

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ОДЕСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ЕКОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет Магістерської та
аспірантської підготовки

Кафедра інформаційних технологій

МАГІСТЕРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на тему: Структурно-параметричне моделювання технологічного
оснащення для формоутворення ливарних форм

Виконав студент 2 року групи МК- 61
спеціальності 122 – комп'ютерні
науки
Гальцев Максим Вікторович

Керівник к. т. н., доцент
Великодний Станіслав Сергійович

Консультант _____

Рецензент к. ф.-м. н., доцент
Буяджи Василь Володимирович

Одеса 2018

АНОТАЦІЯ

Структурно-параметричне моделювання технологічного оснащення для формоутворення ливарних форм. Гальцев М. В.

Метою магістерської роботи є розробка математичних моделей та методів автоматизації проектування технологічно-го оснащення, а також вирішення на цій основі важливого науково-технічного завдання – підвищення гнучкості й ефективності технологічної підготовки виробництва виробів із пластмас.

Об'єкт дослідження – процес автоматизованого проектування технологічного оснащення для формоутворення пластмасових деталей.

Предмет дослідження – моделі і методи автоматизованого проектування виливних форм.

Розроблена структурно-параметрична модель конструкцій ЛФ, яка на відміну від відомих дозволяє будувати дерева структурних властивостей елементів форми для альтернатив ЛФ. Розроблена модель дає можливість генерувати безліч варіантів вибору для конструктора ЛФ. Отримали подальший розвиток системні моделі ЛФ, що володіють можливістю поширення на новий клас об'єктів, якими є ЛФ.

Для реалізації моделей і методів була розроблена програма з використанням СУБД FireBird, яка підтвердила їх працездатність і ефективність. Спосіб реалізації розроблених моделей і методів дасть можливість створити єдину інтегровану систему, що складається з САД і розробленої САПР ТО.

Результати проведених експериментів показали, що розроблена САПР:

- зменшує витрати часу на етапі розробки 3D-моделі на 32%;
- зменшує витрати часу на етапі завдання вихідних даних для проектування ТО на 52% за рахунок розроблених моделей і методів;
- в порівнянні з аналогами дозволяє використовувати недороге обладнання, так як має менший об'єм ресурсів ПЕОМ при автоматичному проектуванні, що знижує ступінь прив'язки до сучасних ПЕОМ;
- має можливість підключення до створеної САПР модуля проектування програм для верстатів з ЧПК, що дасть можливість підвищити рівень інтеграції з САПР ТП та знизити трудомісткість проектування за рахунок автоматичного програмування в системі із ЧПУ.

Дипломна робота магістра містить 79 сторінок, 26 ілюстрацій, 13 таблиць, перелік посилань з 50 найменувань.

ТЕХНОЛОГІЧНЕ ОСНАЩЕННЯ, МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ, СТРУКТУРНО-ПАРАМЕТРИЧНИЙ ОПИС, ФОРМОУТВОРЕННЯ, ЛИВАРНА ФОРМА, СУБД

SUMMARY

Structural-and-Parametric Simulation of Technological Equipment for Shaping of Foundry Molds. Haltsev M. V.

The purpose of the master's work is to develop mathematical models and methods of design automation tooling, and Resolving important scientific and technological objectives – increasing the flexibility and efficiency of technological preparation of production of plastic products.

The object of study – a process aided design tooling for forming plastic parts.

Purpose of the study – models and methods of computer-aided design pouring forms.

The block-parametric model structures ALP, which unlike the famous tree allows you to build the structural properties of form elements for alternatives ALP. The model makes it possible to generate a lot of choices for designer ALP. Ad-duced systematic description of alternatives and criteria for their selection in the form of models that reflect the relationships between the elements of the four selected alternatives LF.Otrymaly further development of system models LB, possessing the ability to spread to a new class of objects, which are the ALP.

To implement the models and methods of program was developed using database FireBird, which confirmed their efficiency and effectiveness. Method of developed models and methods will enable a single integrated system consisting of SAD and developed CAD maintenance.

Results of the experiments showed that the developed CAD:

- reduces the time spent during the development phase 3D-model by 32%;
- reduces the time spent on the task output stage design for maintenance by 52% due to the developed models and methods;
- in comparison with analogues allows low-cost equipment, as well as a smaller amount of resources with automatic PC design, which reduces the degree of binding to the modern PC;
- has the ability to connect to established CAD module design programs for CNC machines, which will allow to increase the level of integration of CAD Automation and reduce design complexity by automatically programming the system with CNC.

Master thesis contains 79 pages, 26 illustrations, 13 tables, list of references from 50 name.

TECHNOLOGICAL EQUIPMENT, MATHEMATIC MODEL, STRUCTURAL AND PARAMETRIC DESCRIPTION, FORMING, MOLDS, DBMS

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, ОДИНИЦЬ ВИМІРЮВАННЯ, СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ	7
ВСТУП	8
1 ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ ЗА ТЕМОЮ ДОСЛІДЖЕННЯ	11
1.1 Аналіз методів математичного моделювання при структурно- параметричному описі оформляючих деталей ливарних форм	11
1.2 Огляд математичних моделей і методів оптимального проектування технологічної оснастки	14
1.3 Мета і постановка задачі дослідження	18
2 СТРУКТУРНО-ПАРАМЕТРИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ФОРМОУТВОРЮЮЧОЇ ОСНАСТКИ	20
2.1 Структурно-параметричний опис конструкції ливарної форми	20
2.2 Розробка системної моделі технологічної оснастки	27
3 РОЗРОБКА МЕТОДУ РОЗРАХУНКУ КОНСТРУКТИВНИХ ПАРАМЕТРІВ ОСНАСТКИ	32
4 РОЗРОБКА І ВПРОВАДЖЕННЯ КОМП'ЮТЕРНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ АВТОМАТИЗОВАНОГО ПРОЕКТУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОЇ ОСНАСТКИ	51
4.1 Обґрунтування вибору СУБД і мови програмування, розробка бази даних	51
4.2 Опис інтерфейсу розроблюваної системи	56
4.3 Експериментальне дослідження адекватності розроблених моделей та методів при автоматизованому проектуванні технологічної оснастки ..	64
4.4 Експериментальне дослідження трудомісткості технологічної підготовки виробництва	71
ВИСНОВКИ	74
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ	76

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, ОДИНИЦЬ ВИМІРЮВАННЯ, СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ

БД – база даних;
ВК – впускний канал;
БЛФ – безлітникова форма;
ВПО – всерединомашинне представлення об'єкту;
ВФ – виливна форма;
КЕ – конструктивний елемент;
ЛК – ливарний канал;
ЛМ – ливарна машина;
ЛФ – ливарна форма;
ЛФЗЛ – ливарна форма з затверділими літниками;
ЛФНЛ – ливарна форма з незатверділими літниками;
ЛФП – ливарна форма з піднутріннями;
ОД – оформляючі деталі;
ООД – обладнання-оснастка-деталь;
ОП – оформляюча поверхня;
РК – розвідний канал;
САПР – система автоматизованого проектування;
ТЗ – технічне завдання;
ТО – технологічна оснастка;
ТПВ – технологічна підготовка виробництва;
ТР – технічне рішення;
ЦК – центральний ливарний канал;
ЧПУ – числове програмне управління;
CAD – система автоматизованого проектування;
CAE – система автоматизованих розрахунків;
CAM – система підтримки виробництва;
PDM – модулі для вирішення прикладних задач.

ВСТУП

Актуальність теми. На сьогоднішній день потреба у виробках із полімерних матеріалів зросла, що визначає прискорене зростання їх виробництва, а поява нових високоміцних і термостійких полімерних матеріалів, вдосконалення процесів їх переробки розширює область застосування полімерів у машинобудуванні, авіабудуванні, автомобілебудуванні, приладобудуванні, верстатобудуванні, електротехнічній, радіоелектронній промисловості та інших.

У сучасних системах автоматизованого проектування (САПР) при проектуванні технологічного оснащення (ТО) для виготовлення виробів із пластмас недостатньо враховуються особливості пластмасового матеріалу виробу, які пов'язані з нестабільністю технологічних та конструктивних характеристик матеріалу (усадка, удароміцність, термостійкість, вологостійкість та інші), що призводить до розриву етапів проектування виробів, виливних форм (ВФ) та до багатоетапності виготовлення ВФ. Багатоетапність обумовлена необхідністю фізичного моделювання процесів формоутворення виробів і здійснення цих процесів на експериментальних зразках ВФ. Тому вдосконалення процесу проектування ТО в рамках інтегрованих САПР, з урахуванням особливостей пластмасових матеріалів і необхідності раціонального вибору конструктивних елементів ТО для різних альтернатив ВФ, є актуальним завданням.

Мета і завдання дослідження. Метою магістерської роботи є розробка математичних моделей та методів автоматизації проектування технологічного оснащення, а також вирішення на цій основі важливого науково-технічного завдання – підвищення гнучкості й ефективності технологічної підготовки виробництва виробів із пластмас.

Для досягнення поставленої мети роботи необхідне вирішення таких завдань:

- провести аналіз існуючих математичних моделей, що описують структурні і параметричні характеристики технологічного оснащення, а також аналіз методів його автоматизованого проектування;

- розробити інформаційну модель виливної форми, модель середовища її функціонування, структурно-параметричну модель і системну модель на мові регулярних системних моделей, які дозволять розробити математичне і програмне забезпечення інтегрованої системи автоматизованого проектування технологічного оснащення;

- розробити метод пошуку площини роз'єму ВФ і метод розрахунку конструктивних параметрів технологічного оснащення, які дозволять підвищити точність інтерполяції траєкторії переміщення ріжучої кромки інструменту верстата ЧПУ;

- розробити інтегровану систему автоматизованого проектування, яка дозволить визначити порядок проектування технологічного оснащення і характер зв'язків конструктивних елементів та забезпечить технічну реалізацію запропонованих моделей і методів.

