

УДК: 681.518.2

ИНФОРМАЦИОННАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ОЦЕНКИ СТЕПЕНИ ТЯЖЕСТИ СОСТОЯНИЯ ПАЦИЕНТОВ

© М. Н. Нессонова

В работе предложена информационная технология оценки степени тяжести состояния пациентов, основанная на разработанных автором методе классификации с обучением и методах построения ансамблей классификаторов. Приведены результаты использования информационной технологии на реальных данных при оценке тяжести состояния 232 пациентов с травматическими повреждениями поджелудочной железы.

Ключевые слова: информационная технология, оценка тяжести состояния пациента, классификация с обучением, композиции (комитеты, ансамбли) классификаторов.

The information technology for patient's grade of severity estimation is suggested in the paper. The information technology is based on the methods of supervised classification and algorithms compositions constructing, which were developed by the author. The results of information technology applying for real data to estimate grade of severity for 232 patients with pancreas traumas, are reported.

Keywords: information technology, patient's grade of severity estimation, supervised classification, compositions (classifiers, ensembles) of classifiers

1. Введение

Проблема оценки тяжести состояния, а также прогноза исходов и осложнений при травматических повреждениях поджелудочной железы (ПЖ) до настоящего времени остается нерешённой, что обусловлено отсутствием специфических методов и прогностических систем [1]. Подобные системы разработаны с целью использования в реанимационных отделениях хирургического и терапевтического профиля для широкого круга заболеваний [2, 3], однако специфических шкал или систем для оценки степени тяжести состояния больных с травматическим панкреатитом в доступной литературе нами не выявлено. Повреждения ПЖ при закрытой сочетанной травме считаются одними из тяжелейших, а вопросы их диагностики, хирургического лечения и прогнозирования исходов ещё далеки от решения [4]. Более того, в условиях техногенного развития общества актуальность этих вопросов существенно возросла, поскольку летальность при травмах ПЖ по данным разных авторов составляет от 20 до 80% [5, 6]. На практике при травмах ПЖ, особенно закрытых, чаще всего используют те же методы оценки тяжести травмы и прогнозирования ее клинического течения, что и при остром панкреатите нетравматической этиологии, либо шкалы и системы, предназначенные для оценки степени тяжести любых травматических повреждений. К сожалению, используемые в реанимационной практике стандартные шкалы оценки тяжести состояния

(APACHE II, SAPS, MODS, Ranson и др.), а также специально разработанные для травматологии шкалы (TRISS, ISS, RTS и др.), не обладают достаточной чувствительностью прогноза [7, 8, 3]. Это является слабым местом всех шкал, применяемых для оценки тяжести состояния и прогнозирования летальности при травмах. Указанными причинами обуславливается необходимость, своевременность и актуальность информационной технологии оценки тяжести состояния пациентов при травматических повреждениях ПЖ, позволившей бы объективизировать эту оценку, повысить её качество и автоматизировать рутинные вычислительные процедуры нахождения прогностических индексов.

2. Постановка проблемы

Целью работы является разработка информационной технологии оценки степени тяжести состояния пациента с травматическими повреждениями поджелудочной железы.

3. Составляющие информационной технологии и этапы их разработки

Информационная технология оценки тяжести состояния базируется на разработанных автором методе классификации с обучением и методах формирования композиций классификаторов [9–12]. Разработанный в рамках информационной технологии метод классификации основан на метрическом подходе к представлениям, полученным статистическими методами геометрической

интерпретации структуры данных. Методы построения композиций классификаторов базируются на развитии и модификации стандартных процедур голосования по старшинству, взвешенного голосования и смесей экспертов. Разработанные методы могут использоваться в рамках одной информационной технологии, либо отдельно для построения математических моделей классификаторов или формирования их композиций.

Процесс разработки представляемой информационной технологии включает 6 этапов (рис. 1). На вход первого этапа подаётся обучающая информация, которая представляется в виде признакового описания конечного набора объектов (пациентов). Предполагается существование нескольких непересекающихся классов объектов (степеней тяжести состояния пациентов). В исходной обучающей выборке известно разделение объектов на классы, т.е. для каждого пациента известна его степень тяжести состояния.

