

После этапа распределения соединений по слоям можно осуществить ортогональное проведение соединений. Для первого слоя ортогональное проведение соединений представлено на рис. 18, а ортогональное проведение соединений для второго слоя представлено на рис. 19.

## ВЫВОДЫ

Использование МПУ повышает надежность подключения контролируемых изделий к автоматизированной аппаратуре контроля. С учетом увеличения сложности контролируемых электронных компонентов возникает необходимость поиска новых подходов к трассировке многослойных подключающих пластин МПУ. Предложенный метод, основанный на применении теории графов, позволяет снизить трудоемкость и время проектирования топологии гибкого шлейфа МПУ, а также может быть использован для разработки топологий микроэлектромеханических структур различного назначения.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Семенец В. В. Технология межсоединений электронной аппаратуры : учеб. для вузов / В. В. Семенец, Джон Кратц, И. Ш. Невлюдов, В. А. Палагин. — Х. : изд. «СМИТ», 2005. — 432 с.
2. Мікроелектромеханічний багатозондовий підмикальний пристрій : пат. 95190 України: МПК H05K 3/40 / Невлюдов І. Ш., Палагін В. А., Разумов-Фризюк С. А., Жарікова І. В. та ін., опубл. 11.07.2011. — Бюл. № 13.
3. Зыков А. А. Основы теории графов / А. А. Зыков. — М. : Наука, ГРФМЛ, 1987. — 384 с.
4. Ковалев М. М. Дискретная оптимизация. Целочисленное программирование / М. М. Ковалев. — М. : УРСС, 2003. — 192 с.
5. G. Di Battista, P. Eades, R. Tamassia, I. G. Tollis. Algorithms for Drawing Graphs: an Annotated Bibliography // Computational Geometry, Theory and Applications. — 1994. — N 4. — P. 235–282.
6. C. L. Liu and R. C. Geldmacher On the deletion of nonplanar edges of a graph. [1978] – SIAM J.Comput (to appear)/ (3.1.4; 3.2.2.; A1.2)
7. Kozo Sugiyama. Graph Drawing and applications. — New Jersey: World Scientific. — 2002. — 128 p.
8. Takao Nishizeki. Planar Graph Drawing / Takao Nishizeki, Md. Saidur Rahman. — New Jersey : World Scientific, 2004. — 310 p.
9. Roberto Tamassia. Handbook of Graph Drawing and Visualization / Roberto Tamassia. — Charman and Hall/CRC. — 2013. — 844 p
10. Курапов С. В. Алгоритмические методы в теории графов / С. В. Курапов. — Запорожье : ЗНУ, 2012. — 190с.

УДК 51–77, 316.4

## ПОСТРОЕНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ПОВЕДЕНИЯ СОЦИАЛЬНОЙ ГРУППЫ НА ОСНОВЕ МЕДИКО-БИОЛОГИЧЕСКОЙ SIR-МОДЕЛИ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ЭПИДЕМИИ

Зиновеев И. В., к. ф.-м. н., Манько Н. И.-В., ст. преподаватель, \*Спица И. А., студент

*Запорожский национальный университет*

*\*Запорожский государственный медицинский университет*

В статье на основе SIR-модели Кермака-Маккендрика предложен подход к моделированию и исследованию динамического развития структуры замкнутой социальной группы, находящейся под информационным воздействием. Сформулирована гипотеза о параметрах предложенной модели, при которых становится возможен «социальный взрыв» на уровне группы.

*Ключевые слова:* социальная группа, SIR-модель Кермака-Маккендрика, информационное заражение, математическая модель, численное решение, прогнозирование, социальный взрыв.

