



Носовець О. К.,
Яценко О. В.,
Древко Р. Ю.

РОЗРОБКА АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ ДІАГНОСТУВАННЯ ЦИРОЗУ ПЕЧІНКИ ТА ВИБОРУ ОПТИМАЛЬНОГО ВАРІАНТУ ЛІКУВАННЯ

Робота присвячена розробці автоматизованої системи, що призначена для діагностування цирозу печінки на основі біохімічних аналізів, визначення оптимального дозування препарату Д-пеніциламін та аналізу перебігу захворювання. Розробка даної системи дозволить підвищити ефективність діагностики та прогнозування перебігу даного захворювання за рахунок використання математичних моделей, побудованих на інформативних прогностичних ознаках.

Ключові слова: цироз печінки, автоматизована система, прогнозування, логістична регресія.

1. Вступ

Цироз печінки — це хронічне захворювання, кількість випадків діагностування якого, згідно даних Всесвітньої організації охорони здоров'я [1] зростає кожного року. Воно призводить до поступового зниження функціонування органу та зрештою до повної втрати ним працездатності. Це в свою чергу, веде до погіршення якості життя хворого і його подальшої загибелі. Саме тому, своєчасне виявлення даного захворювання та вибір адекватного лікування є актуальним завданням.

Відомо, що діагностувати цироз печінки можна за допомогою ультразвукового або радіоізотопного дослідження, комп'ютерної томографії. Лапароскопія і біопсія також допомагають визначити неоднорідність печінки і селезінки, стадію цирозу. Однак, дані методи вимагають затрат часу та коштів, тому в першу чергу, необхідно провести біохімічний аналіз крові, результати якого містять дані про показники, що відображають стан печінки. Сукупність цих показників, одночасно з даними анамнезу хворого дають змогу створювати діагностичні моделі, що дозволяють з високою точністю не лише виявляти захворювання, а й прогнозувати його подальший перебіг.

2. Аналіз літературних даних та постановка проблеми

Сучасний стан розвитку науки та техніки робить можливим впровадження новітніх засобів математичного моделювання та створення інформаційних систем в усі сфери діяльності людства, в тому числі і сферу охорони здоров'я. Це робить можливим підвищити точність визначення різноманітних захворювань, зменшити витрати на діагностичні засоби та полегшити роботу лікарів.

На використанні математичного моделювання в медицині та в гематології базуються побудови експертних систем [2, 3] та методики обробки біомедичних даних для прогнозування та пошуку різноманітних закономірностей [4, 5].

На сьогоднішній день існує велика кількість підходів до діагностування захворювань печінки. Так, в роботі [6] методи математичного моделювання застосовані для

діагностики алкогольної хвороби печінки. Використано дискримінантний аналіз, що дозволив класифікувати об'єкти оптимальним способом за мінімум ймовірності хибної класифікації. Підхід, викладений в даній роботі, передбачує застосування лише кількісних показників, без врахування якісних ознак обстеженого.

Ряд робіт зарубіжних вчених [7] присвячений математичному моделюванню захворювань печінки на основі бесівської вірогідності та критерію максимальної правдоподібності. Однак, показники використані при розробці моделей вимагають проведення біопсії або інших оперативних втручань, що ускладнює їх практичне застосування.

Таким чином, незважаючи на велику кількість існуючих досягнень в сфері математичного моделювання захворювань печінки, створення діагностичних моделей на основі простих лабораторних ознак є досі актуальним.

3. Об'єкт, ціль та задачі дослідження

Об'єкт дослідження — процес визначення та аналізу перебігу цирозу печінки з використанням інформаційних технологій.

Ціль дослідження — розробка інформаційної системи діагностування та аналізу перебігу лікування цирозу печінки на основі результатів математичного моделювання.

Для досягнення поставленої цілі сформовані наступні задачі:

- 1) відбір інформативних прогностичних ознак, що характеризують наявність захворювання печінки;
- 2) побудова математичної моделі визначення захворювання печінки;
- 3) побудова математичної моделі визначення стану печінки у віддаленому періоді з врахуванням призначеного лікування препаратом Д-пеніциламін;
- 4) проектування та реалізація інформаційної системи діагностування та аналізу перебігу лікування захворювання печінки.

4. Матеріали та методи дослідження

В дослідження були включені дані 412 обстежених, які були поділені на дві групи по ступеню ураженню

печінки (1 група – 113 (27,4 %) практично здорових обстежених та обстежених з ураженнями печінки малого ступеню та 2 група – 299 (72,6 %) хворих з ураженнями 3–4 ступеню, асоційованого з цирозом печінки). Всі хворі були проінформовані про обстеження та надали згоду на використання клінічного матеріалу в дослідницьких цілях.