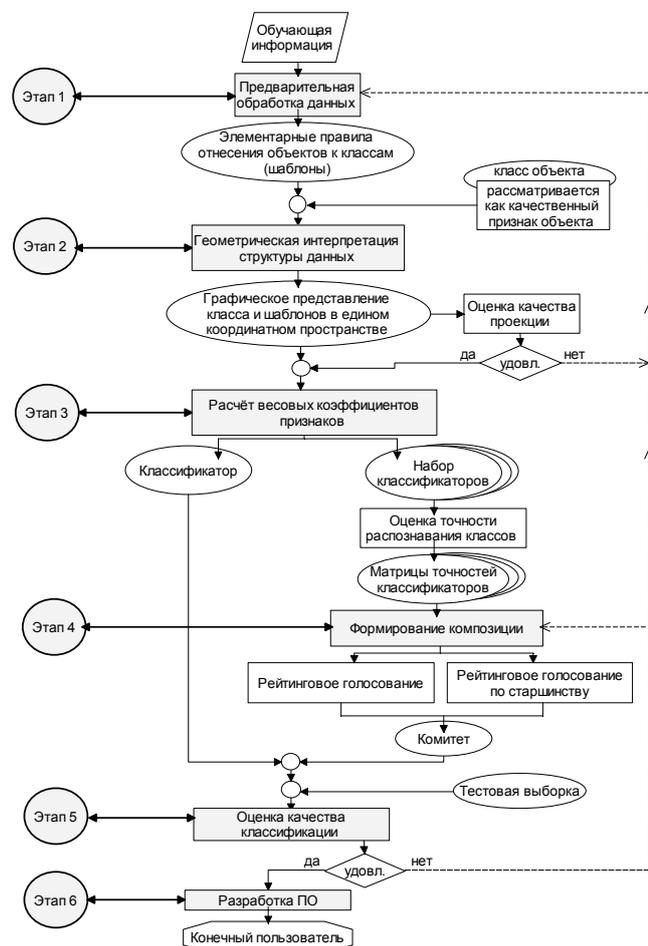


Рис. 1. Этапы разработки информационной технологии оценки степени тяжести состояния пациентов

Перед применением разработанного метода построения классификатора, обучающая информация проходит этап предварительной обработки. Основной целью этого этапа является извлечение из имеющихся данных информативных элементарных правил, называемых также шаблонами, или

паттернами [13–15], характеризующих причины принадлежности объектов к конкретным классам. Шаблоны, как правило, представляются для признаков, измеренных как минимум в интервальной шкале, в виде сравнений с некоторыми пороговыми значениями; для качественных признаков – в виде перечня категорий, характерных для определённых классов. Полученные элементарные правила рассматриваются как категоризированные значения признаков, что позволяет интерпретировать все объясняющие переменные как качественные, каждую со своим набором категорий.

Подход к интерпретации класса не как подмножества обучающей выборки, а как ещё одной составляющей признакового описания объекта даёт возможность рассматривать и объясняющие признаки, и целевой, как однородные показатели (измеренные в одинаковой шкале).

На втором этапе с помощью методов геометрической интерпретации и упрощения структуры данных [16] получают карты представления признаков и классов в некотором обобщённом едином координатном пространстве. Для описанного выше представления обучающей информации и результатов её предварительной обработки наиболее целесообразным представляется применение в качестве метода геометрической интерпретации – множественного корреспондентского анализа.

Полученное пространственное представление обязательно подвергается проверке на точность сохранения связей между отображаемыми показателями в обобщённом пространстве сокращённой размерности. В корреспондентском анализе критерием качества полученного представления является кумулятивный процент инерции, объяснённой выбранными измерениями [16]. При неудовлетворительном качестве полученной проекции необходимо вернуться к предыдущим этапам и пересмотреть параметры применения метода (например, изменить количество измерений пространства окончательной конфигурации), или переформулировать элементарные правила (пересмотреть, уточнить пороговые значения, правила укрупнения и разбиения категорий, и т.п.). Если эти подходы всё равно не позволят добиться приемлемого качества проекции, то возможно получение нескольких независимых карт (например, для каждого класса в отдельности).

На третьем этапе рассчитываются вклады каждого из шаблонов в принадлежность объекта к определённому классу. Для их расчёта используется пространственная карта взаимного расположения классов и шаблонов, полученная на предыдущем этапе. С помощью некоторой выбранной метрики вычисляются расстояния между точками, представляющими шаблоны, и точками, отвечающими классам. Весовой коэффициент некоторого определённого шаблона при оценке принадлежности объекта к конкретному классу оценивается как величина, обратная расстоянию

точки-представителя этого шаблона до точки-представителя этого класса, нормированная на сумму расстояний до этого класса всех точек-представителей шаблонов.

Таким образом, на выходе этапа 3 получается либо математическая модель одного классификатора, либо их набор. В случае нескольких моделей, они затем объединяются в ансамбль с помощью одного из разработанных методов построения композиций классификаторов: “рейтингового голосования” (рис. 2) или “рейтингового голосования по старшинству” (рис. 3).