Об'єкт дослідження – процес автоматизованого проектування технологічного оснащення для формоутворення пластмасових деталей.

Предмет дослідження – моделі і методи автоматизованого проектування виливних форм.

Методи дослідження: теорія множин для опису середовища функціонування ТО; теорія графів і регуляризації для структурно-параметричного моделювання технологічного оснащення; теорія опуклих множин для опису геометрії деталі, що виготовляється.

У роботі отримано такі наукові результати.

Розроблено інформаційну модель структури виливної форми, модель її функціонування, структурно-параметричну і системну модель технологічного оснащення на мові регулярних системних моделей, які дозволять:

- отримати раціональну конструкцію проектного оснащення завдяки тому, що враховуються конкретні технічні обмеження, які накладаються навколишнім середовищем;

- генерувати множину альтернатив виливної форми, що дозволить уникнути необґрунтованого ускладнення завдання проектування;

- розробити математичне і програмне забезпечення інтегрованої системи автоматизованого проектування технологічного оснащення.

Набув подальшого розвитку метод ухвалення технічного рішення при проектуванні технологічного оснащення, який надасть можливість підвищити ефективність проектування і зменшити час на проектні роботи.

Вдосконалені методи пошуку площини роз'єму виливної форми і розрахунку конструктивних параметрів технологічного оснащення, які дають можливість запобігти деформації виробу при його витяганні з форми, враховують усадку матеріалу, дозволяють підвищити точність лінійної та кругової інтерполяції траєкторії переміщення ріжучої кромки інструменту верстата ЧПК, та забезпечують підвищення точності виробів, які виготовляються.

Практичне значення отриманих результатів. Розроблені математичні моделі, методи автоматизації проектування та програмний продукт можуть бути використані при технологічній підготовці виробництва у машино- та приладобудуванні, електротехнічній промисловості тощо.

1 ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ ЗА ТЕМОЮ ДОСЛІДЖЕННЯ

1.1 Аналіз методів математичного моделювання при структурно-параметричному описі оформляючих деталей ливарних форм

Аналіз експлуатації ЛФ показав, що якість ливарних виробів, після того як встановленні їх матеріал і конструкція в значній степені визначається конструкцією форми і її деталей. Появлення дефектів лиття, продуктивність процесу, собівартість також визначаються конструкцією ЛФ. Отже, проектування ЛФ є важливим етапом підготовки і впровадження в виробництво виробів з термопластів.

Проектувати ЛФ необхідно на базі розроблених математичних моделей, які повинні повністю врахувати всі особливості оснастки. Перед початком розробки математичних моделей ЛФ необхідно розробити модель виготовляємого виробу, яка повинна відображати загальні відомості про полімерну деталь і її геометричні властивості.

Центральне місце в процесах ТПВ виготовлення виробів з полімерів займає інтерактивна машинна графіка. Предметом машинної графіки є представлення і обробка графічної інформації з використанням ЕОМ. Введення графічної інформації в ЕОМ – це початковий етап процесу створення в її пам'яті моделі (того чи іншого креслення графіку, схеми та ін.), що дозволяє надалі виконувати аналіз і перетворення в відповідності з заданими алгоритмами рішення тих чи інших конкретних задач [1]. Через відсутність спеціалізованих ЕОМ по обробці графічної інформації, моделі тих чи інших виробів з полімерів, які створюються в застосовуваних САПР цифрових ЕОМ, вносять цифровий характер. Вид цих деталей залежить від алгоритмів і відповідних програм, що керують процесом вводу графічної інформації.

При проектуванні нових полімерних виробів реальному об'єкту ставиться в відповідність модель, над якою можуть бути здійсненні перетворення з використанням обчислюваних методів (наприклад, методу кінцевих елементів) На стадії ескізного проектування, широке застосування отримали графічні критерії і характеристики, побудова яких потребує більшого трудомісткого об'єму обчислень, тому виникає необхідність автоматизувати ці процеси. Велику роль під час технологічної підготовки виробництва за допомогою ЕОМ, грають засоби контролю за ходом проектування, які засновуються на використанні операційних ескізів, а також виникає задача виводу графічної інформації. Тобто, в машинобудуванні використання САПР перед-

бачає широке застосування системи машинної графіки на будь-якому етапі виробництва [2].

Графічна обробка даних опирається на методи обчислюваної математики. Ці методи дозволяють представити геометричні залежності в вигляді відповідної моделі і є інструментом для її інтерпретації та модифікації [3].

В автоматизованому проектуванні ТО найчастіше використовуються методи наскрізної, аналітичної, проєктивної та диференційної геометрії. В наскрізній геометрії трьохмірні об'єкти відображаються на площину. Предметом аналітичної геометрії є дослідження геометричних об'єктів з застосуванням обчислюваних методів, а в диференційній геометрії аналізуються властивості геометричних фігур, які описуються диференційним функціями або рівняннями. В проєктній геометрії вивчаються властивості елементів геометричних образів, які зберігаються при проектуванні [4].

При описанні та конструюванні зовнішніх форм полімерного виробу, що проектується з використанням ЕОМ, існують два підходи. Перший – заснований на методах точного аналітичного опису кривих та поверхонь, другий – використовує наближенні методи: метод інтерполяції та апроксимації.

Велика різноманітність поверхонь зустрічається в деталях. Існує ряд способів формалізованого опису поверхонь деталей, серед яких в САПР широко застосовуються кінематичний та аналітичний способи завдання поверхні.

Аналітичний метод опису поверхонь використовується в системах машинної графіки і підготовки керуючих програм для станків з ЧПУ. При описанні таких кривих і поверхонь використовуються різні методи інтерполяції, що базуються на методах аналітичної геометрії. Кінематичний метод опису поверхонь, заснований на певному законі переміщення законне переміщення утворюючої щодо направляючої [5, 6].

Широке застосування при опису більш складних поверхонь деталей ЛФ отримали методи проєктивних перетворення, параметричне завдання координат точок кривих і поверхонь, застосування сплайн-функцій [7].

В проєктивній геометрії чотири координати (x, y, z, t) або три координати (x, y, z) при t не рівному нулю, називаються однорідними координатами точки в просторі або на площині. Співвідношення між декартовими та однорідними координатами має вигляд $x = \frac{x}{t}, y = \frac{y}{t}, z = \frac{z}{t}$.

Проектування перетворення (обертання, переміщення об'єкта тощо) описується наступними уніфікованим матричним перетворенням:

$$T = (x, y, z, t) = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} & a_{14} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} & a_{24} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} & a_{34} \\ a_{41} & a_{42} & a_{43} & a_{44} \end{bmatrix}.$$

Не всі криві та поверхні, які використовуються в САПР, можна описати простими функціями виду $y = f(x)$, $z = f(x, y)$. Недоцільність застосування таких функцій, визначена наступними факторами: вибір системи координат не повинен впливати на результат опису фігури: опис тих ділянок і поверхонь геометричного об'єкту, які паралельні обраним координатним площинам тощо [8].

Більш універсальним при проектуванні деталей ЛФ є параметричне задання кривих та поверхонь. Наприклад, пласка крива має вигляд: $x = x(u)$, $y = y(u)$, а просторова крива, в проективному просторі має вигляд: $x = x(u)$, $y = y(u)$, $z = z(u)$. Поверхня описується як $y = y(u, v)$, $z = z(u, v)$. Використання параметричного представлення кривих та поверхонь можна пояснити тим, що кожному значенню параметрів u , в випадку кривих або кожному значенню параметрів v , в випадку поверхонь відповідає одне значення залежних змінних, але при цьому кожна змінна змінюється незалежно від інших робить вплив на форму (кривої). Якщо форма деталі ЛФ, яка проектується, визначається не тільки за допомогою точок, а залежить, наприклад, від параметрів, які задані в диференційній формі, то об'єм оброблюваної інформації збільшується.

Широке використання САПР ТО для опису поверхонь деталей ЛФ отримали наближені методи: апроксимація та інтерполяція (окремий випадок апроксимацій, в якому потрібне узгодження вихідної і апроксимуючої кривої або поверхні в заданих опорних точках). Задача апроксимації заключається в визначенні наближеного опису для вихідної кривої або поверхні [9]. Такий наближений опис часто оброблюють за допомогою методу Фергюсона. Вихідні криві та поверхні повинні задовольняти обмеженням, що накладаються методами апроксимації.

Суть методу Фергюсона – апроксимація кривих та поверхонь (рис. 1.1). Крива описується рівнянням виду:

$$P(v) = mv^3 + nv^2 + pv + q,$$

де v – параметр; m, n, p, q – вектори.

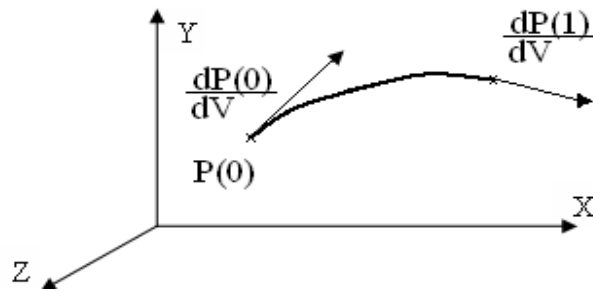


Рисунок 1.1 – Параметрична крива в формі Фергюсона

Для визначення цих векторів необхідно зробити наступні припущення: значення параметру v в початковій точці кривої рівно 0, а в кінцевій – 1; задані координати кінцевих точок кривої $P(0)$ і $P(1)$, а також похідні в цих точках. Вектори m, n, p, q знаходяться з рішення наступної системи рівнянь:

$$\begin{aligned} A &= P(0) = q; \quad B = P(1) = m + n + p + q; \\ C &= \left. \frac{dP}{dV} \right|_{V=0} = p; \quad D = \left. \frac{dP}{dV} \right|_{V=1} = 3m + 2n + p. \end{aligned}$$

Звідси отримаємо: $m = 2(A - B) + C + D$; $n = 3(B - A) - 2C - D$; $p = C$; $q = A$.

