового завдання щодо обґрунтування науково-методичного апарату оцінки ефективності диспансеризації системи медичного забезпечення військовослужбовців Міністерства оборони України та Збройних Силах України. В подальших дослідженнях буде показана залежність коефіцієнту працездатності від параметрів моделі, а також вартість перебування військовослужбовця у здоровому стані.

Ключові слова: коефіцієнт працездатності, функція розподілу часу між захворюваннями, період часу між проведеннями диспансерного огляду, напівмарковський випадковий процес.

1. Постановка проблеми

1.1. Новизна дослідження.

Кінцевою метою диспансеризації військовослужбовців Збройних Сил України є досягнення високого рівня стану їх здоров'я. У сучасній медичній літературі відсутній комплексний показник стану здоров'я військовослужбовців. В зв'язку з цим пропонується підхід, сутність якого полягає у тім, що військовослужбовці представляють специфічну категорію населення, яка повинна мати досить високий рівень здоров'я, а значить і високий рівень працездатності. Що стосується рівня працездатності, то далі буде запропонований можливий підхід до його кількісного визначення.

1.2. Аналіз останніх досліджень та публікацій

Диспансерна система медичного обслуговування військовослужбовців багатьма дослідниками відноситься до складних і комплексних. Відомо, що дослідження складних систем найбільш успішно проводиться методами системотехніки. Однак такі методи ще не нашли широкого застосування при вирішенні питань організації диспансеризації. Але саме системний підхід, за думкою багатьох дослідників, є методологічною основою для вирішення проблеми управління як охорони здоров'я взагалі, так і диспансеризації зокрема. Аналіз наявних у цій галузі робіт показав, що найбільш перспективним для цього є застосування методів математичного моделювання. Для успішного використання системного підходу під час вирішення задач диспансеризації необхідно мати критерій, котрий би відображав кінцеву мету диспансерної роботи – збереження працездатності і здоров'я військовослужбовців. В роботі [1] запропонована математична модель медичного обслуговування військовослужбовців із застосуванням напівмарковського випадкового процесу при умові, що військовослужбовці самостійно за медичною допомогою не звертаються. Таке припущення є досить сильним, але можливим Тому необхідно розглянути більш досконалу математичну модель медичного обслуговування, яка б

враховувала звертання військовослужбовця за медичною допомогою у разі захворювання.

В роботі [2] показано застосування експоненціального закону розподілу для математичної моделі медичного обслуговування військовослужбовців. Але у цій роботі не наведений алгоритм встановлення залежності коефіцієнта працездатності від параметрів моделі. Встановлення такої залежності заплановано показати у подальших наукових статтях.

В роботі [3] наведені основні міркування щодо побудови математичної моделі медичного обслуговування військовослужбовців.

1.3. Постановка завдання

Військовослужбовці відносяться до тієї категорії населення, яке проходить регулярні медичні обстеження з метою визначення стану їх здоров'я, своєчасного виявлення можливого захворювання для його подальшого лікування. У порівнянні з рештою населення держави військовослужбовці мають досить високий рівень здоров'я. Ця обставина є визначальною для побудови математичної моделі їх медичного обслуговування [].

Мета статті. Розробка математичної моделі медичного обслуговування військовослужбовців із застосуванням напівмарковського випадкового процесу при умові, що військовослужбовці у разі захворювання звертаються за медичною допомогою.

Об'єктом дослідження є ефективність диспансеризації військово-службовців, як складової системи медичного обслуговування.

2. Виклад основного матеріалу

На кінцеву оцінку результатів диспансеризації впливає велика кількість випадкових чинників, тому такий критерій повинен бути узагальненим, комплексним, статистичним за своєю суттю, а саме таким, що показує рівень стану здоров'я військовослужбовців, а значить і ефективність диспансеризації, якість медичного обслуговування, рівень його організації, ступінь санітарної культури тощо. Зараз вже є приклади створення таких інтегральних показників, котрі застосовуються в охороні здоров'я для вирішення різних задач. Зазвичай, такі критерії створюються із застосуванням теорії ймовірностей та математичної статистики. Такі критерії необхідні як інструмент для збільшення ефективності управління охороною здоров'я. Роботи над створенням таких критеріїв ведуться у багатьох країнах світу. На сучасному етапі для оцінки ефективності диспансерної роботи такі узагальнені показники та критерії відсутні.