Зіновєєв І. В., Манько Н. І.-В., \*Спиця І. О. ПОБУДОВА МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ ПОВЕДІНКИ СОЦІАЛЬНОЇ ГРУПИ НА ОСНОВІ МЕДИКО-БІОЛОГІЧНОЇ SIR – МОДЕЛІ ПОШИРЕННЯ ЕПІДЕМІЇ / Запорізький національний університет, \*Запорізький державний медичний університет, Україна

У статті на основі SIR-моделі Кермака-Маккендріка запропонований підхід до моделювання і дослідження динамічного розвитку структури замкненої соціальної групи, що знаходиться під інформаційним впливом. Сформульована гіпотеза про параметри запропонованої моделі, при яких стає можливим «соціальний вибух» на рівні групи.

*Ключові слова:* соціальна група, SIR-модель Кермака-Маккендріка, інформаційне зараження, математична модель, чисельний розв'язок, прогнозування, соціальний вибух.

Zinoveyev I. V., Manko N. I.-V., \*Spitsa I. O. CONSTRUCTION of MATHEMATIC MODEL of BEHAVIOR of SOCIAL GROUP ON THE BASIS of MEDICAL-BIOLOGICAL SIR – MODEL of EPIDEMIC DISTRIBUTION / Zaporizhzhya National University, \*Zaporozhye State Medical University, Ukraine

In the article is offered approach to the modeling and research of dynamic transformation of the closed social group structure, being under informative impact on the basis of Kermack-McKendrick SIR-model.

It is considered a closed social group. The number of group members does not change in time. The group is under the influence of some information system, which promotes a certain idea. Each member of the group at a time can be in one of three different states: the first state – member can be prone to won't infect some new idea; the second state – member is «infected» by idea and its distributor (vector data); the third state – member ceased to be a supporter of the ideas or being neutral to informational idea. All members of the group, which at this time are in the first state is denoted  $S(t)$ , which are in the second state is denoted  $I(t)$  and which are in the third state is denoted  $R(t)$ . The typical evolution of a member of a social group can be described by the diagram  $S \rightarrow I \rightarrow R$  or  $S \rightarrow I$ . Believe that the process, which is considered, described by the  $S \rightarrow I \rightarrow R$  diagram.

A mathematical model of the considered problem represents a system of ordinary differential equations, supplemented by an algebraic equation of the condition of a constant social group. To solve the resulting system applied numerical scheme of Euler's method for solving the Cauchy problem. Submitted by the numerical scheme numerical calculations were made, on the basis of which formulated the hypothesis on offered model parameters, under which is possible within a group a «social explosion».

*Keywords:* social group, Kermack-McKendrick SIR-model, informative infection, mathematical model, numeral solution, prognostication, social explosion.

## ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ

За последние 10-15 лет в мире произошла медиареволюция. Появилось большое количество профессиональных радио-, интернет- и телевизионных каналов, «изготавливающих» суперпрофессиональную по качеству продукцию мирового уровня. Во всех странах государственные средства массовой информации находятся под государственным контролем, что вполне естественно. Однако доля государственных средств массовой информации во всем медиапространстве все уменьшается и на первый план выходят «свободные» источники информации, выражающие и распространяющие взгляды, определяемые политикой своих управляющих органов. Появление такого свободного источника информации имеет огромное значение. «Здесь двойная вещь. С одной стороны, медиареволюция как появление массмедийных региональных лидеров, высококлассных и профессиональных... А другая сторона – это когда трансляторами в этих медиа оказываются любые люди». Информацию «может принимать любой человек, просто с сотового телефона, – поэтому любая информация становится доступной и ею легко обмениваются через эти большие медиа, а не только через фэйсбуки» [1].

В Украине количество абонентов сотовой связи за I квартал 2013 г. по сравнению с IV кварталом 2012 г. выросло на 3,8% – до 59 млн. 619 тыс. 325 (количество SIM-карт), говорится в аналитическом отчете консалтинговой компании Advanced Communications & Media (AC&M). Уровень проникновения сотовой связи на Украине по состоянию на конец марта 2013 г. составил 130,9% против 126,1% на конец 2012 г. Лидером по количеству интернет-пользователей остается Киев – 60,1% от общего количества пользователей. Пользователи из других крупных городов и регионов (Днепропетровск, Донецк, Запорожье, Львов, Одесса, Харьков, Крым) составили 28,3%, из остальных регионов – 11,6%. Меньше всего посетителей интернета в апреле было из Житомирской области – 0,25% и из Черновицкой областей – 0,26% [2]. По оценкам iKS-Consulting, в Украине на 31 марта 2012 года общее количество абонентов широкополосного доступа (частных и корпоративных) составило почти 6,3 млн. [3].