Дані включали в себе загальні відомості про обстежених, результати біохімічних аналізів крові та призначене лікування. Варто зауважити, що дані містили ретроспективний масив (дані первинного обстеження) та проспективний масив (дані після лікування, в тому числі статус захворювання обстеженого після закінчення лікування). Для першої групи в ретроспективному масиві містились дані про стан обстежених у віддаленому періоді.

В якості методів аналізу даних використані методи кореляційного аналізу та бінарна логістична регресія. Інформаційна система за допомогою Microsoft Visual Studio 2013 та Microsoft Access 2013.

5. Результати досліджень особистісних показників обстежених для створення математичних моделей та розробки автоматизованої системи діагностування

Для побудови математичних моделей проаналізовані 24 показники, що були включені до бази даних та виділено ряд ознак, які є інформативними для прогностичних цілей (табл. 1). Значимість даних ознак підтверджена аналізом літературних джерел [8, 9].

Таблиця 1

Аналіз показників обстежених

Показник	Змінна	Коефіцієнт кореляції	p-value
Білірубін	x_1	0,418	0,001
Протромбіновий час	x_2	0,355	0,005
Вік	x_3	0,441	0,017
Лужна фосфатаза	x_4	0,369	0,002
Аспаратамінотрансфераза	x_5	0,489	0,001
Паукоподібна ангиома	x_6	0,383	0,001
Гепатомегалія	x_7	0,342	0,001
Асцит	x_8	0,329	0,001

Для побудови прогностичних моделей використано метод побудови рівняння бінарної логістичної регресії [10], що визначає структуру факторів, які є впливовими для діагностування цирозу печінки та для аналізу перебігу захворювання. Загальний вигляд моделі:

$$p = \frac{1}{1 + e^{-z}}, \text{ де } z = a_m \cdot x_m + a_{m-1} \cdot x_{m-1} + \dots + a_0, \quad (1)$$

де p – вірогідність наявності захворювання печінки; e – експонента, основа натуральних алгоритмів; z – показник, що визначає ступінь впливу суми прогностичних ознак на наявність цирозу печінки; $a_{1...m}$ – вагові коефіцієнти рівняння регресії; $E_{1...m}$ – ознаки, що впливають на наявність захворювання печінки.

Перша отримана модель визначає вірогідність наявності захворювання печінки високого ступеня (в т. ч. цирозу печінки) та включає всі визначені на першому кроці інформативні ознаки:

$$p = \frac{1}{1 + e^{-z}}, \text{ де } z = 0,229 \cdot x_1 + 0,638 \cdot x_2 + 0,059 \cdot x_3 + 0,001 \cdot x_4 + 0,008 \cdot x_5 + 0,388 \cdot x_6 + 0,575 \cdot x_7 + 2,349 \cdot x_8 - 12,839. \quad (2)$$

Якість моделі оцінювалась за показниками функції подібності, за результатами якої розраховані значення показника χ^2 -квадрат (151,6, $p = 0,001$).

Аналіз прогностичної можливості побудованої моделі дозволив отримати показники чутливості 0,898 та специфічності 0,808, загальний процент правильно класифікованих значень – 86,2 %.

Друга модель визначає вірогідність наявності захворювання печінки високого ступеня (в т. ч. цирозу печінки) у віддаленому періоді після проведеного лікування *Д-пеніциламіном*, призначене дозування якого включено в модель (змінна x_{10}). Це дозволило при розробці інформаційної системи розраховувати мінімально можливе дозування препарату, що в достатній мірі мінімізує значення вірогідності наявності захворювання високого ступеня у віддаленому періоді при відомих початкових показниках пацієнта (початкова стадія захворювання – x_9). Даний етап був викликаний необхідністю визначення оптимального дозування, що призводить в свою чергу до зменшення побічних ефектів після закінчення лікування.

Загальний вигляд логіт-моделі:

$$p = \frac{1}{1 + e^{-z}}, \text{ де } z = 0,237 \cdot x_1 + 0,471 \cdot x_2 + 0,063 \cdot x_3 + 0,002 \cdot x_4 + 0,008 \cdot x_5 + 0,456 \cdot x_6 + 0,398 \cdot x_7 + 2,742 \cdot x_8 + 0,340 \cdot x_9 - 1,395 \cdot x_{10} - 10,931.$$

Якість моделі оцінювалась за показниками функції подібності, за результатами якої розраховані значення показника χ^2 -квадрат (166,3, $p = 0,001$).