Враховуючи наведені вище особливості диспансерної системи медичного обслуговування військовослужбовців, для її формалізованого моделювання враховані такі основні міркування:

медичне обслуговування здійснюється у вигляді обов'язкових диспансерних обстежень через певні проміжки часу поряд з можливістю

самостійного звертання захворілого за медичною допомогою в проміжках часу між диспансерними обстеженнями;

хворий в інтервалі між диспансерними обстеженнями не завжди звертається за медичною допомогою з різних причин;

існує певна кількість помилкових звертань за медичною допомогою осіб, яким вона не потрібна;

одним з основних чинників, що визначає об'єм як лікувальної, так і диспансерної роботи, є рівень захворювання військовослужбовців;

важливе значення для визначення періодичності диспансерних обстежень має середня величина інтервалу між захворюваннями;

реальний рівень якості медичної діагностики, а саме – своєчасність і точність діагностики в медико-санітарній частині, а також у госпіталі ;

часові затрати на відновлення працездатності військовослужбовця, а також затрати часу на обстеження при звертанні за медичною допомогою і під час проведення диспансерних оглядів;

більшість з наведених показників має випадковий характер.

Модель, що враховує вище наведені чинники, показана на мал.1.

Мал. 1. Формалізована модель медичного обслуговування військовослужбовців, де:

h_1 – пацієнт знаходиться у працездатному стані;

h_2 – пацієнт проходить диспансерний огляд через невинуватковий час T , при цьому він у проміжок часу між диспансерними обстеженнями не хворів і в момент його проведення знаходиться у працездатному стані;

h_3 – пацієнт проходить диспансерний огляд через невинуватковий час T , він хворий, але до проведення огляду за медичною допомогою не звертався;

h_4 – пацієнт знаходиться на лікуванні до повного відновлення працездатності;

h_5 – у випадкову мить τ на інтервалі $(0 \dots T)$ пацієнт захворів і своєчасно

звернувся за медичною допомогою;

h_6 – у випадкову мить τ_{Π} на інтервалі $(0 \dots T)$ здоровий пацієнт звернувся за медичною допомогою;

h_7 – хворий пацієнт помилково признаний здоровим.

На мал. 1 використані такі позначення:

T – період проведення диспансерних обстежень військовослужбовців;

t_B – час повного відновлення працездатності хворого пацієнта;

τ – випадковий час звертання хворого пацієнта за медичною допомогою;

τ_{Π} – випадковий час звертання здорового пацієнта за медичною допомогою;

t_{Π} – час обстеження пацієнта при диспансерному огляді;

t_p – час виконання профілактичних заходів;

t_{Π}^* – час обстеження захворілого пацієнта при звертанні в медико-санітарну частину;

θ – випадковий час проявлення хвороби пацієнта, що була пропущена під час огляду у медико-санітарній частині.

Мал. 2. Траєкторія процесу ідеальної системи медичного обслуговування військовослужбовців.

Мал. 3. Реалізація випадкового процесу, що притаманна реальній системі медичного обслуговування військовослужбовців.

На мал. 2 і 3 показані різні варіанти траєкторії випадкового процесу для моделі, що показана на мал. 1. По вертикальній осі на цих малюнках відкладені стани математичної моделі, а по горизонтальній – поточний час. Такі траєкторії складаються для довільного часу, тому випадкові реалізації можливих переходів можуть починатися з будь-якого стану. Будемо для визначеності вважати, що в початковий момент часу пацієнт знаходиться у працездатному стані, тобто у стані h_1 . На мал. 2 показано ідеальний варіант системи диспансерного обслуговування військовослужбовця, коли він здоровий протягом часу T , хибні звертання за медичною допомогою відсутні, стан здоров'я під час медичного огляду буде визначений правильно. При цьому вважається, що проводяться деякі профілактичні заходи з метою запобігання захворювань. Проведення таких заходів не є обов'язковим, і вони можуть бути усунені при бажанні. Далі процес багатократно повторюється. Принциповим є те, що переходи з певного стану до інших станів відбуваються у відповідності з матрицею переходів, тобто вони відбуваються випадково. При цьому, процес знаходиться у попередньому стані протягом часу, що показаний на мал. 2 і 3, перед тим, як він перейде до наступного стану. Так, наприклад, на мал. 2 показано, що з початку процес знаходиться протягом часу T у стані h_1 , і тільки після цього він миттєво переходить до стану h_2 .