## АНАЛИЗ ПОСЛЕДНИХ ИССЛЕДОВАНИЙ И ПУБЛИКАЦИЙ

Даже краткий анализ развития медиапространства Украины дает возможность сделать вывод о возрастающей динамике проникновения в нашу жизнь, жизнь общества коммуникационных и интернет-технологий, а соответственно и увеличение их влияния, как на поведение каждого отдельного индивида, так и поведение определенных групп населения (социальных, возрастных, профессиональных и т.д.). Таким образом, изучение, моделирование и прогнозирование поведения социальных групп населения является актуальной и важной задачей. Одним из важных аспектов изучения поведения групп является изучение ее законов поведения, прогнозирования развития и возможного влияния на это поведение, вплоть до превращения этой группы в управляемую или неуправляемую «толпу» или «массу». Ряд

примеров эффективного воздействия «умных толп», подвигающих общество к социальным революциям, приведено в работе [4].

Создателями математической эпидемиологии по праву считаются Anderson Gray McKendrick, 1876-1943 и William Ogilvy Kermack, 1898-1970 известные шотландские биохимики и эпидемиологи, которые в первой половине XX столетия предложили математическую модель [5], описывающую динамику распространения инфекции в замкнутой популяции, и позволяющую проанализировать и спрогнозировать дальнейшее развитие инфекции.

Предположим, что особи популяции могут находиться в трех различных состояниях: здоровые особи – находятся в группе риска и могут быть подвержены инфицированию; заразившиеся – переносчики болезни, и те, кто выздоровел и перестал распространять болезнь (в эту категорию относят, например, приобретших иммунитет или даже умерших). Обозначим эти группы  $S(t)$ ,  $I(t)$ ,  $R(t)$ . Стоит отметить, что проведен ряд гипотез и упрощений, таких как: все контакты равновероятны и приобретение инфекции для всех особей популяции равновероятно; количество особей популяции постоянно и имеет размер  $N$ ; заражение инфекцией при контакте имеет вероятность 100%; промежуток времени, когда заболевший остается опасным для окружающих, распределен по экспоненциальному закону.

### ПОСТРОЕНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ПОВЕДЕНИЯ СОЦИАЛЬНОЙ ГРУППЫ НА ОСНОВЕ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ЭПИДЕМИИ

Пусть рассматривается замкнутая социальная группа (в группу не добавляются новые члены группы и из нее не выходят), общий состав которой не изменяется в течение рассматриваемого промежутка времени и находится в поле влияния некоторой информационной системы (информационное поле, интернет-пространство, мобильная связь, телевидение). Предположим, что каждый из членов рассматриваемой группы в конкретный момент времени может находиться в одном из трех различных состояний: «здоровом», «инфицированном», «иммунитетном». «Здоровое» состояние – человек находится в группе риска и может быть подвержен «информационной инфекции» («заразиться» некоторой идеей). «Инфицированное» состояние – человек, или в силу убеждений, или в результате информационного воздействия, является сторонником и распространителем этой идеи (переносчики информации). «Иммунитетное» состояние – человек перестал быть приверженцем идеи или стал к ней нейтрален, т.е. перестал распространять информацию (в эту категорию будем относить и тех, кто имеет «иммунитет» к распространяемой информации). Обозначим эти группы  $S(t)$ ,  $I(t)$  и  $R(t)$ , соответственно. Типичная эволюция члена социальной группы, подверженного идее, распространяемой информационно, может быть описана диаграммой  $S \rightarrow I \rightarrow R$ .