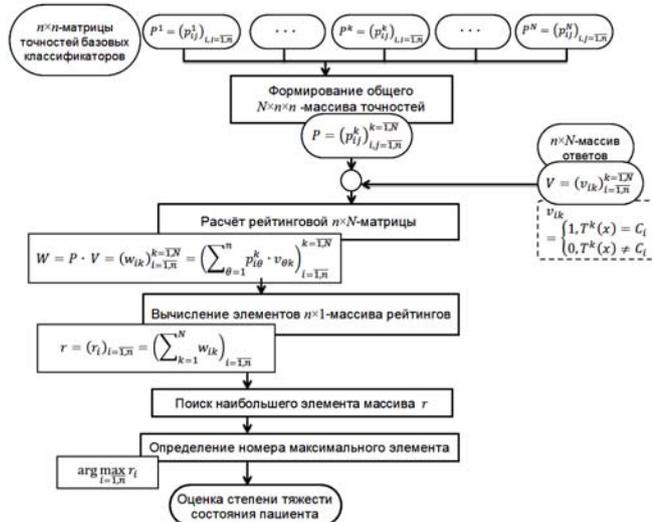


Рис. 2. Алгоритм реализации процедуры рейтингового голосования

В методе “рейтингового голосования” скомбинированы эвристики, лежащие в основе процедуры формирования смеси экспертов и взвешенного голосования [17]. Веса базовых классификаторов, входящих в композицию, вычисляются на основании их оцененной точности при распознавании различных классов, ошибок на

других классах, и ответов, выдаваемых на конкретном объекте.

Применение метода “рейтингового голосования по старшинству” для построения композиции целесообразно в случаях, когда базовые классификаторы можно ранжировать в порядке их точности на различных классах. Этот метод является модификацией метода рейтингового голосования, за счёт добавления к нему стандартного алгоритма действия композиций с логикой старшинства [18], что в некоторых практических приложениях является более уместным и эффективным.

Используемые при разработке информационной технологии методы формирования ансамбля классификаторов в качестве входной информации требуют наличия для каждого базового классификатора матрицы оценок его точности распознавания и ошибок на объектах различных классов. Указанные матрицы могут быть составлены как по обучающей выборке, так и с использованием дополнительной тестовой выборки. Обратим также внимание на то, что под термином “точность распознавания классов”, в отличие от употребляемого более часто термина точность производителя (producer’s accuracy), в данной технологии понимается точность пользователя (user’s accuracy) [19]. Если producer’s accuracy определяется как отношение правильно распознанных классификатором объектов из определённого класса к общему числу объектов в этом классе, то user’s accuracy вычисляется как отношение правильно распознанных объектов класса к общему количеству объектов, отнесённых классификатором к этому классу. Таким образом, по нашему мнению, использование в данной информационной технологии точности пользователя для оценки процента правильных и ошибочных ответов базовых классификаторов на различных классах позволяет более корректно оценить качество их будущей совместной работы.

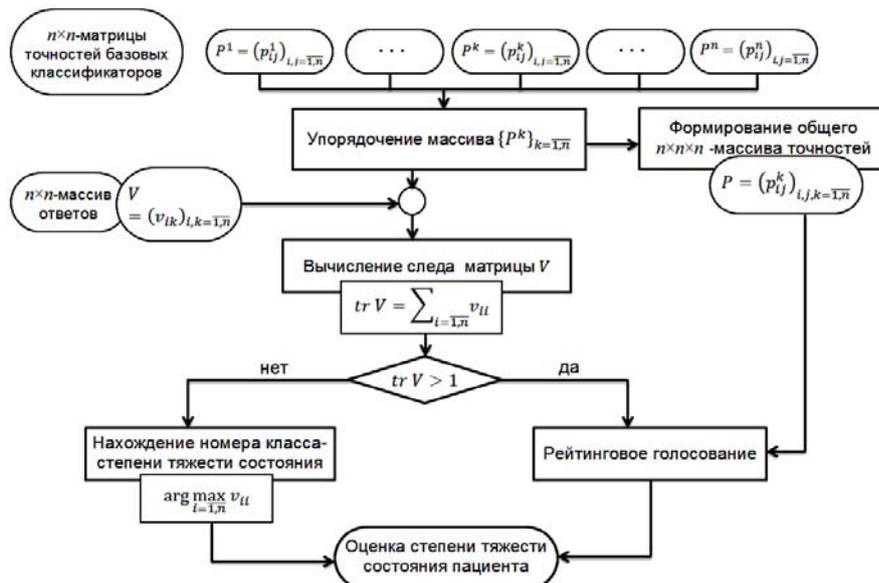


Рис. 3. Алгоритм реализации процедуры рейтингового голосования по старшинству

Итак, на выходе четвёртого этапа технологии имеется комитет алгоритмов классификации, сформированный одним из способов: с помощью “рейтингового голосования” или “рейтингового голосования по старшинству”. Очевидно, что в случае получения на выходе третьего этапа единственного классификатора, четвёртый этап данной информационной технологии не выполняется.