Далі розглянемо докладно одну з можливих реалізацій випадкового процесу, що моделює процеси у реальній диспансерній системі медичного обслуговування.

Будемо вважати, що у початковий час пацієнт знаходиться у стані h_1 . Уявимо, що прийнято рішення проводити диспансерні обстеження через деякий не випадковий час T . При цьому через випадковий час τ , що знаходиться на інтервалі $0 - T$, пацієнт може самостійно звернутися за медичною допомогою до медико-санітарної частини. Протягом часу t_n^* може бути прийнято правильне рішення про необхідність його лікування і відбудеться перехід до стану h_4 . Стан h_4 моделює процес повного відновлення працездатності. Це є одним з припущень запропонованої моделі. В дійсності людина постійно старіє, але це у моделі до уваги не береться. Таке припущення дозволяє застосувати для дослідження апарат теорії напівмарковських випадкових процесів, який зараз є найбільш досконалим. Момент появи випадкового процесу у стані h_4 можна розглядати як точку, у якій відбувається регенерація випадкового процесу. Зі стану h_4 протягом часу t_b відбудеться перехід з ймовірністю одиниця до стану h_1 .

Далі може статися так, що пацієнт протягом часу T буде здоровий і за медичною допомогою не звертається до моменту проведення диспансерного огляду. Після цього впродовж часу t_n здійснюється перевірка медичного стану, а також здійснення протягом часу t_p профілактичних заходів. Відбудеться перехід зі стану h_2 до стану h_1 .

З метою залучення всіх станів моделі показано, що у випадкову мить τ_n пацієнт може самостійно звернутися за медичною допомогою зі скаргою на стан здоров'я. У ході обстеження може з'ясуватися, що скарга була помилковою. Такі випадки у медичній практиці мають місце. Причинами таких випадків може бути іатрогенія, а в деяких випадках може бути і симуляція. Наявність такої ситуації

описується у ряді робіт. У лікарів терапевтичних стаціонарів відмічається тенденція до гіпердіагностики окремих захворювань, а саме: хронічної пневмонії, захворювань крові, ішемічної хвороби серця, ревматизму тощо. В таких випадках лікар може правильно визначити стан здоров'я і відбудеться перехід $h_6 - h_1$. Можлива і така ситуація, коли пацієнт на інтервалі $0 - T$ захворів, але за медичною допомогою не звертався. Тоді пацієнт може з'явитися на диспансерний огляд при наявності хвороби. Лікарський персонал може правильно встановити діагноз протягом часу $t_{\text{п}}$ і відбудеться перехід до стану h , звідки через час $t_{\text{в}}$ відбудеться повне відновлення працездатності здійсниться перехід $h_4 - h_1$. Далі показано, що у мить τ пацієнт може захворіти і самостійно звернутися за медичною допомогою до медико-санітарної частини, тобто відбудеться перехід $h_1 - h_5$. Протягом часу $t_{\text{п}}^*$ він буде обстежений, йому може бути неправильно встановлено діагноз і відбудеться перехід $h_5 - h_7$. До стану h_7 можна потрапити зі станів h_3 і h_5 . У першому випадку його патологічний стан не був визначений під час проведення диспансерного огляду, а у другому випадку – він не був виявлений при самостійному зверненні за медичною допомогою. Існування цього стану пояснюється тим, що ймовірність правильної діагностики зараз не дорівнює одиниці. Значення такої ймовірності змінюється у широких межах в залежності від виду захворювання, стадії і варіантів її протікання, кваліфікації лікарів, наявності діагностичної апаратури тощо. Із стану h_7 можливі переходи до стану h_5 , або до стану h_3 . Перший з цих переходів відбувається у випадковий час θ , коли пацієнт самостійно звертається за медичною допомогою. Після його огляду може відбутися перехід до стану h_4 , звідки з великою ймовірністю може бути перехід до стану h_5 . Перехід зі стану h_7 до стану h_3 має місце, коли пацієнт через час T знову потрапить на диспансерний огляд. Таким чином траєкторія випадкового процесу може продовжуватися до певного часу.