Введем в рассмотрение функцию информационной инфективности  $A(\tau)$  (аналог функции инфективности при эпидемиологическом заражении), которая включает в себя информацию об уровне информационной зараженности индивидуума, который был «заражен»  $\tau$  единиц времени назад (т.е. о вероятности передачи информации при контакте) и о количестве контактов за все время, пока этот индивидуум был «информационно зараженным». Формально  $A(\tau)$  – это средняя инфективность индивидуума, зараженного  $\tau$  единиц времени назад, по отношению к человеку, который не владеет информацией в социальной группе, т.е. не подвергнут информационному «заражению». Например, если предположить, что вероятность получить информацию при контакте постоянна и равна  $p$ , среднее число контактов в единицу времени постоянно и равно  $c$  и индивидуум является распространителем информационного «вируса» в промежутке времени от  $T_1$  до  $T_2$ , то

$$A(\tau) = \begin{cases} cp, & \text{если } \tau \in [T_1; T_2], \\ 0, & \text{если } \tau \notin [T_1; T_2]. \end{cases} \quad (1)$$

Пусть  $i(t)$  – число новых людей, получивших информацию в момент времени  $t$ . Очевидно, что справедливо равенство  $i(t) = -\dot{S}(t)$  (здесь предполагается, что социальная группа замкнута, численность класса  $S$  не может расти). Кроме того, учитывая определение  $A(\tau)$  [6], получим

$$i(t) = \frac{S(t)}{N} \int_0^{\infty} A(\tau) i(t-\tau) d\tau. \quad (2)$$

Заметим, что интеграл, стоящий в правой части, описывает среднее количество «удачных» (т.е. приведших к «результативной» передаче информации) контактов всеми информационно инфицированными и все еще заразными в момент времени  $t$ . Учитывая, что контакты случайны, только  $S(t)/N$  часть из них будет со «здоровыми» индивидами и в результате это дает общее число новых случаев в момент времени  $t$ . Уравнение (2) перепишем в виде

$$\dot{S}(t) = \frac{S(t)}{N} \int_0^{\infty} A(\tau) \dot{S}(t-\tau) d\tau. \quad (3)$$

Уравнение (3) называется моделью Кермака-Маккендрика [7].

Представим  $A(\tau)$  в виде  $A(\tau) = \beta N e^{-\gamma\tau}$ . Здесь величина  $\beta N$  указывает на число контактов в единицу времени (отметим, что она растет как линейная функция постоянного размера группы  $N$ , что очень удобно для анализа уравнений, но не совсем верно отражает действительность), а  $e^{-\gamma\tau}$  указывает на тот факт, что промежуток времени, когда «информационно зараженный» может «заразить» других индивидуумов, распределен экспоненциально со средним  $1/\gamma$ .

Вводя обозначения

$$I(t) = -\frac{1}{\beta} \int_0^{\infty} A(\tau) \dot{S}(t-\tau) d\tau = -\frac{1}{\beta} \int_{-\infty}^t A(t-\tau) \dot{S}(\tau) d\tau$$

и дифференцируя последнее равенство, после преобразований получим:

$$\begin{cases} \dot{S} = -\beta SI, \\ \dot{I} = \beta SI - \gamma I, \\ \dot{R} = \gamma I, \end{cases} \quad (4)$$

где мы добавили третье уравнение для «выздоровевших» индивидуумов. Чтобы замкнуть полученную систему, дополним ее условием постоянства состава социальной группы

$$\dot{S} + \dot{I} + \dot{R} = 0 \Rightarrow S(t) + I(t) + R(t) = N.$$

К системе уравнений (4) можно прийти и другим способом. Отправной точкой будут следующие предположения: группа замкнута и постоянного размера  $N$ ; промежуток времени, когда носитель остается «опасен» для окружающих, распределен по экспоненциальному закону со средним  $1/\gamma$ , контакты случайны и равновозможны (однородное перемешивание). Тогда

$$\begin{cases} \dot{S} = -\lambda S, \\ \dot{I} = \lambda I - \gamma I, \\ \dot{R} = \gamma I, \end{cases} \quad (5)$$

где  $\lambda$  – это сила «инфекции», которая в данном случае равна произведению количества контактов в единицу времени, сделанных одним «здоровым» (обозначим это количество как  $cN$ ), вероятности распространить информацию при контакте  $p$  и вероятности встретить «инфицированного»  $I(t)/N$ . Обозначив  $\beta = cp$ , получим (4).