На пятом этапе с использованием тестовой выборки происходит оценка качества распознавания классов, обеспечиваемого разработанной математической моделью классификатора или композиции классификаторов.

При неудовлетворительном качестве классификации, в случае ансамбля классификаторов, возможно возвращение к четвёртому этапу и применение других методов составления алгоритмических композиций. Во всех случаях добиться приемлемого качества классификации можно путём возвращения на второй или первый этапы, которое позволит получить новые графические представления либо формулировки элементарных шаблонов отнесения объектов к классам.

Если же точность классификации, оцененная на пятом этапе с помощью тестовой выборки, признана приемлемой, то реализуется шестой (завершающий) этап разработки информационной технологии оценки тяжести состояния пациентов. Этот этап состоит в создании программного

обеспечения, реализующего математическую модель классификатора и алгоритм голосования ансамбля. Разработанное в рамках предлагаемой информационной технологии программное обеспечение предоставляется конечному пользователю для практического применения.

Информационная технология оценки тяжести состояния пациентов на основе одного классификатора. В технологии оценки степени тяжести состояния пациента, использующей только метод построения одного классификатора (рис. 4), на начальном этапе вводятся данные о конкретном пациенте, степень тяжести состояния которого надо оценить.

Значения необходимых для работы математической модели показателей преобразуются в бинарный вектор (x) в соответствии с элементарными правилами (шаблонами), используемыми классификатором. Сформированный бинарный вектор исходных данных умножается на матрицу весовых коэффициентов шаблонов (W), вычисленную на основании графической интерпретации взаимного расположения степеней тяжести состояния и объясняющих элементарных правил. В результате умножения получается вектор оценок (r), элементы которого отражают, насколько каждая из степеней тяжести состояния характерна для данного пациента. Прогноз степени тяжести состояния пациента, выдаваемый пользователю, получается путём выбора максимального элемента оценочного вектора r.

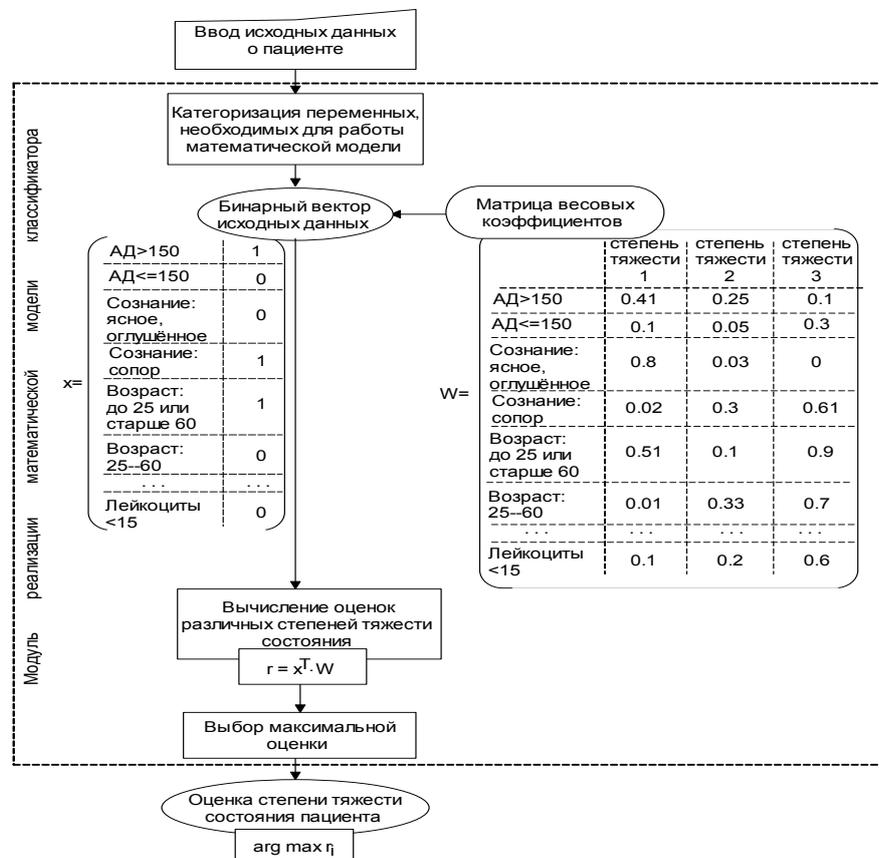


Рис. 4. Информационная технология оценки степени тяжести состояния пациента на основе одного классификатора