На мал. 3 по осі t показано календарний час. Таким чином, пацієнт перебуває у працездатному стані лише тоді, коли він знаходиться у стані h_1 і частину часу на переході $h_1 - h_3$ до захворювання. Перебування у всіх інших станах не передбачає застосування військовослужбовця за призначенням, тому це означає втрату працездатності.

Нагадаємо, що перехід до стану h_4 може бути зі станів h_3 , h_5 та h_6 . Вище було зроблено припущення про повне відновлення працездатності пацієнта у разі потрапляння його до стану h_4 . Відновлення працездатності залежить від великої кількості чинників, а саме: від віку, нозологічної форми захворювання, від якості постановки діагнозу, від наявності та якості ліків тощо. Зрозуміло, що повне відновлення відбувається не у всіх пацієнтів. Але загалом у військовослужбовців відновлювальне лікування відбувається досить успішно. Тому зроблене вище припущення про повне відновлення можна вважати цілком прийнятним.

Викладена вище модель диспансерного обслуговування описується за допомогою напівмарковського випадкового процесу. Застосування напівмарковського випадкового процесу для такої моделі має певні переваги перед марковським випадковим процесом. Йдеться насамперед про те, що функція розподілу часу переходу $F_{ij}(t) = 1 - e^{-\lambda t}$ зі стану i до стану j є характерною саме для марковського процесу. Використання такої функції сильно обмежує можливість

моделювання реальних процесів, що відбуваються в системі медичного обслуговування. Наприклад, періодичність проведення диспансерних обстежень призначається в наказі і є не випадковою. В межах марковського випадкового процесу змоделювати це неможливо. Для напівмарковського випадкового процесу така функція є довільною, тобто може бути використана будь-яка функція. Це значно розширює можливості при моделюванні.

Модель, що показана на мал.1, будемо описувати напівмарковським випадковим процесом. Для застосування такого процесу необхідно знати початковий стан, в якому знаходиться пацієнт у мить t_0 , матрицю ймовірностей переходів зі стану e_i в стан e_j , де $i = \overline{1,7}$ та $j = \overline{1,7}$, а також матрицю функцій розподілу тривалості переходу з попереднього стану до наступного. Визначення матриці переходів буде показано у наступних статтях.

Розглянемо критерій ефективності диспансерної системи обслуговування військовослужбовців.

У відповідності з принципами системного аналізу після побудови формалізованої моделі наступним етапом дослідження є вибір критерію ефективності. В результаті дослідження обирається спосіб досягнення поставленої мети, тобто обирається стратегія. Критерій ефективності представляє собою спосіб порівняння різних стратегій досягнення мети. Іншими словами для однозначного визначення критерію ефективності необхідно чітко визначити мету. Без чіткого визначення мети складної системи введення критерію ефективності не має сенсу. Слід відзначити, що формалізація цільової функції є досить складною задачею. При вирішенні практичних задач організації диспансерної системи обслуговування військовослужбовців, зазвичай, обирається декілька критеріїв. При цьому один з критеріїв обирається у якості основного, а інші використовуються як допоміжні.

Основна мета проведення диспансерних обстежень – перевірити поточний стан здоров'я військовослужбовців, своєчасно виявити наявність хвороби, щоб її вилікувати.

У багатьох визначальних роботах по диспансеризації підкреслювалося, що стан працездатності основний медико-соціальний критерій. Це насамперед стосується військовослужбовців. Стан працездатності є показником ефективності всіх профілактичних заходів, що направлені на збереження здоров'я військовослужбовців. В узагальненому виді коефіцієнт працездатності може бути представлений у такому вигляді $K_{\text{пр}} = \frac{T_o}{T_o + T_n} [2]$

Тут T_o – середня тривалість перебування пацієнта у працездатному стані, а T_n – середня тривалість перебування пацієнта у непрацездатному стані.