Рассмотрим систему дифференциальных уравнений (4), с заданными начальными условиями  $S(0) = S_0$ ,  $I(0) = I_0$ ,  $R(0) = R_0$ ,  $S_0 + I_0 + R_0 = N$ .

Разделим второе уравнение из (4) на первое. В результате получим

$$\frac{\dot{I}}{\dot{S}} = \frac{\beta SI - \gamma I}{-\beta SI} = \frac{\beta SI}{-\beta SI} + \frac{-\gamma I}{-\beta SI} = -1 + \frac{\gamma}{\beta S} = -1 + \frac{\gamma}{cp} \cdot \frac{1}{S} = -1 + \frac{\gamma}{cp \cdot N} \cdot \frac{N}{S}.$$

Рассмотрим величину  $k = \left( \frac{\gamma}{cp \cdot N} \right)^{-1} = (cN) \cdot p \cdot \frac{1}{\gamma}$  – коэффициент из последнего соотношения. Каждый множитель, входящий в этот коэффициент, имеет определенный смысл:  $cN$  – среднее число контактов в единицу времени, сделанных одним членом социальной группы,  $(cN) \cdot p$  – количество подвергающихся информационному воздействию-«заражению» в единицу времени,  $(cN) \cdot p \cdot \frac{1}{\gamma}$  – среднее число успешных контактов в единицу времени, умноженное на среднюю продолжительность «болезни» (подверженность распространяемой или навязываемой идее). В данном коэффициенте величины  $N$ ,  $\gamma$  являются константами, а величины  $c$ ,  $p$  можно рассматривать как числовые параметры (могут изменяться в зависимости от условий, в которых существует социальная группа), такие, что величина  $cp$  может принимать любое значение из промежутка  $(0,1)$ .

Для решения полученной системы (4) применена численная схема метода Эйлера решения задачи Коши [8]. Пусть задача рассматривается на конечном временном промежутке  $[0, T]$ . Разбиваем этот промежуток на равные части  $[0, t_1], [t_1, t_2], [t_2, t_3], \dots, [t_{m-1}, t_m], t_0 = 0, t_m = T$ . Шаг разбиения равен  $t_{i+1} - t_i = \Delta t, i = 0, 1, 2, \dots, m-1$ . Значения производных в точках  $t_i$  заменяем выражениями для приближенного их вычисления  $\dot{y}(t_i) \approx \frac{y_{i+1} - y_i}{\Delta t}$ .

В системе (4) заменим в левых частях каждого из уравнений системы производные  $\dot{S}(t_i), \dot{I}(t_i), \dot{R}(t_i)$  соответствующими приближенными выражениями  $\dot{S}(t_i) \approx \frac{S_{i+1} - S_i}{\Delta t}, \dot{I}(t_i) \approx \frac{I_{i+1} - I_i}{\Delta t}, \dot{R}(t_i) \approx \frac{R_{i+1} - R_i}{\Delta t}$ . В результате получаем систему линейных алгебраических уравнений:

$$\begin{cases} S_{i+1} = S_i(-\beta \cdot I_i \cdot \Delta t + 1), \\ I_{i+1} = I_i(\beta \cdot S_i \cdot \Delta t - \gamma \cdot \Delta t + 1), \quad i = 0, \dots, m-1, \\ R_{i+1} = \gamma \cdot I_i \cdot \Delta t + R_i, \end{cases}$$

относительно неизвестных значений функций  $S(t), I(t), R(t)$  в точках разбиения  $t_i, i = 0, \dots, m-1$ .