Информационная технология оценки тяжести состояния пациентов на основе ансамбля классификаторов. Применение для оценки степени тяжести состояния пациента информационной технологии, основывающейся на нескольких классификаторах, объединённых в ансамбль (рис. 5), происходит следующим образом. После ввода исходных данных о пациенте реализуются математические модели всех базовых классификаторов (каждый в соответствии со схемой на рис. 4) и получается набор прогнозов степени тяжести состояния для данного пациента. Ответы (оценки степени тяжести состояния пациента), полученные в результате применения различных классификаторов, могут, как совпадать, так и быть разными. Для получения единой оценки степени тяжести состояния имеющийся набор ответов записывается в виде бинарного массива, который затем используется в математической модели составления комитета классификаторов. Столбцы массива ответов соответствуют базовым классификаторам, строки – возможным степеням тяжести состояния. На пересечении каждой строки и столбца стоит 1, если соответствующий базовый классификатор отнёс пациента к соответствующей степени тяжести состояния; 0 – в противном случае. Результатом работы математической модели голосования комитета классификаторов является окончательная оценка степени тяжести состояния пациента, которая и выдаётся специалисту.

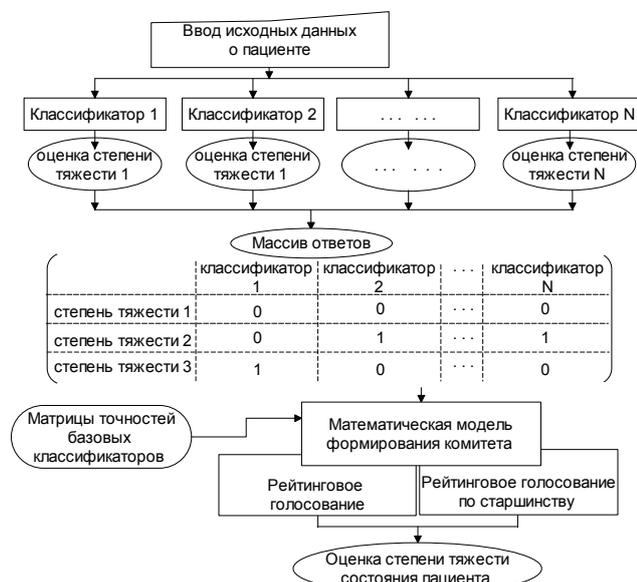


Рис. 5. Информационная технология оценки степени тяжести состояния пациента на основе ансамбля классификаторов

4. Апробация результатов исследований

Разработанная информационная технология была проверена с использованием данных о 232 пациентах с травмой ПЖ и травматическим панкреатитом, проходивших лечение в четырёх ургентных клиниках г. Харькова за последние несколько лет [20]. На основе разработанных методов классификации с обучением и

формирования композиций классификаторов были построены математические модели прогнозирования исхода травмы ПЖ и оценки степени тяжести состояния пациентов. Точность модели прогнозирования исхода, разработанной на основе одного классификатора, составила 86,9%, специфичность (точность прогнозирования благоприятных исходов) – 85,9%, чувствительность (точность прогнозирования летальных исходов) – 87,8%. При оценке степени тяжести состояния построенная математическая модель на основе ансамбля классификаторов показала общую точность 87,1%, распознавая при этом состояния средней тяжести с точностью 88,2%, тяжёлые – с точностью 83,3 %, и критические – с точностью 89,7%. Сравнительный анализ точности, специфичности и чувствительности построенных моделей с математическими моделями, полученными на основе дискриминантного анализа, деревьев решений и логит-регрессии показал преимущество разработанных методов оценки тяжести состояния и прогнозирования исхода при травмах ПЖ в сравнении со стандартными методами построения математических моделей прогноза.

5. Выводы

1. Информационная технология, позволяющая повысить общую точность, специфичность и чувствительность оценки тяжести состояния пациентов, базируется на разработанных методе построения классификаторов по обучающей информации, основанном на анализе представлений, полученных методами геометрической интерпретации структуры данных; методах формирования композиций классификаторов; а также алгоритме совместного использования методов построения классификаторов и их композиций.

2. Информационная технология оценки тяжести состояния пациента на базе только одного классификатора, показала общую точность 86,9 %, специфичность 85,9 %, и чувствительностью 87,8 % при прогнозировании клинического исхода травмы ПЖ и травматического панкреатита.