З наведеного виразу видно, що такий показник вимірює кількісний стан працездатності. Він може бути розрахований як для одного диспансеризованого, так і для групи диспансеризованих. Визначення цього показника для окремого пацієнта показує, яку частину заданого інтервалу часу він знаходиться у працездатному стані. При наявних величинах інтервалів працездатного і непрацездатного станів коефіцієнт працездатності показує ймовірність

перебування його у працездатному стані. Такий показник може розраховуватися безпосередньо в кінці певного інтервалу спостерігання при умові чіткого фіксування всіх змін у стані працездатності військовослужбовців.

Наведемо приклад розрахунку такого показника як для одного пацієнта, так і для групи пацієнтів. Приклад 1. Необхідно визначити коефіцієнт працездатності для одного пацієнта, котрий протягом року був хворий 37 днів. Визначаємо тривалість працездатного періоду, а саме $365 \text{ днів} - 37 \text{ днів} = 328 \text{ днів}$. Далі визначаємо коефіцієнт працездатності за формулою $K_{np} = \frac{328}{365} = 0,89$.

Це означає, що 89% часу за звітний період пацієнт був у працездатному стані, або ймовірність його перебування у працездатному стані у будь-який час протягом року складає 0,89.

Приклад 2. Потрібно визначити коефіцієнт працездатності для групи військовослужбовців чисельністю 62 чоловіка, котрі за минулий рік у сумі хворіли протягом 735 днів. Спочатку визначимо загальну потенційну кількість днів для визначеної групи протягом року при умові, що всі вони були працездатними, а саме: $365 \text{ днів} \cdot 62 = 22630 \text{ днів}$. Далі підрахуємо тривалість працездатного періоду, а саме: $22630 \text{ днів} - 735 \text{ днів} = 21895 \text{ днів}$. Тепер можна визначити коефіцієнт працездатності $K_{np} = \frac{21895}{22630} = 0,97$.

Визначений таким чином коефіцієнт працездатності показує, що через хворобу для визначеної групи було втрачено 3% часу. Отриманий показник можна трактувати і таким чином. Кожний день в середньому близько 97 % військовослужбовців знаходяться у працездатному стані. В будь-який день звітного періоду в середньому 3% військовослужбовців будуть у непрацездатному стані.

Як видно з наведених прикладів, величини отриманих в розрахунку показників можна співставляти безпосередньо без перерахунку на 100 диспансеризованих, як це робиться при співставленні застосовуваних у теперішній час показників непрацездатності.

Запропонований кількісний критерій враховує такі показники, як число захворювань, кількість днів непрацездатності, середня тривалість непрацездатності. Такий критерій дозволяє здійснювати оперативне слідкування за збереженням рівня працездатності кожного пацієнта окремо, а також оцінювати його для окремих груп, різних за віком, місцем служби, військово-облікової спеціальності, нозологічній формі захворювання тощо. Можливе також використання такого критерію для порівняння стану працездатності військовослужбовців певних груп.

Таким чином, оцінку ефективності диспансерної системи медичного обслуговування військовослужбовців будемо здійснювати за критерієм працездатності. Це дасть можливість визначити величину коефіцієнта працездатності в залежності від факторів, що враховуються у моделі, а також дослідити вплив кількісних змін вказаних факторів на величину обраного критерію. На підставі цього можна буде прогнозувати зміну величини коефіцієнта працездатності при зміні окремих показників, підбирати значення

цих показників так, щоб досягти його найбільшого значення.

При моделюванні диспансерної системи медичного обслуговування необхідно знайти ймовірність того, що випадкова величина в результаті випробування прийме деяке значення.

Нехай η – випадкова величина, а x – її довільне число, тоді ймовірність того, що η прийме значення менше, ніж x , є функцією від x , тобто $F_{\eta}(x) = P(\eta < x)$, котра називається функцією розподілу випадкової величини η .

Відомо, що функція розподілу є найбільш повною характеристикою випадкової величини. При її наявності можуть бути розраховані такі числові характеристики стосовно диспансерної системи медичного обслуговування як середній час між втратами працездатності військовослужбовця, дисперсія цього часу, або його середнє квадратичне відхилення. Наявність цих показників має істотне значення для науково обґрунтованого прогнозування лікарських профілактичних заходів. Таким чином, знання статистичної функції розподілу часу між захворювання пацієнта необхідно не тільки для моделювання диспансерної системи медичного обслуговування, але воно має і самостійне значення.