Параметрична крива, задана в формі Фергюсона, має наступні властивості: крива повністю визначена умовами, заданими в граничних точках; дотичні до кривої, які проведені в граничних точках, колінеарні векторам похідної по параметру v , тому можливе гладке з'єднання сегментів кривих, якщо рівні координати їх граничних точок і співпадають напрямлення параметричних похідних в цих точках [10].

В практиці також застосовується рад інших методів опису кривих та поверхонь.

Таким чином, вищеописані методи не повністю дозволяють описати оформляючі деталі ЛФ з необхідною точністю, так як вони не враховують нестабільність усадкових властивостей пластмаси.

1.2 Огляд математичних моделей і методів оптимального проектування технологічної оснастки

В процесі розробки САПР ТО виникає проблема оптимального проектування, яка полягає в вирішенні задачі визначення оптимальних значень

конструктивних елементів ЛФ, які дозволяють підвищити точність інтерполяції ОП при автоматизованому програмуванні систем ЧПУ обладнання для виготовлення оснастки, підвищити точність і життєстійкість виробів, які виготовляються; оптимальне розміщення площини роз'єму для того, щоб уникнути появи дефектів ливарного виробу та ін.

Математична модель оптимального проектування ТО представляє собою формалізований опис критерію якості, умов, які забезпечують виконання заданих функцій ЛФ, вимоги, що пред'являються до окремих параметрів оснастки и др.

Саме в формуванні математичної моделі полягає постановка задачі оптимального проектування ТО, яке передуює визначенню мети та відповідного критерію оптимізації. Не облік яких-небудь обмежень може призвести до небажаних ефектів (наприклад, передчасний вихід з ладу ЛФ або низьке значення техніко-економічних показників та інших характеристик об'єкту). Якщо обмежень в надлишку – підвищують складність моделі, алгоритмів, що використовуються та ін., а також збільшуються затрати машинного часу.

При постановці задач оптимального проектування ТО значну роль відіграє аналіз сумісності параметричних, дискретизованих та функціональних обмежень. Параметричними називають обмеження M_1 виду:

$$x'_i \leq x_i \leq x''_i,$$

де x_i – i -й параметр ТО;

x'_i и x''_i – відповідно мінімальний та максимальний значення i -го параметру.

Дискретизовані обмеження M_2 мають вигляд:

$$x_j = \{x_{j1}, x_{j2}, \dots, x_{jk}\},$$

де x_j – j -й параметр ТО;

x_{jk} – допустимі дискретні значення j -го параметру ($k = \overline{1, m}$).

Функціональні обмеження M_3 , які накладаються на параметри проектів, представляють собою умови зв'язку їх значень та мають вигляд:

$$g_i(x) \leq 0; g_j(x) = 0; g_k(x) < 0.$$

де $g_i(x)$ – обмеження, які накладені на i -й параметр ТО;

$g_j(x)$ – обмеження, які накладені на j -й параметр ТО;

$g_k(x)$ – обмеження, які накладені на k -й параметр ТО.

Таким чином, допустиме підпростір проектування D представляє собою множину точок простору проектування R^n , задовольняючих обмеженням (1.4) – (1.6). Якщо виявиться, що $D = \{x / M_1, M_2, M_3\} = \emptyset$, тобто допустимий підпростір проектування є пустою множиною, то необхідно переглянути обмеження (1.4) – (1.6) і виявити протиріччя.

Пошук оптимальних рішень можливий, якщо D містить хоча б дві точки. Указаний аналіз можна здійснити за допомогою ЕОМ. В результаті, задачу оптимального проектування формулюють так: необхідно знайти таке $x^* \in D$, для якого $Q(x^*) = \min_{x \in D} Q(x)$. Знайдений в результаті рішення задачі x^*

– оптимальне рішення, а $Q(x^*)$ – оптимальне значення критерію оптимальності. Існує множина способів побудови узагальнених критеріїв. Серед них

найчастіше застосовують: $Q(x) = \sum_{i=1}^S \lambda_i Q_i(x)$, де $Q_i(x)$ – нормоване значен-

ня i -го критерію оптимальності; λ_i – ваговий коефіцієнт. Значення вагового коефіцієнту встановлюють виходячи з ступені важливості того чи іншого критерію на основі досвіду або методом експертних оцінок. Іноді задачу вирішують для декількох поєднання вагових коефіцієнтів і потім вибирають найбільш відповідне рішення. Метод зважених сум найбільш зручний для критеріїв оптимальності, які вимірюються в однакових одиницях або в відносних величинах.

Для рівноцінних критеріїв оптимальності узагальнений вектор можна побудувати в вигляді суми, де $Q_i(x)$ – i -й критерій оптимальності; $Q_i^*(x)$ – оптимальне значення i -го критерію, знайденого при рішенні задачі x з цільовою функцією $Q_0(x) = Q_i(x)$, де S – кількість окремих приватних критеріїв.

Якщо побудова узагальненого критерію оптимальності неможлива або недоцільно, то застосовують способи оптимізації головного з багатьох критеріїв або послідовної оптимізації всіх критеріїв. В першому випадку обирають найбільш важливий критерій і виконують по ньому оптимізацію, а інші критерії враховують в вигляді обмежень на їх значення. Якщо оптимізацію виконують послідовно, то спочатку встановлюють послідовність їх оптиміза-

ції, потім вирішують задачу оптимізації з одним першим критерієм і знаходять його оптимальне значення Q_1^* , після цього – по другому критерію, але при цьому в модель вводять додаткове обмеження: $Q_1(x) = Q_1^* \pm \delta_1$, де δ_1 – поступка по першому критерію. Аналогічно вирішують задачу оптимізації по іншим критеріям, де на кожному кроці в модель додаються обмеження по попереднім критеріям. Таким чином, отримане в результаті оптимальне рішення x^* багато в чому визначається значеннями компоненту вектору уступок δ .

Для визначення їх найкращих значень задачу оптимізації ТО вирішують по критерію: $T(x) = \min_{1 \leq i \leq m} \max_x (Q_i(x) - Q_i^* - \delta_i)$, де m – приватний критерій.

В залежності від виду математичної моделі при розв'язуванні задач оптимального проектування ТО, частіше всього використовуються методи: дослідження функцій класичного аналізу, метод множників Лагранжа, методи випадкового пошуку та інші.

Метод множників Лагранжа, наприклад, закладається в введенні p невизначених множників $\lambda_i = (j = 1, 2, \dots, p)$ і побудови функції Лагранжа

$$F = Q(x) - \sum_{j=1}^p \lambda_j g_j(x).$$

Для визначення оптимальних значень змінних $x_i (i = 1, 2, \dots, n)$ розв'язують систему з $n+p$ рівнянь: $\partial F / \partial x_i = 0$, $i = \overline{1, p}$ відносно відомих x і λ .

В практиці САПР ТО також використовуються наступні методи: метод повного перебору (метод сіток); градієнтні методи (метод нормуючих множників тощо); прямі, непрямі методи тощо [11 – 13].

Суть градієнтного методу полягає в наведеному пошуку рішень в просторі варійованих параметрів ТО. Градієнт функції $F(x)$ в загальному вигляді має вигляд:

$$\nabla F = \left\{ \frac{\partial F}{\partial x_1}, \frac{\partial F}{\partial x_2}, \dots, \frac{\partial F}{\partial x_i}, \dots, \frac{\partial F}{\partial x_n} \right\},$$

де $\frac{\partial F}{\partial x_i} = q_i$ – проекція вектору ∇F на ось x_i .

При градієнтних методах процедура пошуку виглядає так. Задаються початковою точкою простору $X_n = \{x_i^n\}$, де $i = 1, 2, \dots, n$. Потім дають припущення для кожної i -й компоненти, пропорційне q_i і деякому коефіцієнту пропорційності k_i : $\Delta x_i = \pm k_i q_i$, знак якого залежить від того, в яку сторону необхідно рухатися: збільшення або зменшення функції $F(x)$. Нові значення компонент вектору $\{x_i\}$ знаходяться, як $x_i = x_i + \Delta x_i$ і відповідно нове значення функції тоді: $F(x_i + \Delta x_i)$. При достатньо малих Δx_i загальне припущення функції складе: $\Delta F(X) = \sum_{i=1}^n q_i \Delta x_i$.

В САПР ТО також використовується метод дослідження функцій класичного аналізу, який представляє собою відомі методи диференційного обчислення. Екстремум цільової функції $Q(x)$ знаходять із необхідної умови його існування, тобто похідна в точці повинна бути дорівнює нулю. Тоді оптимальне рішення x^* можна знайти із системи рівнянь:

$$\partial Q / \partial x_i = 0; \quad i = 1, 2, \dots, n.$$

Якщо рівняння (1.8) нелінійні, то розв'язувати їх систему аналітичним шляхом вдається дуже рідко, тому, в цих випадках використовують і відповідні чисельні методи або методи нелінійного програмування. В останньому випадку задачу розв'язання системи (1.8) зводять до задачі мінімізації функції: $f(x) = \sum_{i=1}^n (\partial Q / \partial x_i)^2$.