3. В результате использования информационной технологии оценки степени тяжести состояния пациента, объединяющей методы построения классификаторов и формирования их композиций, осуществлена оценка степени тяжести 232 пациентов с травматическими повреждениями ПЖ, при которой критические состояния распознавались с точностью 89,7 %, тяжёлые – с точностью 83,3 %, и состояния средней тяжести – с точностью 88,2 %.

Литература

1. Fleming, W. R. Pancreatic trauma: Universities of Melbourne HPB Group [Text] / W. R. Fleming, N. A. Collier, S. W. Banting // Aust. N. Z. J. Surg. – 1999. – Vol. 69, No. 5. – P. 602–605.
 2. Потанина, О. К. Опыт использования зарубежных нозонеспецифичных прогностических шкал у больных хирургического и онкологического профиля [Текст] / О. К. Потанина, А. Г. Дорфман, С. Л. Швырёв,

Т. В. Зарубина, М. В. Петрова // Вестник РНЦРР. – 2011. – №3. – С. 74–85.

3. Тюрин, А. С. Прогноз и оценка качества лечения пациентов с переломами костей таза при сочетанной травме: автореф. дисс. на соискание уч. степени канд. мед. наук: спец. 14.01.15 “Травматология и ортопедия” [Текст] / А. С. Тюрин // Российская медицинская академия последипломного образования. – М., 2013. – 18 с.

4. Иванов, П. А. Повреждения органов панкреатодуоденальной зоны [Текст] / П. А. Иванов, А. В. Гришин, Д. А. Корнеев, С. А. Зиняков // Хирургия. Журнал им. Н.И. Пирогова. – 2003. – № 12. – С. 39–40.

5. Вітюк, Т. В. Хірургічне лікування відкритих і закритих пошкоджень підшлункової залози [Текст] / Т. В. Вітюк, Б. В. Доманський, Н. А. Барамія [та ін.] // Проблеми військової охорони здоров'я. Збірник наукових праць. – К.: Янтар. – 2002. – Вип. 11. – С. 387–395.

6. Young, P. R. Pancreatic injuries resulting from penetrating trauma: a multi-institution review [Text] / P. R. Young, J. W. Meredith, C. C. Baker [et al.] // Am. Surg. – 1998. – Vol. 64, No. 9. – P. 838–843.

7. Hannan, E. L. Predictors of mortality in adult patients with blunt injuries in New York State: a comparison of the Trauma and Injury Severity Score (TRISS) and the International Classification of Disease, Ninth Revision-based Injury Severity Score (ICISS) [Text] / E. L. Hannan, L. S. Farrell, S. F. Gorthy [et al.] // J. Trauma. – 1999. – No. 47 (1). – P. 8–14.

8. Ярошецкий, А. И. Интегральная оценка состояния больных и прогноза при тяжелой политравме: автореф. дисс. на соискание уч. степени канд. мед. наук: спец. 14.00.37 “Анестезиология и реаниматология” [Текст] / А. И. Ярошецкий // Российский государственный медицинский университет. – М., 2006. – 26 с.

9. Нессонова, М. Н. Метод построения классификаторов на основании геометрической интерпретации структуры данных [Текст] / М. Н. Нессонова // Актуальні питання фармацевтичної і медичної науки та практики. – 2014. – № 1 (14). – С. 101–103.

10. Nessonova, M. N. Metric Approach Based Classifier [Text] / M. N. Nessonova // Матеріали Всеукр. наук.-практ. конф. студентів та молодих вчених «Актуальні питання створення нових ЛЗ». (25-26 квітня 2013 р.). – Х.: НФУУ, 2013. – С. 269.

11. Нессонова, М. Н. Метод рейтингового голосования комитета алгоритмов в задачах классификации с учителем [Текст] / М. Н. Нессонова // Запорожский медицинский журнал. – Запорожье: ЗГМУ, 2013. – № 1 (76). – С. 101–102.

12. Нессонова, М. Н. Методы оценки степени тяжести состояния пациентов [Текст] / М. Н. Нессонова, М. Л. Кочина // Кибернетика и вычислительная техника. – 2014. – Вып. 175. – С. 74–87.

13. Дюк, В. А. Осколки знаний [Текст] / В. А. Дюк // Экспресс-Электроника. – 2002. – № 6. – С. 60–65.

14. Лбов, Г. С. Группировка объектов в пространстве разнотипных признаков [Текст] / Г. С. Лбов, Т. М. Пестунова // Анализ нечисловой информации в социологических исследованиях. — М.: Наука, 1985. – 226 с.