Тобто, будемо вважати, що функція розподілу часу між захворюваннями військовослужбовця має такий вид $F_{\eta}(t) = P(\eta < t) = 1 - e^{-\lambda_0 t}$, де λ_0 – інтенсивність захворювання.

Мал.4. Функція розподілу часу між захворюваннями військовослужбовців при різних значеннях інтенсивності захворювань λ_0

На мал. 4 показаний вид функції розподілу часу між захворюваннями військовослужбовців при різних значеннях інтенсивності захворювань. З графіка видно, що зі збільшенням інтенсивності захворювань λ_0 імовірність захворювань зростає. Така функція покладена в основу подальших розрахунків запропонованої математичної моделі.

Мал. 5. Щільність розподілу часу між захворюваннями військово-службовців при різних значеннях інтенсивності захворювань λ

На мал. 5 показана щільність розподілу часу між захворюваннями військовослужбовців при різних значеннях інтенсивності захворювань λ_0 . Аналітичний вигляд такої функції має такий вид $f(t) = \lambda_0 e^{-\lambda_0 t}$. З наведеної формули видно, що в початковий момент часу, коли $t = 0$, $f(t_0) = \lambda_0$. Тобто така функція має розмірність $\frac{1}{\text{год}}$. В подальших розрахунках у якості часу буде використовуватися місяць. З малюнку видно, що з часом щільність розподілу зменшується. Слід підкреслити, що площа під кожною кривою повинна дорівнювати одиниці. Саме цим і пояснюється, що криві перетинаються. Причому, що більша інтенсивність, тим скоріше зменшується щільність. Експоненціальний закон розподілу часу між захворюваннями означає, що частіше на практиці мають місце короткі інтервали між захворюваннями людини.

Властивістю експоненціального закону є те, що його параметр λ_0 від часу не залежить. Це справедливо лише для відносно молодих людей, коли процесами старіння можна знехтувати.

На мал. 6 показано, що для експоненціального закону інтенсивність захворювань є постійною величиною.

Мал. 6. Інтенсивність захворювань військовослужбовців λ_0

3. Висновки і перспективи подальших досліджень

1. У статті запропонована математична модель медичного обслуговування військовослужбовців, яка створена при умові, що у разі захворювання військовослужбовці можуть самостійно звертатися за медичною допомогою. Крім того, передбачені планові медичні обстеження, які проводяться через невідповідний інтервал часу. З використанням напівмарковського випадкового процесу для експоненціального закону між захворюваннями пацієнта запропоновано встановити аналітичну залежність між коефіцієнтом працездатності і параметрами моделі.

2. У статті викладено обґрунтування чинників, які необхідно враховувати при побудові математичної моделі.

3. Показано фізичну сутність процесів, які можна схематично представити за допомогою напівмарковського випадкового процесу.

4. Застосування експоненціального закону часу між захворюваннями притаманно для військовослужбовців молодого віку, коли процесами старіння організму можна знехтувати.

5. У подальших дослідженнях планується показати залежність запропонованого коефіцієнта працездатності від параметрів медичного обслуговування, а також встановити оптимальну періодичність проведення диспансерних оглядів для досягнення максимального коефіцієнта працездатності.

Author details (in Russian)

Математическая модель для определения эффективности диспансеризации военнослужащих

Владимир Мирненко *, Петр Яблонський **, Николай Бутенко *,
Сергей Литвинко ****, Роман Гутверт *******

** Национальный университет обороны Украины имени Ивана Черняховського,
пр-кт Воздухофлотский, 28, г. Киев, 03049, Украина,
e-mail: mirnenkovi@gmail.com,
д.т.н., профессор, Заслуженный работник образования Украины,
заведующий кафедры логистики Воздушных Сил.*

*** Национальный университет обороны Украины имени Ивана Черняховського,
пр-кт Воздухофлотский, 28, г. Киев, 03049, Украина,
e-mail: teyka1943@gmail.com,
к.т.н., доцент,
профессор кафедры логистики Воздушных Сил.*