Таким чином, дослідженні найбільш поширені математичні моделі і методи оптимального проектування ТО. Існуючі методи і математичні моделі не дозволяють повністю формалізувати проектування ТО для формоутворень РЕА деталей, зокрема, відсутній комплексний системний підхід щодо побудови моделей інформаційного опису ЛФ, середовища її функціонування, структурно параметричної і системної оснастки.

1.3 Мета і постановка задачі дослідження

Огляд літератури за темою досліджень, аналіз результатів наукових досліджень в області автоматизації проектування і моделювання ТО, технічних рішень ряду провідних фірм об'єднаних дав можливість обґрунтувати завдання необхідні для досягнення мети дослідження. Аналіз показав наступне:

1) на сьогоднішній день єдина класифікація ЛФ і форм для інших методів переробки відсутня, що пояснюється великою різноманітністю конструкцій виробів з різних полімерних матеріалів і безліччю конструкцій ливарних форм.

2) конструювання ЛФ засноване на новітніх досягненнях науки і техніки в областях переробки термопластів у вироби, опору матеріалів, гідравліки, теплопередачі, технології обробки металів у поєднанні з аналізом роботи найбільш вдалим конструкцій ЛФ, проте, ряд питань недостатньо вивчений (наприклад, проектування ОД).

3) особлива увага приділяється підготовці моделей, розрахунку та оптимізації конструкцій, практичному застосуванню методу проектування ЛФ, але вони не враховують або не повністю враховують таку технологічну особливість при проектуванні, як усадка, яка залежить не тільки від типу ливарного матеріалу, але і від форми виробу, що виготовлюється.

4) існуючі математичні моделі, які описують структурні та параметричні характеристики ТО і методи автоматизації проектування не в повній мірі враховують весь комплекс параметрів, які є визначальними при розробці керуючих програм верстатів з ЧПК для виготовлення оснастки.

На підставі аналізу проблем, що виникають при проектуванні ТО, була визначена мета дисертаційної роботи – розробка моделей і методів автоматизації проектування ТО, а також рішення на цій основі важливої науково-технічної задачі - підвищення гнучкості та ефективності ТПВ виробів з пластмас.

Для досягнення мети необхідно вирішити такі завдання:

- провести аналіз існуючих математичних моделей, що описують структурні та параметричні характеристики ТО, а також аналіз методів її автоматизованого проектування;

- розробити інформаційну модель структури ЛФ, модель середовища функціонування, структурно-параметричну модель і системну модель ТО на мові регулярних системних моделей, які дозволять розробити математичне та програмне забезпечення інтегрованої системи автоматизованого проектування ТО;

- розробити метод пошуку площині роз'єму ЛФ і метод розрахунку конструктивних параметрів ТО, що враховують усадку матеріалу виробу, що дозволяє підвищити точність лінійної та кругової інтерполяції траєкторії переміщення ріжучої кромки інструменту верстата з ЧПУ і забезпечити підвищення точності виготовлених виробів.

2 СТРУКТУРНО-ПАРАМЕТРИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ФОРМОУТВОРЮЮЧОЇ ОСНАСТКИ

2.1 Структурно-параметричний опис конструкції ливарної форми

Другий розділ магістерської роботи присвячений структурно-параметричному опису конструкції ЛФ, розробці системної моделі технологічної оснастки і методу розрахунку її конструктивних параметрів.

В процесі автоматизованого проектування і створення САПР ТО можливість структурно-параметричного опису ЛФ має суттєве значення, так як вона показує х яких блоків, деталей, вузлів складається ЛФ і як ці компоненти взаємодіють між собою, які їхні вагові, габаритні характеристики та ін., що дозволить генерувати безліч альтернатив ЛФ. Кожному етапу проектування можна зіставити свою модель об'єкта і тим самим уникнути необґрунтованого ускладнення завдання проектування.

Нехай структурно-параметричний граф містить ієрархію опису об'єкту проектування $\{x_i \in E^{N_i}, i = \overline{0, k}\}$, визначається його приналежність до безлічі $X_i \subset E^{N_i}$ (область пошуку), що породжується введеними вище рівнями структурного і параметричного описів. Розмірності N_i векторів проектних параметрів x_i зв'язані нерівностями: $N_0 > N_1 > \dots > N_k$; вектор x_k дає агрегований опис ТО етапу попереднього проектування, вектор x_0 відповідає детальному опису ТО етапу робочого проектування. Перехід з i -го рівня на $(i-1)$ -й, $i = k, k-1, \dots, 1$, був здійснений на основі проектно-конструкторського опрацювання проекту «в глибину», але не всі значення x_i допустимі, так як, будучи формалізованою, «допустимість» того чи іншого значення x_i визначається його приналежністю до множини (області пошуку) $X_i \subset E^{N_i}$, що виділений з E^{N_i} деяким сімейством обмежень. Множина X_i задана в вигляді двох типів обмежень $X_i = \overline{X}_i \cap \tilde{X}_i$. Перша група обмежень, виділена з E^{N_i} множина $\overline{X}_i$, які не впливають безпосередньо на якість функціонування ТО, але відображають геометричні і функціональні зв'язки між його структурними складовими, сюди входять: компоновальні, розмірні обмеження [14].

Друга група обмежень – безпосередньо зв'язана з якістю функціонування ТО і формалізує вимоги ТЗ, який надходить від замовника системи на

стадії зовнішнього проектування, сюди відносяться: обмеження на технічні характеристики (система ООД).

Під структурно-параметричним описом розуміється опис, який показує, з яких підсистем, блоків, деталей складається ЛФ, як ці компоненти поєднані і взаємодіють між собою, які їх вагові, габаритні характеристики та ін. ЛФ має наступну структуру (рис. 2.1).



Рисунок 2.1 – Схема узагальненої структури ливарної форми

Відсутність задовільної класифікації ЛФ і форм для інших методів переробки пояснюється великою різноманітністю конструкцій виробів з різних полімерних матеріалів і безліччю конструкцій форм. В той же час в різних конструкціях ЛФ зустрічаються однакові елементи, які мають одне і те ж призначення і мають вирішальний вплив на процес формування термопластів при литті під тиском [15 – 17].

Поділ ЛФ на системи дозволяє класифікувати конструктивні різновиди кожної з них і компоувати загальну конструкцію форми з різних конструктивних різновидів системи.

На базі інформаційної моделі для ЛФ з твердне літниками ЛФЗЛ, моделі середовища її функціонування, де конструкція однієї з альтернатив представлена на рис. 2.1. запропонуємо структурно-параметричне опис, який можна представити у вигляді математичної моделі:

$$LF_3 = \langle OfD_3, SNapE_3, SVit_3, SOchl_3, SVipor_3, LitS_3, PIR_3 \rangle,$$

де OfD_3 – оформляючі деталі;

$SNapE_3$ – система направляючих елементів;

SVit₃ – система виштовхування;
 SOchl₃ – система охолодження;
 SVipor₃ – система випарів (вентилювання);
 LitS₃ – ливарна система;
 PIR₃ – площа роз'єму.

Для опису оформляючих деталей ЛФ OfD₃ запропонований запис:

$$\text{OfD}_3 = \langle \text{ID}_3, \text{Name}_{3i}, \text{Type}_{3i}, \text{Form}_{3i}, \text{Rasp}_{3i}, \text{Mat}_{3i} \rangle, i = \overline{1, q},$$

де ID₃ – номер оформляючої деталі;

Name_{3i} – назва «елементу» (матриця; пуансон и т. д.) оформляючих деталей при, q – кількість типів (видів) «елементів» ОД;

Type_{3i} – тип оформляючих деталей (наприклад, матриця складова);

Form_{3i} – форма (конструкція) оформляючих деталей;

Rasp_{3i} – місце розміщення «елементів» оформляючих деталей;

Mat_{3i} – матеріал оформляючих деталей.

Параметр система направляючих елементів SNaPE₃ опишемо як:

$$\text{SNaPE}_3 = \langle \text{ID}_3, \text{Name}_{3i}, \text{Type}_{3i}, \text{Form}_{3i}, \text{Rasp}_{3i}, \text{Mat}_{3i} \rangle, i = \overline{1, q},$$

де ID₃ – номер направляючого «елементу»;

Name_{3i} – назва направляючого «елементу»;

Type_{3i} – тип направляючого «елементу» (направляючі колонки і втулки; та ін.), q – кількість типів (видів);

Form_{3i} – форма (конструкція) направляючого «елементу»;

Rasp_{3i} – місце розміщення направляючого «елементу»;

Mat_{3i} – матеріал направляючого «елементу».

Система виштовхування містить такі характеристики:

$$\text{SVit}_3 = \langle \text{ID}_3, \text{Name}_{3i}, \text{Type}_{3i}, \text{Form}_{3i}, \text{Rasp}_{3i}, \text{Mat}_{3i} \rangle, i = \overline{1, q},$$

де ID₃ – номер «елементу» виштовхування;

$Name_{3i}$ – назва «елементу» виштовхування;

$Type_{3i}$ – тип «елементів» (камери для переміщення деталей системи вида-лення; виштовхувачі; штоки: штовхачі; тяги та ін...) виштовхування; q – кіль-кість типів (видів) цих елементів;

$Form_{3i}$ – форма (конструкція) «елементів» виштовхування;

$Rasp_{3i}$ – місце розміщення «елементів» виштовхування;

Mat_{3i} – матеріал «елементів» виштовхування.