Аналіз прогностичної можливості побудованої моделі дозволив отримати показники чутливості 0,898 та специфічності 0,794, загальний процент правильно класифікованих значень – 82,1 %.

Підтвердженням високої якості результуючих моделей є побудовані ROC-криві, площа під якими склала $S = 0,724$ ($p < 0,001$) для першої моделі (рис. 1, а) та $S = 0,679$ ($p < 0,001$) для другої моделі (рис. 1, б).

Автоматизована система, розроблена для практичної реалізації отриманих математичних моделей, призначена для вирішення проблеми діагностування та підбору оптимального лікування захворювань печінки. Вона може бути без значних зусиль адаптована під інші лікувальні препарати. Узагальнена структура системи зображена на рис. 2.

Розробка автоматизованої системи відбувалася у відповідності до стандарту ISO/IEC 12207:2009.

Наочне відображення підпроцесів, що включає в себе процес розробки програмного продукту у вигляді просторових ліній використано діаграми декомпозиції (рис. 3).

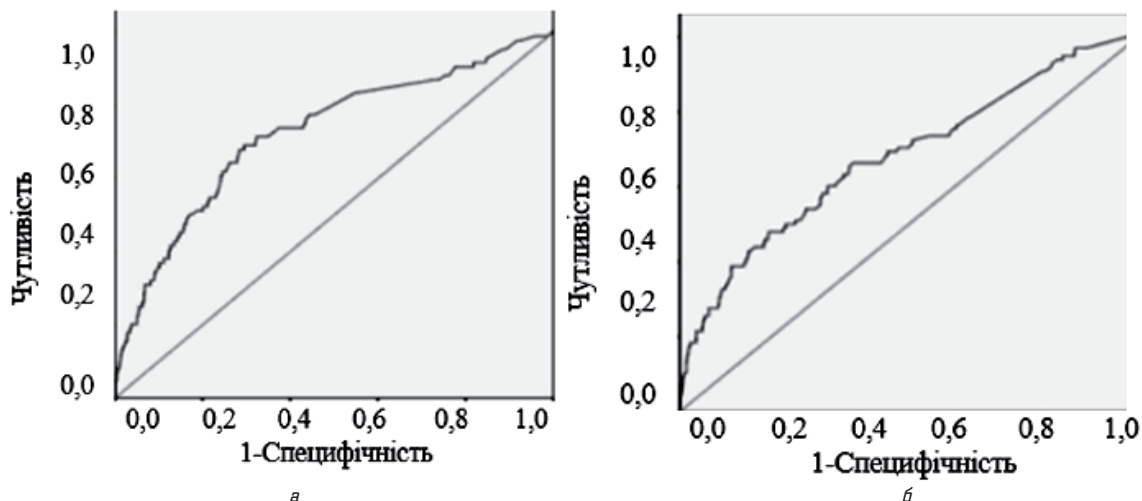


Рис. 1. Оцінка якості математичних моделей діагностування захворювання печінки методом бінарної логістичної регресії з застосуванням ROC-кривих: а — модель визначення первинного стану; б — модель визначення стану у віддаленому періоді