15. Лекции по логическим алгоритмам классификации [Электронный ресурс] / К. В. Воронцов // Режим доступа: <http://www.ccas.ru/voron/download/LogicAlgs.pdf>.

16. Айвазян, С. А. Прикладная статистика: Классификация и снижение размерности: справ.изд.

[Текст] / С. А. Айвазян, В. М. Буштабер, И. С. Енюков, Л.Д. Мешалкин. – М.: Финансы и статистика, 1989. –607 с.

17. Kuncheva, L. I. Combining pattern classifiers: methods and algorithms [Text] / L. I. Kuncheva // Hoboken, New Jersey: A Wiley- Interscience publication, 2004. – 360 p.

18. Osborne M. L. The seniority logic: A logic for a committee machine [Text] / M. L. Osborne // IEEE Trans. on Comp. – 1977. – Vol. C-26, No. 12. – P. 1302–1306.

19. Congalton, R. G. A Review of Assessing the Accuracy of Classifications of Remotely Sensed Data [Text] / R. G. Congalton // Remote Sens. Environ. – 1991. – No. 37. – P. 35–46.

20. Нессонова, М. Н. Результаты использования информационной технологии оценки тяжести состояния пациентов и прогноза исхода при травме поджелудочной железы [Текст] / М. Н. Нессонова, М. Л. Кочина // Клиническая информатика и телемедицина. – 2013. – № 9, Вып. 10. – С. 102–107.

References

1. Fleming, W. R., Collier, N. A., Banting, S. W. (1999). Pancreatic trauma: Universities of Melbourne HPB Group. Aust. N. Z. J. Surg., Vol. 69, No. 5, 602–605.

2. Potanina, O. K., Dorfman, A. G., Shvyrev, S. L., Zarubina, T. V., Petrova, M. V. (2011). The experience of using foreign diagnosis nonspecific prognostic models for patients of surgical and oncological profiles. Vestnik RNCRR (Journal (Herald) of RSCRR), 3, 74–85.

3. Tyurin, A. S. (2013). Prediction and assessment of the quality of treatment for patients with fractures of the pelvis with associated trauma, 18.

4. Ivanov, P. A., Grishin, A. V., Korneev, D. A., Zinyakov, S. A. (2003). Injuries of pancrea-duodenal organs. Hirurgiya (Surgery). Juranal imeni N. I. Pirogova, 12, 39–40.

5. Vityuk, T. V., Domans'ky, B. V., Baramiya, N. A. (2002). Surgical treatment of open and closed pancreas injuries. Problemy viyskovoi ohorony zdorov'ya, 11, 387–395.

6. Young, P. R., Meredith, J. W., Baker, C. C. (1998). Pancreatic injuries resulting from penetrating trauma: a multi-institution review. Am. Surg., 64 (9), 838–843.

7. Hannan, E. L., Farrell, L. S., Gorthy, S. F. (1999). Predictors of mortality in adult patients with blunt injuries in New York State: a comparison of the Trauma and Injury Severity Score (TRISS) and the International Classification of Disease, Ninth Revision-based Injury Severity Score (ICISS), 47 (1), 8–14.

8. Yaroshetskiy, A. I. (2006). Integrated assessment of patients' state and prognosis in a case of severe multi-trauma, 26.

9. Nessonova, M. N. (2014). The method to develop classifiers based on geometrical interpretation of data structure. Actual'ni pytannya farmaceutychnoi i medychnoi nauky i praktiki, 1 (14), 101–103.

10. Nessonova, M. N. (2013). Metric approach based classifier. Book of abstracts of all-Ukrainians scientific and practical conference of students and young scientists «Actual questions of development of new medicines», 269.

11. Nessonova, M. N. (2013). The rate voting of mixture of experts algorithm in supervised classification problems. Zaporozhskiy medicinskiy zhurnal, 1 (76), 101–102.

12. Nessonova, M. N., Kochina, M. L. (2014). Methods to estimate patient's grade of severity. Kibernetika i vychislit'l'naya tehnika, 175, 74–87.

13. Djuk, V. A. (2002). Smithereens of knowledge. Express-Electronics, 6, 60–65.

14. Lbov, G. S., Pestunova, T. M. (1985) Grouping objects in heterogeneous featured space (in Non-numerical information analysis in social science), 226.

15. Vorontsov, K. V. (2012). Lecture notes on logical classification algorithms. Available at: <http://www.ccas.ru/voron/download/LogicAlgs.pdf>.