**** Национальный университет обороны Украины имени Ивана Черняховського,
пр-кт Воздухофлотский, 28, г. Киев, 03049, Украина,
e-mail: mirnenkovi@gmail.com,
старший научный сотрудник Центра военно-стратегических исследований.*

***** Национальный военно-медицинский клинический центр
«Главный военный клинический госпиталь»,
ул. Госпитальная, 18, г. Киев, 01133, Украина,
e-mail: litvinkosergey@ukr.net,
начальник приемного отделения.*

****** Национальный военно-медицинский клинический центр
«Главный военный клинический госпиталь»,
ул. Госпитальная, 18, г. Киев, 01133, Украина,
e-mail: romangutvert@gmail.com,
к.м.н.,
заместитель начальника клиники урологии.*

Аннотация: Статья вызывает интерес у медицинских специалистов, осуществляющих свою деятельность, как в системе Министерства обороны Украины и Вооруженных Силах Украины, так и в других органах государственной власти, учреждениях и организациях любой формы собственности. Также, результаты проведенного исследования будут полезны представителям медицинской службы, как службы, является непосредственным участником процесса оценки эффективности функционирования системы диспансеризации военнослужащих. Установлено место и роль диспансеризации военнослужащих в системе медицинского обслуживания. Указанное позволило выделить внешние и внутренние факторы в разрезе проблематики данной статьи. Внутренние и внешние факторы были исследованы в контексте управляемых и неуправляемых факторов. В работе изложена математическая модель медицинского обслуживания военнослужащих, проходящих диспансерные осмотры с применением полумарковских случайного процесса. Предложенный количественный критерий эффективности медицинского обслуживания, получивший название коэффициент работоспособности. Для установления зависимости коэффициента работоспособности от параметров модели использован экспоненциальный закон распределения времени между заболеваниями. Такой закон можно считать характерным для военнослужащих относительно молодого возраста. Результаты указанного исследования является исходной точкой для решения научной задачи по обоснованию научно-методического аппарата оценки эффективности диспансеризации системы медицинского обеспечения военнослужащих Министерства обороны Украины и Вооруженных Силах Украины. В дальнейших

исследованиях будет показана зависимость коэффициента работоспособности от параметров модели, а также стоимость пребывания военнослужащего в здоровом состоянии.

Ключевые слова: коэффициент работоспособности, функция распределения времени между заболеваниями, период времени между проводками диспансерного осмотра, полумарковских случайный процесс.

Author details (in English)

Mathematical model for determining the effectiveness of medical examination of military personnel

Volodymyr Mirnenko *, Petro Yablonsky **, Mykola Butenko *, Sergii Lytvynko ****, Roman Gutvert *******

** The National Defense University of Ukraine named after Ivan Chernyakhovskyi, 28, Vozduhoflotsky, ave, Kyiv, 03049, Ukraine, e-mail: mirnenkovi@gmail.com, Doctor of Technical Sciences, Professor, Honored Worker of Education of Ukraine, Head of the Department of Logistics of the Air Force.*

*** The National Defense University of Ukraine named after Ivan Chernyakhovskyi, 28, Vozduhoflotsky, ave, Kyiv, 03049, Ukraine, e-mail: teyka1943@gmail.com, PhD., assoc. prof., Professor Department of Logistics, Air Force.*

**** The National Defense University of Ukraine named after Ivan Chernyakhovskyi, 28, Vozduhoflotsky, ave, Kyiv, 03049, Ukraine, e-mail: mirnenkovi@gmail.com, Senior Researcher, Center for Military Strategic Studies.*

***** The National Military Medical Clinical Center “Main Military Clinical Hospital”, 18, Hospital str., Kyiv, 01133, Ukraine, e-mail: litvinkosergey@ukr.net, Head of reception.*

****** The National Military Medical Clinical Center “Main Military Clinical Hospital”, 18, Hospital str., Kyiv, 01133, Ukraine, e-mail: romangutvert@gmail.com, Ph.D., Deputy Head of the Clinic of Urology.*