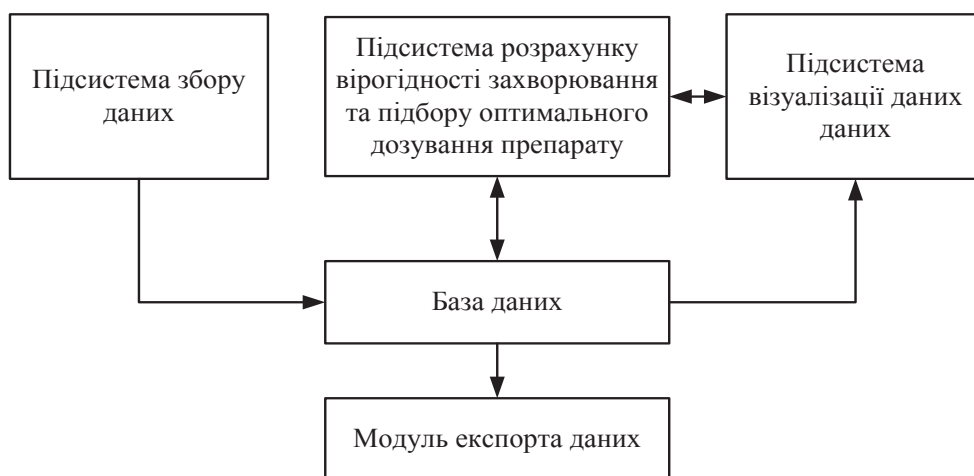


Рис. 2. Узагальнена структура автоматизованої системи

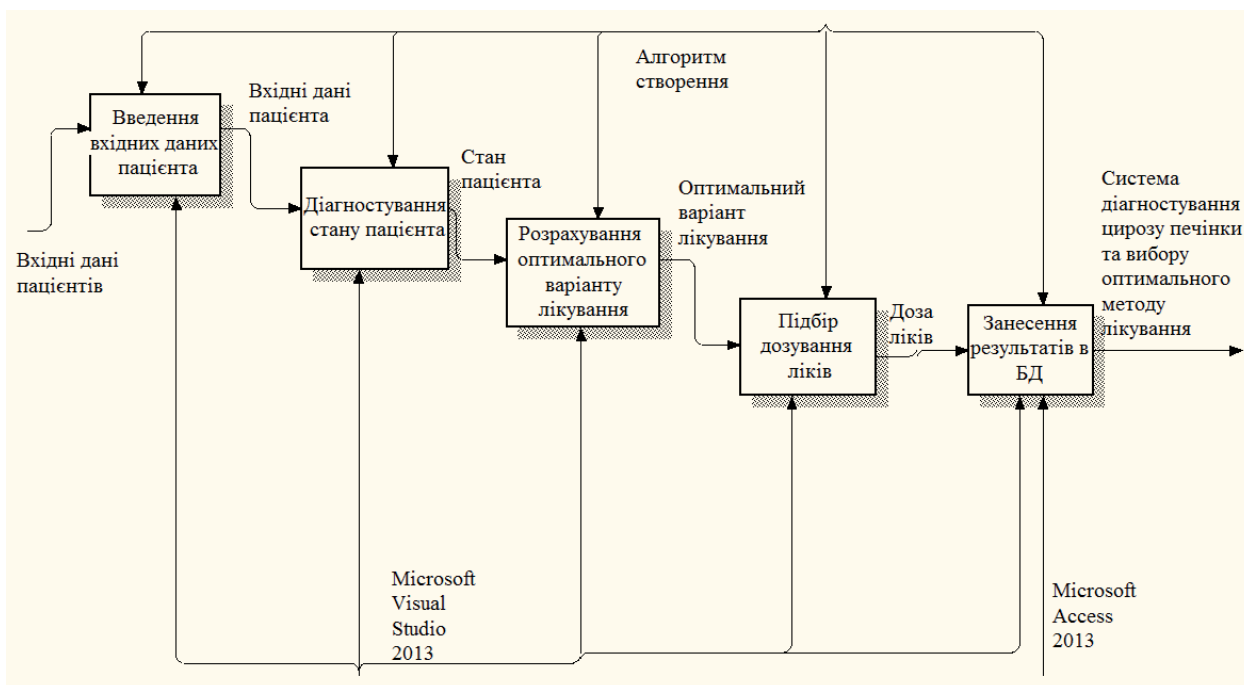


Рис. 3. Діаграма декомпозиції першого рівня

Робота розробленої системи перевірена на тестовій вибірці, до якої включені 20 обстежених та отримані результати точності класифікації 84,9 %.

6. Обговорення результатів створення математичних моделей виявлення цирозу печінки та створення автоматизованої діагностичної системи

Правильність відібраних інформативних ознак, які відібрані за допомогою кореляційного аналізу підтверджена літературними даними та високою точністю отриманих математичних моделей. Визначено, що показники включені на етапі побудови моделей, впливають на наявність захворювань печінки високих ступенів ($p < 0,001$).

Якість наближення регресійної моделі оцінена за допомогою функції подібності (подвоєне значення логарифма цієї функції $-2LL$) та визначена величиною χ^2 -квадрат для першої моделі — 151,6 ($p = 0,001$), для другою моделі — 166,33 ($p = 0,001$).

Частина дисперсії поясненої за допомогою логістичної регресії склала 57,8 % для першої моделі та 59,9 % для другої.

Отримані результати точності класифікації свідчать про правильність віднесення до груп обстежених у 84,1 % всіх випадків.

Валідність автоматизованої системи, що реалізує розроблені математичні моделі, підтверджена тестуванням на незалежність тестовій вибірці. Загальна точність класифікації склала 84,9 %.