16. Aivazyan, S. A., Buchstaber, V. M., Yenyukov, I. S., Meshalkin, L. D. (1989). Applied statistics: Classification and reduction of dimensionality: Reference Edition. Moscow: Financy i statistika, 607.

17. Kuncheva, L. I. (2004). Combining pattern classifiers: methods and algorithms. Hoboken, New Jersey: A Wiley- Interscience publication, 360.

18. Osborne, M. L. (1977). The seniority logic: A logic for a committee machine. IEEE Trans. on Comp., Vol. C-26, No. 12, 1302–1306.

19. Congalton, R. G. (1991). A review of assessing the accuracy of classifications of remotely sensed data. Remote Sens. Environ., 37, 35–46.

20. Nessonova, M. N., Kochina, M. L. (2013). Applying results of the information technology for grade of severity estimation and clinical outcome prediction in a case of pancreas trauma. Clinical Informatics and Telemedicine, 10 (9), 102–107

*Рекомендовано до публікації д-р фіз.-мат. наук Кириченко І. К.
Дата надходження рукопису 15.08.2014.*

Нессонова Марина Николаевна, ассистент, Национальный фармацевтический университет, кафедра фармакоинформатики, ул. А. Невского, 18, г. Харьков, Украина, 61002
E-Mail: saddy_me@mail.ru

УДК 615-65

МНОГОКРИТЕРИАЛЬНАЯ ОПТИМИЗАЦИЯ В ЗАДАЧАХ ФОРМИРОВАНИЯ КОЖЕВЕННЫХ И МЕХОВЫХ МАТЕРИАЛОВ

© **О. В. Сангинова, А. Г. Данилкович, С. В. Брановицкая**

В работе выполнен сравнительный анализ эффективности различных способов получения компромиссного решения в задачах условной многокритериальной оптимизации. Исследование проводилось для ряда инновационных технологий формирования материалов из кожи и меха.

Ключевые слова: компромиссная область, задача оптимизации, физико-химические процессы, кожаные и меховые материалы.

The comparative analysis of the efficiency of different ways to obtain a compromise solution in the multi-objective constrained optimization tasks has been conducted. The analysis was performed for a number of innovative technologies of leather and fur materials forming.

Keywords: compromise area, optimization task, physical and chemical processes, leather and fur materials.

1. Введение

К настоящему времени накоплен значительный опыт решения задач многокритериальной оптимизации. Существующие методы решения основаны на сведении исходной задачи к одной или нескольким задачам однокритериальной оптимизации. Известно, что от выбора схемы компромисса для конкретной задачи зависит трудоемкость, а иногда и возможность ее решения; при этом решения, полученные для одного класса задач, могут оказаться непригодными либо неэффективными для другого класса задач [1–3]. Эффективность рассмотренных ниже схем компромиссов проанализирована на примере моделей, представленных наиболее распространенными типами уравнений, описывающих различные процессы и стадии получения кожаных и меховых материалов.

Целью данной работы является сравнительный анализ эффективности некоторых наиболее часто используемых вычислительных схем получения компромиссных решений для процессов формирования кожаных и меховых материалов.

2. Постановка проблемы

Пусть качество объекта оптимизации оценивается вектор-функцией

$$f(\bar{x}) = (f_1(\bar{x}), f_2(\bar{x}), \dots, f_k(\bar{x})), \quad (1)$$

компонентами которой являются заданные функции $f_j(\bar{x})$ ($j = 1, 2, \dots, k$) вектора $\bar{x} = (x_1, x_2, \dots, x_n)$. Вектор \bar{x} , таким образом, принадлежит множеству X его возможных значений. На переменные x_i ($i = \overline{1, n}$), как правило, накладываются ограничения вида

$$l_j \leq x_j \leq u_j \quad (j = 1, 2, \dots, n), \quad (2)$$

либо

$$q_i(\bar{x}) \leq b_i \quad (i = 1, 2, \dots, m). \quad (3)$$

Будем называть множеством допустимых значений вектора \bar{x} ограниченное и замкнутое множество D , которое формируют ограничивающие функции (2) и (3).

Требуется найти такую точку $\bar{x}^* \in D$, которая обеспечит оптимальное значение функций $f_1(\bar{x}), f_2(\bar{x}), \dots, f_k(\bar{x})$ на множестве D .

В рассматриваемом случае поставленная цель характеризуется несколькими функциями $f_i(\bar{x})$, а задача оптимизации заключается в поиске условного минимума или максимума всех критериев. Решение сформулированной задачи требует нахождения компромисса между критериями $f_1(\bar{x}), f_2(\bar{x}), \dots, f_k(\bar{x})$, которые в общем случае являются противоречивыми.