По представленной численной схеме были произведены ряд численных расчетов. В качестве исходных данных для расчетов были взяты значения  $N = 1000, \gamma = 1, \gamma = 5, \gamma = 10, cp = 0,05 j, j = 0, 1, 2, \dots, R_0 \in \{0, 10, 50, 100, 200, 400, 500\}, I_0 \in \{1, 10, 20, 50, 100\}$ . Графики расчетов для некоторых случаев приведены на рисунках 1, 2.

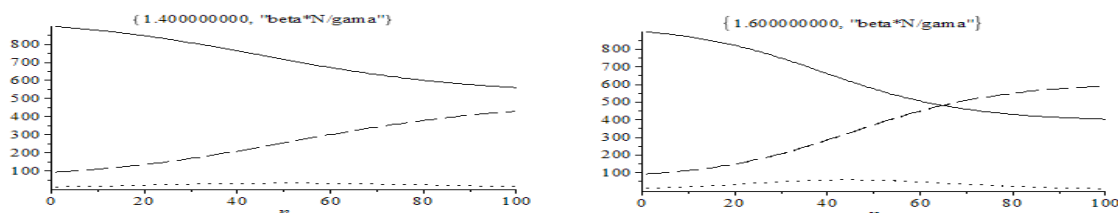


Рис. 1. Временная динамика изменения групп  $S(t)$  ----,  $I(t)$  —,  $R(t)$  ·····,  $1 < k < 2$

Проведенный анализ полученных результатов позволяет сформулировать следующую гипотезу: Пусть процесс «информационного заражения» в замкнутой группе описывается математической моделью (4). Тогда динамика роста (близкая к экспоненциальной) «информационно зараженной» части в этой группе (происходит «социальный взрыв» на уровне группы) происходит тогда, когда величина

$k = \left(\frac{\gamma}{cp \cdot N}\right)^{-1} = (cN) \cdot p \cdot \frac{1}{\gamma}$  больше двух. В противном случае, занесенная в группу информация не создает «социальный взрыв» и быстро исчезает.

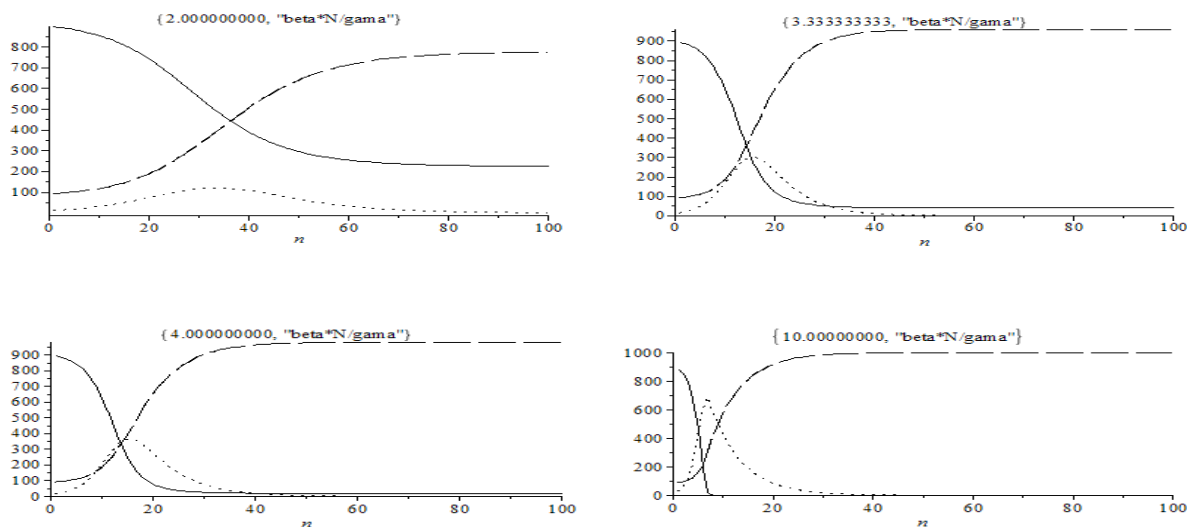


Рис. 2. Временная динамика изменения групп  $S(t)$  ----,  $I(t)$  —,  $R(t)$  ·····,  $k > 2$