Систему охолодження можна виразити в вигляді:

$$SOchl_3 = \langle ID_3, Name_{3i}, Type_{3i}, Form_{3i}, Rasp_{3i}, Mat_{3i} \rangle, i = \overline{1, q},$$

де ID_3 – номер «елементу» охолодження;

$Name_{3i}$ – назва «елементу» охолодження $Type_{3i}$ – тип «елементів» (канали, плити та ін.) охолодження, q – кількість типів (видів) цих елементів;

$Form_{3i}$ – форма (конструкція) «елементів» охолодження;

$Rasp_{3i}$ – місце розміщення «елементів» охолодження;

Mat_{3i} – матеріал «елементів» охолодження;

В систему випарів $SVipor_3$ входять наступні складники:

$$SVipor_3 = \langle ID_3, Name_{3i}, Type_{3i}, Form_{3i}, Rasp_{3i}, Mat_{3i} \rangle, i = \overline{1, q},$$

де ID_3 – номер вентиляційних / газовідвідних «елементів»;

$Name_{3i}$ – назва вентиляційних / газовідвідних «елементів»;

$Type_{3i}$ – тип вентиляційних / газовідвідних «елементів» (канали), q – кіль-кість типів (видів) цих елементів;

$Form_{3i}$ – форма вентиляційних / газовідвідних «елементів»;

$Rasp_{3i}$ – місце розміщення вентиляційних / газовідвідних «елементів»;

Mat_{3i} – матеріал вентиляційних / газовідвідних «елементів».

Ливарну систему (ЛС) можна представити як:

$$LitS_3 = \langle ID_3, Name_{3i}, Type_{3i}, Form_{3i}, Rasp_{3i}, Mat_{3i} \rangle, i = \overline{1, q},$$

де ID_3 – номер «елементів» ливарної системи;

$Name_{3i}$ – назва «елементів» ливарної системи;

$Type_{3i}$ – тип «елементу» (канали; ливарна втулка та ін...) ЛС, q – кількість типів (видів) «елементів» ливарної системи;

$Form_{3i}$ – форма перерізу ливарних каналів;

$Rasp_{3i}$ – місце розміщення «елементів» ливарної системи.

Mat_{3i} – матеріал для ливарних каналів.

Від конструкції ЛС залежить якість поверхні виробу, їх розміри і фізико-механічні властивості. Тип ливарної системи здійснює великий вплив на конструкцію і особливості роботи ЛФ [18];

Площину роз'єму PIR_3 можна представити як:

$$PIR_3 = \langle Type_3, Kol_3, Rasp_3 \rangle,$$

де $Type_3$ – тип площини роз'єму;

Kol_3 – кількість площин роз'єму;

$Rasp_3$ – місце розміщення площин роз'єму.

В даному дослідженні вибраний змішаний тип виробництва (мілкосерійний та середньо серійний), що доказує гнучкість вибраної математичної моделі, а отже, при декомпозиції конструкції ЛФ на структурні одиниці зручно використовувати теорію графів, за допомогою якої можна виразити і формалізувати інформацію [18]. В результаті, отримані дані занесемо до табл. 2.1.

Таблиця 2.1 – Таблиця відповідності

Параметри Ливарні форми	LF ₁ (ЛФ _З) форма з за- тверділи літниками	LF ₂ (ЛФ _Н) форма з не- затверд. лі- тниками	LF ₃ (ЛФ _Б) безливарна форма	LF ₄ (ЛФ _П) форма з пі- днутріння- ми
1	2	3	4	5
dopPIR (додаткова площина роз'єму)	1	0	0	1/0
Height _{LF} (висота фо- рми)	не висок.	висок.	висок.	висок.
Toch _{изд} (точність ви- робу)	≥ 3 класів	2 ÷ 3	≥ 3 клас	≥ 3 клас

Продовження табл. 2.1

1	2	3	4	5
PRO (продуктивність)	100 тис. ÷ 1 млн.	100 тис. ÷ 1 млн.	100 тис. ÷ 1 млн.	≥ 1 млн.
OLit (відділ літників)	1	0	0	1/0
Rlkan, plkan, zkan (підвідний, розвідний канали твердіють)	1	0	0	1/0
H _{вир} (висота виробу)	малогабар./срен.	середньогабар.	крупногабар.	крупногабар.
Width _{вир} (товщина виробу)	середня/велика	мала	середня	середня/велика
Konf (конфігурація виробу)	проста	проста	проста	складна
Raspreditel (розподільник)	0	1/0	0	0

Примітка. Поняття товщина виробу – відношення товщини стінок виробу h до його поверхні S , звідси випливає, що $h/S = 0,0004$ – тонкостінний виріб; $h/S = 0,001$ – середня товщина; $h/S = 0,003$ – товстостінні вироби.

На основі табл. 2.1 був розроблений алгоритм проектування ТО (рис. 2.2). Згідно інформаційної моделі для ЛФ з незатверділими літниками ЛФНЛ, де конструкція одної з альтернатив, зображений на рис. 2.2, запропонуємо структурно-параметричний опис, який можна представити в вигляді математичної моделі [19].

Таким чином, можливість побудови структурно-параметричної моделі має суттєве значення в процесі автоматизованого проектування і створення САПР, так як кожному етапу проектування можна зіставити свою модель і тим самим уникнути негрунтованого ускладнення задачі проектування. Розроблена структурно-параметрична модель конструкцій ЛФ, яка на відміну від відомих [20 – 24] дозволяє будувати дерева структурних властивостей елементів форми для альтернатив ЛФ. Дана модель дає можливість генерувати множину варіантів вибору для конструктора ЛФ.

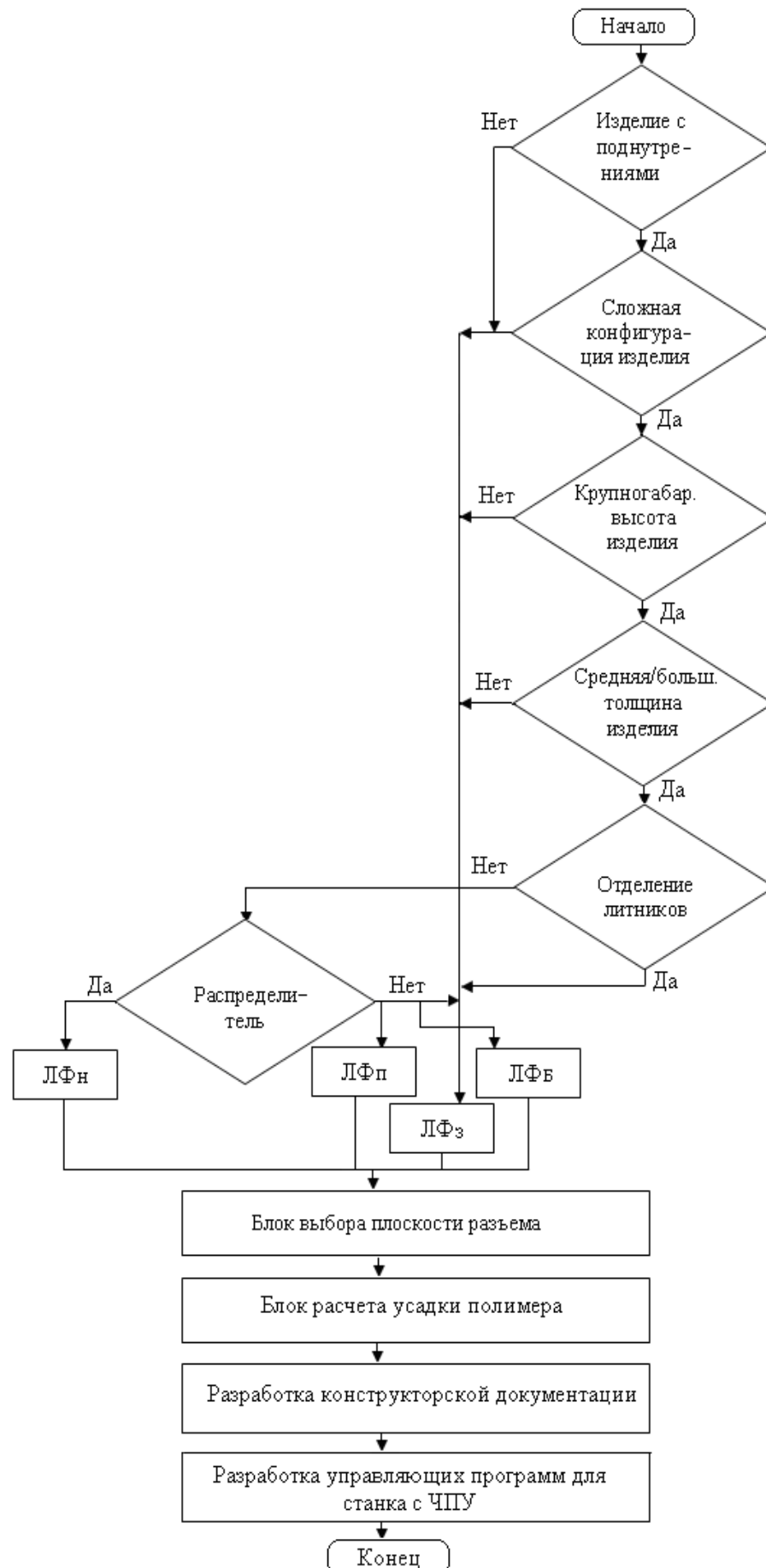


Рисунок 2.2 – Схема алгоритму проектування технологічної оснастки

2.2 Розробка системної моделі технологічної оснастки

На базі дерев структурних властивостей елементів форми стає можливим розробити системну модель ТО, яка буде формальним представленням ТО – це дозволить використовувати методи комп'ютерної обробки системних моделей для того, щоб їх можна було аналізувати і виконувати формальні дії над ними [25].