Abstract: The article is of interest to health professionals operating in the system of the Ministry of defense of Ukraine and Armed Forces of Ukraine and other state authorities, institutions and non-government organizations. Also, the results of the study will be useful to the representatives of the medical service, as service is a direct participant in the process of evaluating the effectiveness of the military personnel's medical examination system. The place and role of the clinical examination of personnel in the health care system have been established. This has allowed to identify the internal and external factors in the context of the issues of this article. Internal and external factors were investigated in the context of managed and unmanaged factors. The paper presents a mathematical model of the medical care for servicemen who undergo medical examinations with using a semi-Markov random process. A quantitative criterion for the effectiveness of health care, called the employability ratio, is proposed. To

establish the dependence of the employability ratio on the model parameters, an exponential law of time distribution between diseases was used. Such a law can be considered as a characteristic of the military personnel of a relatively young age. The results of this study are the starting point for solving the scientific task of substantiating the scientific and methodological apparatus for assessing the effectiveness of the prophylactic medical examination in the system of medical support of servicemen of the Ministry of defense of Ukraine and Armed Forces of Ukraine. In further studies will be shown the dependence of the employability ratio on the model parameters, as well as the cost of staying a serviceman in a healthy condition.

Keywords: employability ratio, function of time distribution between diseases, period between the prophylactic medical examinations, semi-Markov random process.

Використана література

1. Volodymyr Mirnenko, Oleg Shekera, Sergi Pustovyi, Petro Yablonskyi (2018) Matematychna model systemy medychnoho obsluhovuvannia naselennia iz zastosuvanniam dyfuziino-nemonotonnoho zakonu rozpodilu chasu zakhvoriuvannia [Mathematical model of the system of medical services for the population with the use of the diffusion-nonmonotonic law of distribution of the time of disease]. *Social development & Security*. 5(7), 21–31. DOI: <http://doi.org/10.5281/zenodo.1450568>
2. Шекера, О.Г., Яблонський, П.М., Шекера, О.О., Мельник, Д.В., Кухарчук, Х.М., Панасенко, М.С. (2012) Формалізована модель функціонування системи медичного обслуговування населення. *Здоров'я суспільства*. №3. Київ: Міжнародна асоціація «Здоров'я суспільства». 2012. С.130 – 131.
3. Volodymyr Mirnenko & Petro Yablonskyi & Yurii Koskov & Sergey Litvinko (2017) Matematychna model medychnoho obsluhovuvannia viiskovosluzhbovtiv iz zastosuvanniam napivmarkovskoho vypadkovoho protsesu [The mathematical model of medical servicing of servicemen with the use semi-Markov stochastic process theory]. *Social development & Security*. 2(2), 12 – 24. DOI: <http://doi.org/10.5281/zenodo.1117937>

References

1. Volodymyr Mirnenko, Oleg Shekera, Sergi Pustovyi, Petro Yablonskyi (2018) Matematychna model systemy medychnoho obsluhovuvannia naselennia iz zastosuvanniam dyfuziino-nemonotonnoho zakonu rozpodilu chasu zakhvoriuvannia [Mathematical model of the system of medical services for the population with the use of the diffusion-nonmonotonic law of distribution of the time of disease]. *Social development & Security*. 5(7), 21–31. DOI: <http://doi.org/10.5281/zenodo.1450568>
2. Shekera O.H., Yablonskyi P.M., Shekera O.O., Melnyk D.V., Kukharchuk Kh.M., Panasenko.M.S. (2012) Formalizovana model funktsionuvannia systemy medychnoho obsluhovuvannia naselennia. *Zdorovia suspilstva*. №3. Mizhnarodna asotsiatsiia «Zdorovia suspilstva». S. 130 – 131.
3. Volodymyr Mirnenko & Petro Yablonskyi & Yurii Koskov & Sergey Litvinko (2017) Matematychna model medychnoho obsluhovuvannia viiskovosluzhbovtiv iz zastosuvanniam napivmarkovskoho vypadkovoho protsesu [The mathematical model of medical servicing of servicemen with the use semi-Markov stochastic process theory]. *Social development & Security*. 2(2), 12 – 24. DOI: <http://doi.org/10.5281/zenodo.1117937>

© 2019 by the authors; Social development & Security, Ukrainian. This is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CCBY) license (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).