Результати проведеного дослідження свідчать про можливість створення системи діагностування цирозу печінки на основі простих біохімічних показників крові. Аналіз ефективності оцінки дієвості проведеного лікування зроблено у віддаленому періоді на прикладі препарату *Д-пеніциламін*, однак в подальшому необхідно розвивати можливості системи включаючи до неї інші варіанти лікування.

7. Висновки

1. За результатами проведеного кореляційного аналізу, виділено ряд інформативних прогностичних ознак, що є чутливими до наявності цирозу печінки та можуть бути використані в діагностичних цілях.

2. Побудована математична модель визначення захворювання печінки, отримана методом бінарного логічного регресійного аналізу та включає виділені прогностичні ознаки. Ефективність даної моделі склала 86,2 %.

3. Створена математична модель визначення стану печінки у віддаленому періоді дозволяє прогнозувати стан обстеженого на основі первинного стану та підбору дозування препарату *Д-пеніциламін* з точністю 82,1 %.

4. Розроблена на основі математичних моделей інформаційна система діагностування та аналізу перебігу лікування захворювання печінки дозволила вирішити задачі збору та накопичення даних, визначення стану печінки та підбору оптимального дозування препарату з точністю 84,9 %.

Література

1. World Health Organization. Health statistics and information systems [Electronic resource] // World Health Organization. — 2016. — Available at: \www/URL: http://www.who.int/about/en/

2. Satarkar, S. L. Fuzzy expert system for the diagnosis of common liver disease [Text] / S. L. Satarkar, M. S. Ali // International Engineering Journal For Research & Development. — 2015. — Vol. 1, № 1. — P. 2–7.
3. Neshat, M. Fuzzy Expert System Design for Diagnosis of Liver Disorders [Text] / M. Neshat, M. Yaghobi, M. B. Naghibi, A. Esmaelzadeh // 2008 International Symposium on Knowledge Acquisition and Modeling. — Institute of Electrical & Electronics Engineers (IEEE), 2008. — P. 252–256. doi:10.1109/kam.2008.43
4. Remien, C. H. Mathematical modeling of liver injury and dysfunction after acetaminophen overdose: Early discrimination between survival and death [Text] / C. H. Remien, F. R. Adler, L. Waddoups, T. D. Box, N. L. Sussman // Hepatology. — 2012. — Vol. 56, № 2. — P. 727–734. doi:10.1002/hep.25656
5. Huo, T.-I. Selecting an optimal prognostic system for liver cirrhosis: the model for end-stage liver disease and beyond [Text] / T.-I. Huo, S.-D. Lee, H.-C. Lin // Liver International. — 2008. — Vol. 28, № 5. — P. 606–613. doi:10.1111/j.1478-3231.2008.01727.x
6. Лифшиц, В. Б. Математическое моделирование в диагностике алкогольной болезни печени [Текст] / В. Б. Лифшиц, С. П. Сернов // Вестник современной клинической медицины. — 2010. — № 3. — С. 106–108.
7. Fraser, P. M. Mathematical models for the diagnosis of liver disease. Problems arising in the use of conditional probability theory [Text] / P. M. Fraser, D. A. Franklin // The Quarterly Journal of Medicine. — 1974. — № 43(169). — P. 73–88.
8. Abdeldayem, H. Liver Transplantation — Basic Issues [Text] / H. Abdeldayem, N. Allam. — Rijeka, Croatia: InTech, 2012. — 428 p. doi:10.5772/1473
9. Di Martino, V. New prognostic markers in liver cirrhosis [Text] / V. Di Martino, D. Weil, J. Cervoni, T. Thevenot // World Journal of Hepatology. — 2015. — Vol. 7, № 9. — P. 1244–1250. doi:10.4254/wjh.v7.i9.1244
10. Peduzzi, P. A simulation study of the number of events per variable in logistic regression analysis [Text] / P. Peduzzi, J. Concato, E. Kemper, T. R. Holford, A. R. Feinstein // Journal of Clinical Epidemiology. — 1996. — Vol. 49, № 12. — P. 1373–1379. doi:10.1016/s0895-4356(96)00236-3

РАЗРАБОТКА АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ ДИАГНОСТИРОВАНИЯ ЦИРОЗА ПЕЧЕНИ И ВЫБОРА ОПТИМАЛЬНОГО ВАРИАНТА ЛЕЧЕНИЯ

В работе отражены результаты разработки автоматизированной системы, предназначенной для диагностики заболевания печени (в первую очередь цирроза печени) на основе биохимических анализов, определения оптимальной дозировки препарата Д-пеницилламин и анализа течения заболевания. Разработка данной системы позволит повысить эффективность диагностики и прогнозирования течения заболевания печени за счет использования математических моделей, построенных на информативных прогностических признаках.