Системну модель ТО пропонується представити в вигляді графа (рис. 2.8), який складений по графу (рис. 2.3). Аналізувати таке представлення конструкції ЛФ (рис. 2.3) складно і бажано системну модель ТО представити в вигляді, зручному для комп'ютерної обробки. Тому представлена модель ЛФ на мові регулярних системних моделей (PCM) [26]:

$$\begin{aligned}
 R_{\text{ЛФ}} &= [R_{\text{ЛФ}_1} \wedge R_{\text{ЛФ}_2} \wedge \dots \wedge R_{\text{ЛФ}_n}], \\
 R_{\text{ЛФ}_n} &= [R_{\text{ПГ}_1} \wedge R_{\text{ПГ}_2} \wedge \dots \wedge R_{\text{ПГ}_n}], \\
 R_{\text{ПГ}_n} &= [R_{\text{T}_1} \wedge R_{\text{T}_2} \wedge \dots \wedge R_{\text{T}_n}], \\
 R_{\text{T}_n} &= [R_{\text{B}_1} \wedge R_{\text{B}_2} \wedge \dots \wedge R_{\text{B}_n}], \\
 R_{\text{B}_n} &= [R_{\text{КЭ}_1} \wedge R_{\text{КЭ}_2} \wedge \dots \wedge R_{\text{КЭ}_n}],
 \end{aligned} \tag{2.9}$$

де $R_{\text{КЭ}_n}$ – системна модель n-ого конструктивного елемента n-го виду n-го типу n-й підсистеми n-й ливарної форми.

Підставляючи вираз R_{B_n} в R_{T_n} , і відповідно R_{T_n} в $R_{\text{ПГ}_n}$ і так далі можна отримати системну модель в базисі деталей, видів, типів, підсистем, альтернатив ЛФ.

Кожний конструктивний елемент (КЕ) має час життя, який розподілений по фазам життєвого циклу (ЖЦКЕ): проектування КЕ, виробництво КЕ, експлуатація КЕ, модернізація КЕ і утилізація КЕ.

Розглядаючи кожний конструктивний елемент ЛФ, можна представити його модель в наступному вигляді (рис. 2.4).

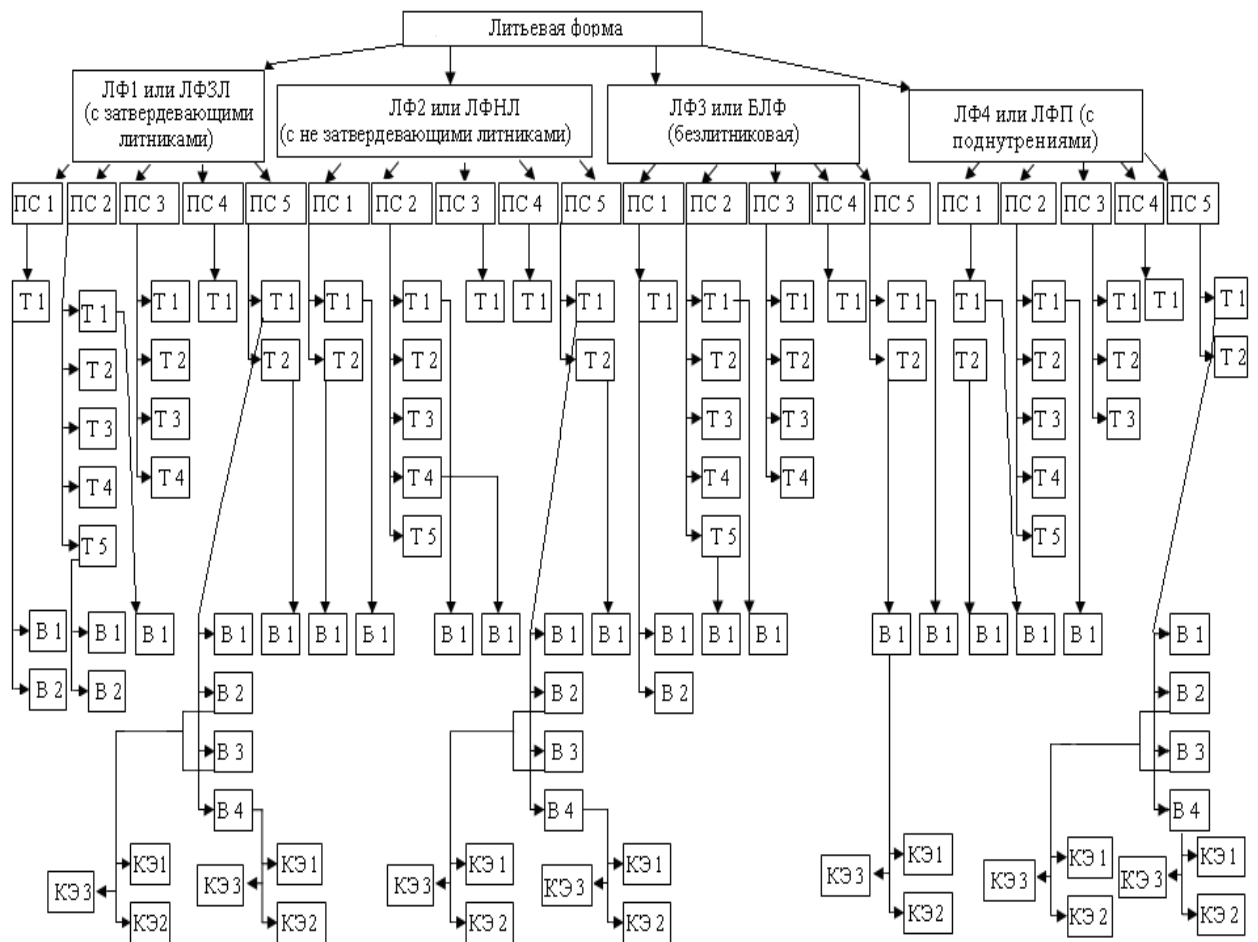


Рисунок 2.3 – Структура технологічної оснастки:

ЛФ1, ЛФ2, ЛФ3, ЛФ4 – альтернативи ливарних форм; ПС 1 – Підсистема оформляючи деталей; ПС 2 – Підсистема центрування; ПС 3 – Підсистема видалення виливків з ливарної форми; ПС 4 – Підсистема охолодження і регулювання температури; ПС 5 – Підсистема лісникових і газовідвідних каналів; Т 1...N – Тип елементу n – ої підсистеми; В 1...N – Вид елементу n-го типу n-й підсистеми; КЭ 1...N – Конструктивний елемент n-го виду n-го типу n-й підсистеми.



Рисунок 2.4 – Фази життєвого циклу кожної деталі, що входить в ЛФ

Представимо модель КЕ по фазам життєвого циклу в вигляді РСМ [27], яка буде мати вигляд:

$$R_{KЭ_n} = R_{Пр} \cdot R_{Пр-во} \cdot R_{Э} \cdot R_M \cdot R_Y, \quad (2.10)$$

Протягом життєвого циклу, на кожній фазі КЕ представляє собою складну ієрархічну систему, модель якого представляється можливим відобразити в наступному вигляді (рис. 2.5) [28].