Отметим, что полученные результаты согласуются с результатами работ Чернявского А.Д. [9] и могут быть использованы на макроуровне для прогнозирования уровня распространения информационного воздействия на замкнутые социальные группы.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Коротаяев А. Теория социального взрыва [Электронный ресурс] : стенограмма передачи «Наука 2.0» – совместного проекта информационно-аналитического портала «Полит.ру» и радиостанции «Вести FM» // Доктор исторических наук, заведующий кафедрой современного Востока РГГУ, ведущий научный сотрудник Института востоковедения и Института Африки РАН Андрей Коротаяев. [http://radiovesti.ru/episode/show/episode\\_id/10327](http://radiovesti.ru/episode/show/episode_id/10327). – 09 апреля, 2011 г.
2. <http://www.rbc.ua/rus/news/economic/kolichestvo-abonentov-sotovoy-svyazi-v-ukraine-za-i-kvartal-17052013174300/>
3. <http://itc.ua/tag/iks-consulting/>
4. Рейнгольд Г. Умная толпа: новая социальная революция / Г. Рейнгольд. — М. : ФАИР ПРЕСС, 2006. — 416 с.
5. Kermack W. O. A Contribution to the Mathematical Theory of Epidemics / W. O. Kermack and A. G. McKendrick // Proc. R. Soc. Lond. A August 1, 1927 115 772 700–721; doi:10.1098/rspa.1927.0118 [<http://rspa.royalsocietypublishing.org/content/115/772/700.citation#related-urls>].
6. Братусь А. С. Динамические системы и модели биологии / А. С. Братусь, А. С. Новожилов, А. П. Платонов. — М. : ФИЗМАТЛИТ, 2010. — 400 с.
7. [http://en.wikipedia.org/wiki/Epidemic\\_model#The\\_SIR\\_model](http://en.wikipedia.org/wiki/Epidemic_model#The_SIR_model).
8. Бабенко К. И. Основы численного анализа / К. И. Бабенко. — М. : Наука, 1986. — 744 с.
9. Чернявский А. Д. Информационная модель «социального взрыва» / А. Д. Чернявский // Современные исследования социальных проблем (электронный научный журнал). — 2012. — №1(09). — С. 406-426.

УДК 004.658.2

## ANSWERING CONJUNCTIVE QUERIES OVER A TEMPORALLY-ORDERED FINITE SEQUENCE OF ABOXES SHARING ONE TBOX

Keberle N. G., Ph.D., docent

*Zaporizhzhya National University*

Ontology-based data access (OBDA) assumes that data in a database are mediated with a conceptual layer, available for clients and hiding data storage details. Ontologies are good candidates for such a conceptual layer presentation, whereas databases are good for huge data storage.

The benefits from combination of databases and knowledge bases are as follows:

- database management is the mature field of research, there is a lot of commercially and freely available DBMSs, showing good-to-excellent performance on large datasets. It is an obvious place to store the assertional part of some knowledge base, i.e. an ABox;
- a TBox often requires a reasoning support to deduce additional assertions, axioms and to check the consistency of a knowledge base.

At the same time, employing such an approach is rather challenging due to significant differences between relational database systems and ontology languages, based on Description Logics, such as OWL. At first, relational databases adopt a closed-world semantics, i.e. all facts that are not explicitly stated to be true are assumed to be false. In contrast, OWL is based on an open world semantics which does not require one to fix the truth value of every fact and is more similar to an incomplete database. Second, relational databases are unaware of the intensional part of a knowledge base (called a TBox).

Research has been done so far in the OBDA field considers only one ABox stored in a data source, that is an actual set of assertions on individuals and their pairs. However, real applications show that ABox is changing over time. The examples of such dynamic systems can be easily found in practice: environmental conditions, air traffic load, computer system load and performance, health control for the people suffering from serious diseases. Therefore, in some applications of situation awareness, there is a need to store an archive of