Ключевые слова: цирроз печени, автоматизированная система, прогнозирование, логистическая регрессия.

Носовець Олена Костянтинівна, кандидат технічних наук, старший викладач, кафедра біомедичної кібернетики, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут», Україна, e-mail: e.nosovets@yandex.ru.

Яценко Олена Володимирівна, старший викладач, кафедра біомедичної кібернетики, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут», Україна.

Древо Роман Юрійович, кафедра біомедичної кібернетики, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут», Україна.

Носовец Елена Константиновна, кандидат технических наук, старший преподаватель, кафедра биомедицинской кибернетики, Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт», Украина.

Яценко Елена Владимировна, старший преподаватель, кафедра биомедицинской кибернетики, Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт», Украина.

Древко Роман Юрьевич, кафедра биомедицинской кибернетики, Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт», Украина.

Nosovets Olena, National Technical University of Ukraine «Kyiv Polytechnic Institute», Ukraine, e-mail: e.nosovets@yandex.ru.

Yatsenko Olena, National Technical University of Ukraine «Kyiv Polytechnic Institute», Ukraine.

Drevko Roman, National Technical University of Ukraine «Kyiv Polytechnic Institute», Ukraine

УДК 514:519.6

DOI: 10.15587/2312-8372.2016.72051

Тернюк И. А.

РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ УРАВНЕНИЙ РЕАЛЬНЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ ЛОПАТОК И АЛГОРИТМА РАСЧЕТА НОРМИРУЕМЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ТОЧНОСТИ МОНОКОЛЕС ГАЗОТУРБИННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

Получена в общем виде система уравнений, описывающая реальные поверхности лопаток моноколес газотурбинных двигателей, полученные после механической обработки, с учетом погрешностей дифференцированных по вызывающим их факторам. Предложен алгоритм расчета нормируемых показателей точности моноколес газотурбинных двигателей с использованием этой системы.

Ключевые слова: погрешность, механическая обработка, лопатки, моноколеса, газотурбинный двигатель, алгоритм.

1. Введение

Цельные рабочие колеса компрессоров и турбин газотурбинных двигателей (ГТД) содержат лопатки с фасонными поверхностями, к которым предъявляются требования по точности поверхности и взаимного расположения. Схемы формообразования и режимы обработки этих колес существенно влияют на суммарную погрешность этих деталей. В связи с этим необходимо иметь алгоритм расчета погрешностей указанных моноколес, позволяющий прогнозировать точностные характеристики лопаток.

Основная проблема расчета погрешностей обработки поверхностей моноколес вытекает из особенностей формы и схемы контроля отклонений реальных поверхностей от эталонных. Для ее решения необходимо иметь специальный алгоритм, учитывающий эти особенности и нормативные требования к точности изделий, что и обосновывает актуальность проведенного исследования.

Традиционные методы расчета погрешностей механической обработки, применяемые для цилиндрических, конических, плоских и других видов деталей, неприемлемы для решения задач прогнозирования точности фасонных поверхностей лопаток цельных колес компрессоров и турбин ГТД, в связи с отсутствием аналитических зависимостей и алгоритмов для определения погрешностей формы и взаимного расположения поверхностей лопаток в соответствии с нормативными требованиями.

2. Анализ последних публикаций

В работе [1] приведена общая методика учета факторов, влияющих на точность механической обработки. В работе [2] дан алгоритм расчета нормируемых погрешностей одного из видов деталей с периодически повторяемыми поверхностями — зубчатых колес, применительно к стандартным характеристикам точности. В работах [3–5] описана технология обработки моноколес ГТД высокоскоростным фрезерованием. При этом экспериментально определены значения нормируемых показателей точности [4] и предложена методика [6–8] проведения 3-D коррекции траектории инструмента. Известны методы уменьшения деформации нежестких лопаток во время обработки [9] однако до настоящего времени не приведены аналитические зависимости и не разработан алгоритм расчета погрешностей обработки поверхностей лопаток моноколес ГТД.

3. Объект, цель и задачи исследования

Объект исследования — погрешности обработки поверхностей лопаток цельных рабочих колес компрессоров и турбин ГТД

Цель исследования — разработать аналитические зависимости и предложить алгоритм расчета погрешностей обработки поверхностей лопаток цельных рабочих колес компрессоров и турбин ГТД.