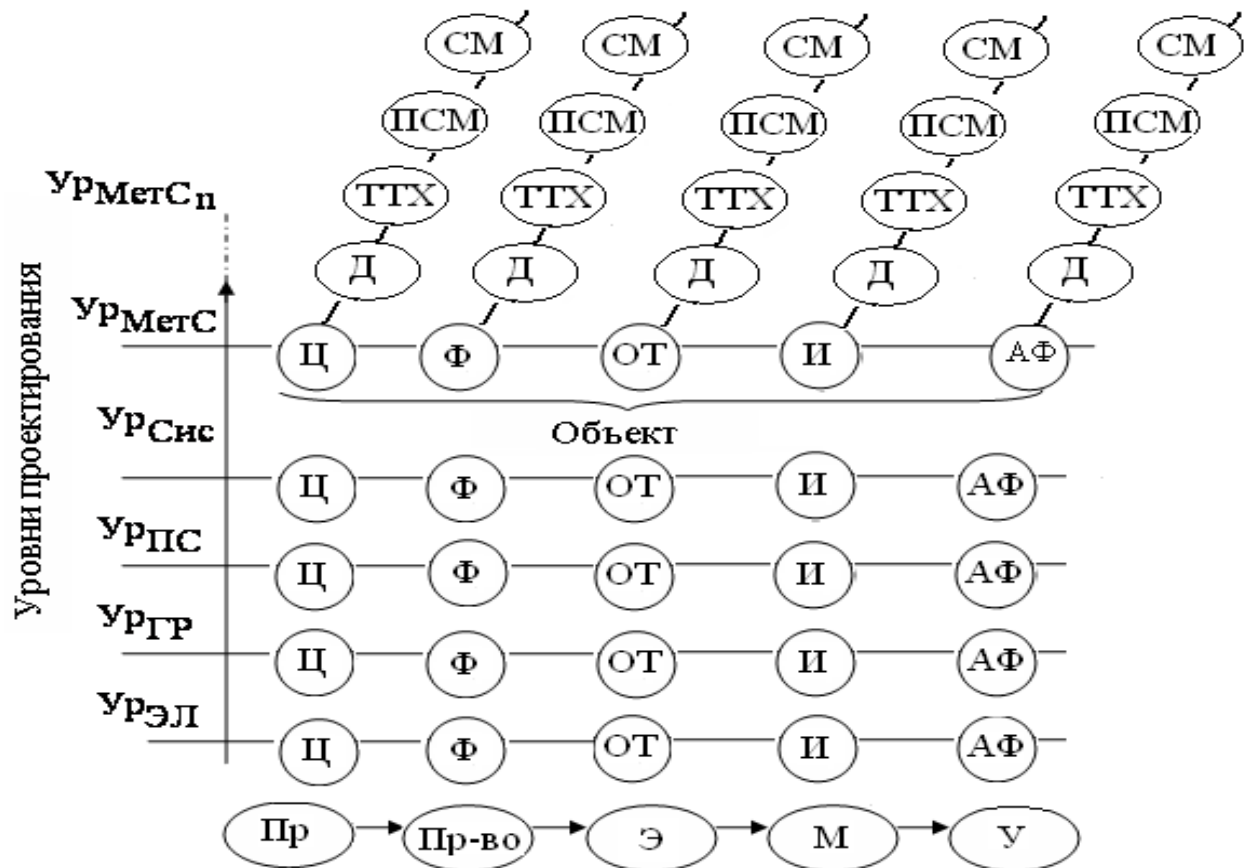


Рисунок 2.5 – Морфологічний куб проектних дій

На рис. 2.5: $Ур_{ЭЛ}$ – елементний рівень проектування (база проектування), $Ур_{ГР}$ – груповий рівень, $Ур_{ПС}$ – рівень підсистем, $Ур_{Сис}$ – рівень системи, $Ур_{МетС}$ – рівень метасистеми, $Ур_{МетСп}$ – рівень n-й метасистеми. На кожному рівні проектування об'єкту є страти: Ц – цільова, Ф – функціональна, ОТ – організаційно-технічна, И – інфологічна, АФ – алгоритму функціонування, Д – декомпозиція об'єкту верхнього рівня на рівень проектування стратифікованої властивості проектної дії, ТТХ – розробка тактико-технічних характеристик декомпозиційних елементів страти проектних дій, ПСМ – побудова системної моделі страти проектування, СМ – системне моделювання

на відповідність, розроблених тактико-технічних характеристик декомпозиційних елементів страти, тактико-технічним вимогам генеральної мети на конструктивний елемент ЛФ [29].

Виразимо РСМ для КЕ як для проектних дій:

$$R_{KЭ_i Y_{стр}} = [R_{сис_i}, e, \emptyset, \dot{a}, \hat{a}],$$

де $R_{сис_i}$ – декомпозиційний елемент цільової страти i -го рівня проектування;

$\dot{a}$ – базова операція РСМ множення операторів;

$\hat{a}$ – базова операція РСМ кон'юнкції операторів.

Системна модель i -го рівня проектування:

$$R_{MetC_i} = R_{ЦMetC_i} \cdot R_{ФMetC_i} \cdot R_{ОТMetC_i} \cdot R_{ИMetC_i} \cdot R_{АФMetC_i},$$

Системна модель по рівням проектування:

$$R_{KЭ_{ФазC}} = R_{MetC_i} \cdot R_{MetC} \cdot R_{Cис} \cdot R_{ПС} \cdot R_{ГР} \cdot R_{ЭЛ},$$

Таким чином, розроблена системна модель ТО, є формальним представленням оснастки, що дозволяє використовувати методи комп'ютерної обробки системних моделей для того, щоб їх можна було аналізувати та виконувати формальні дії над ними.

На вибір конструкції ЛФ впливають фактори, які необхідно враховувати при виконанні вимог ТЗ. Вибір конструкції ЛФ в цілому полягають в визначенні необхідного обладнання, оптимальної гніздної структури і компоновці з найбільш вигідних варіантів систем, спроможних при безумовній надійності роботи самої форми задовольнити технічні та виробничо-економічні вимоги для даного виробу.

Вибір раціональної конструкції ЛФ в цілому полягають в визначенні необхідного обладнання, оптимальної гніздної структури і компоновці з найбільш вигідних варіантів систем, спроможних при безумовній надійності роботи самої форми задовольнити технічні та виробничо-економічні вимоги для даного виробу.

Технічні вимоги до виробу полягають в забезпеченні його геометричної форми, шорховатості поверхні і точності розмірів, збереженні властивостей запроектованого вихідного матеріалу в готовому виробі з допустимими,

кінцевими і орієнтаційною напругою і досягненні вимагаємої стабільності цих параметрів. Найбільш важливими з виробничо-економічних вимог до процесу виготовлення виробу [30] є його невелика собівартість, найвища продуктивності, безвідмовна робота форми, мінімальна зайнятість робочих.

3 РОЗРОБКА МЕТОДУ РОЗРАХУНКУ КОНСТРУКТИВНИХ ПАРАМЕТРІВ ОСНАСТКИ

При виготовленні пластмасових виробів необхідно розрахувати розміри конструктивних параметрів оснастки. В даний час існуючі методи розрахунку недостатньо використовують інформацію про усадки вихідного матеріалу. Для пластмасових деталей, враховуючи значну, нестабільну усадку, що змінюється в процесі експлуатації деталі, що може призвести до великих погрешностей, у зв'язку з удосконаленням методів розрахунку є актуальним для життестійкості виробів, в тому числі ремонтпридатності (збору) при проведенні профілактичних робіт [31 – 33].

Система конструктивних деталей являє собою групу деталей, несучих оформляють поверхні, які при замкнутих напівформах утворюють ОП. Пропонується можливим привести класифікацію деталей, представлену на рис. 3.1 [34]. Конфігурація деталей цієї системи повинна забезпечити оптимальну тривалість циклу, якісне заповнення порожнини, вилучення і зіштовхування виробів. Конструкція деталей системи в основному визначається характером заповнення ОП.

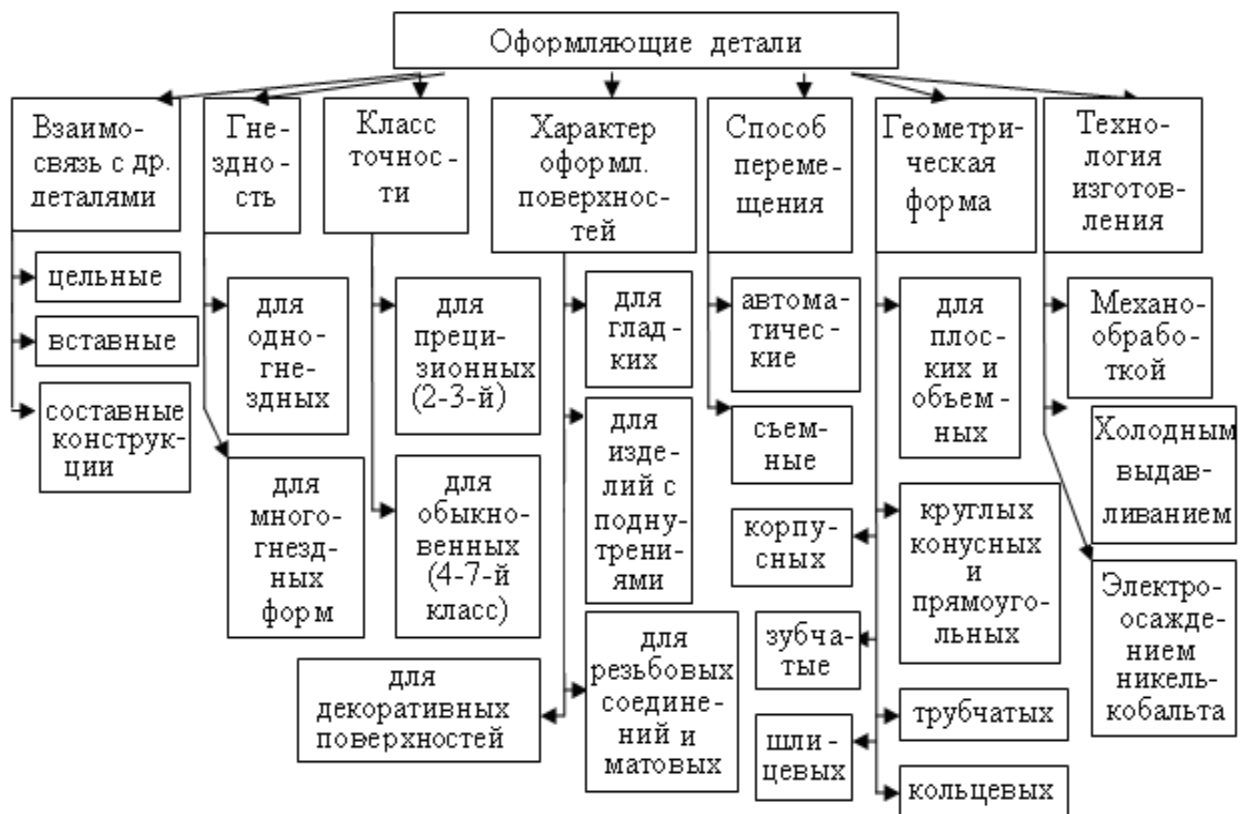


Рисунок 3.1 – Класифікація деталей, що оформлюють

Конструктивні параметри визначають в залежності від допуску на розміри деталі і усадки формувального матеріалу [35].

Розглянемо відому розрахункову модель розмірів матриці для виготовлення деталі з пластмаси (рис. 3.2 а). Діаметр матриці знайдемо за формулою [36]:

$$D_{\text{matr}} = D_{\text{max}} + D_{\text{max}} \cdot 0,01 S_{\text{max}} - T_{\text{Изд}},$$

де D_{max} – максимальний діаметр виробу;

S_{max} – максимальна усадка пластмаси, %;

$T_{\text{Изд}}$ – допуск на розмір виробу.

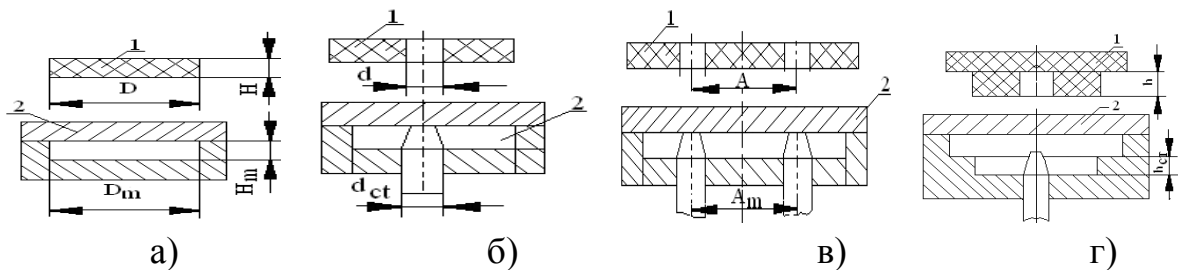


Рисунок 3.2 – Оформляючі деталі ливарної форми:

а) деталь і матриця; б) оформляючий вузол; в) відстань між центрами оформляють вузлами; г) висота стержня (1 – деталь, 2 – матриця).

Товщину матриці знайдемо за формулою [38]:

$$H_{\text{matr}} = H_{\text{max}} + H_{\text{max}} \cdot 0,01 S_{\text{cp}} - 0,5(T_{\text{Изд}} + T_{\text{ОД}}),$$

де H_{max} – максимальна товщина виробу;

S_{cp} – середня усадка пластмаси, %;

$T_{\text{ОД}}$ – допуск на розмір ОД.

Аналогічно можна знайти діаметр пуансона $D_{\text{pu}} = D_{\text{max}} + D_{\text{max}} \cdot 0,01 S_{\text{max}} - T_{\text{Изд}}$ і товщину пуансона $H_{\text{pu}} = H_{\text{max}} + H_{\text{max}} \cdot 0,01 S_{\text{cp}} - 0,5(T_{\text{Изд}} + T_{\text{ОД}})$. Стержнем або знаком називається формуючий елемент, який призначений для отримання в виробах різних отворів або поглиблень [39]. Розмір стержня d_{ct} , представленого на рисунку 3.2 б розраховується за формулою:

$$d_{ct} = d_{min} + d_{min} \cdot 0,01 S_{min} + T_{Изд},$$

де d_{ct} – розрахунковий діаметр стрижня;

d_{min} – мінімальний граничний розмір отвору в деталі;

S_{min} – мінімальна усадка виробу, %.

Відстань між центрами деталі 1 і оформляє елементу 2 A_{matr} можна знайти (див. рисунок 3.2 в) по формулі (3.4), а також знайдемо висоту стержня, що представлений на рисунку 3.2 г по формулі (3.5)

$$A_{matr} = A + A \cdot 0,01 S_{cp}, \quad (1)$$

де A – відстань між отворами в ОД;

S_{cp} – середня усадка пластмаси, %.

$$h_{ct} = h_{min} + h_{min} \cdot 0,01 S_{cp} + 0,5(T_{изд} + T_{\phi}), \quad (2)$$

де h_{min} – мінімальний граничний розмір виробу.

В ЛФ тиск змінюється від 0 до p_{max} в замкнутому положенні форми, що вимагає розрахунку товщини стінок з урахуванням нестабільності усадки матеріалу. Вихідними для нього є: p_{max} , конфігурація порожнини і матеріал матриці. Для круглої матриці 1 (рис. 3.3 а) зі вставним дном 2 товщина стінки $(r - r_1) + \Delta l$ визначається з умов:

$$p_{max} \cdot 2 r_1 h = 2 (r - r_1) h \sigma + \phi (\Delta V),$$

$$(r - r_1) = (p_{max} \cdot 2 r_1 h - \phi (\Delta V)) \sigma^{-1} / 2 h,$$

де p_{max} – максимальний тиск в формі;

$\phi(\Delta V)$ – поправка, спричинена об'ємною усадкою, що визначається за допомогою функціонального моделювання оснастки.

Для особливо навантажених матриць, де збільшення товщини стінки не призводить до зменшення напружень на поверхні оформляє порожнини, матриці запресовуються в обойми 3 з натягом δ . У цих конструкціях, званих

скріпленими циліндрами [40], в матриці 1 (рис. 3.3 б) виникають стискаючі напруги p_1 , які зменшують σ , викликуване впливом $p_{\max}$. Це дозволяє при розрахунку допускати $\sigma_{\text{зап}}$, більш високим, чим σ для незапресованих матриць. Якщо матеріал обойми і матриці однаково працює на розтягування і стиснення, зовнішній радіус обойми $r_2 = r^2/r_1$, мм, натяг $\delta = 2gr_{\max}/E$, то напруги в запресованій матриці $\sigma_{\text{зап}} = m\sigma$, Па.

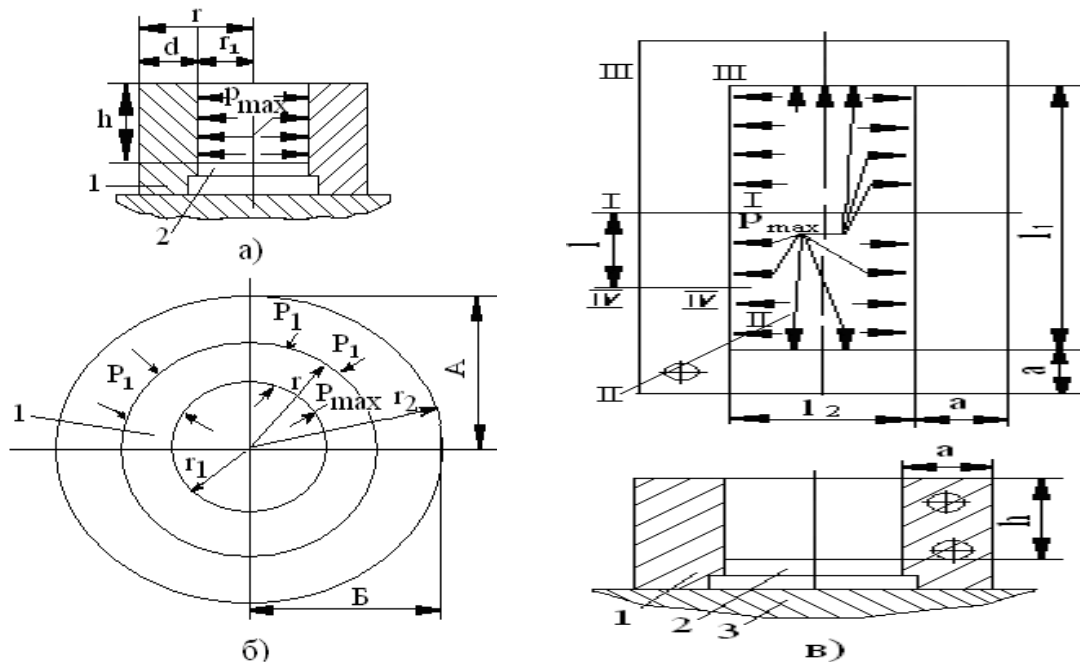


Рисунок 3.3 – Залежність товщини стінки від конструкції матриць:
 а) кругла матриця; б) особливо навантажені матриці; в) відстань між центрами деталі й оформляючого елементу.

Коефіцієнт m завжди більше одиниці і дорівнює $m=2/(1+K)$, де $K = r_1/r_2$ [41]. Так, при $K = 0,5$ $m = 2/(1+0,5) = 1,33$, тобто $\sigma_{\text{зап}}$, більше розтягуючої напруги σ на 33%, що дозволяє проектувати більш компактні конструкції.

Якщо форма багатогнізна, де поряд з круглими 3 застосовуються прямокутні обойми 4, зовнішні розміри до осі гнізда A і $B > r_2$ (рис. 3.3 б). Товщина стінок a (рис. 3.3 в) прямокутної матриці 1 з розмірами $l_1 \times l_2 \times h$, м, зі вставним дном 2 визначається за формулами (3) і (4), представляє собою умову міцності небезпечного перерізу I-I:

$$\sigma_{\text{ср}} > \sigma_{\text{и}}^{\max} + \sigma = (p_{\max} (l_1 (h + \phi_{l_1} (\Delta V))^2 (h + \phi_h (\Delta V))) /$$

$$\frac{(a + \varphi_a(\Delta V))^2(h + \varphi_h(\Delta V)) + (p_{\max}(l_2 + \varphi_{l_2}(\Delta V))(h + \varphi_h(\Delta V)))}{((a + \varphi_a(\Delta V))(h + \varphi_h(\Delta V))), \quad (3)$$

де $\varphi_{l_1}(\Delta V)$ – функція, враховує поправку на розмір l_1 ;

$\varphi_{l_2}(\Delta V)$ – функція, що враховує поправку на розмір l_2 ;

$\varphi_h(\Delta V)$ – функція, що враховує поправку на розмір h ;

$\varphi_a(\Delta V)$ – функція, що враховує поправку на товщину a стінок матриці.

Для легованих і термооброблених сталей $\sigma_{\text{ср}} = 3 \cdot 10^8$ Па. Перетворюючи (4), отримаємо:

$$4\sigma_{\text{ср}}(a + \varphi_a(\Delta V))^2/p_{\max} - 2(l_2 + \varphi_{l_2}(\Delta V))(a + \varphi_a(\Delta V)) - (l_1 + \varphi_{l_1}(\Delta V)) = 0. \quad (4)$$

Для матриці з оформляючими розмірами $l_1 = 0,25$ м, $l_2 = 0,1$ м, $h = 0,08$ м, $p_{\max} = 4 \cdot 10^7$ Па, $\sigma_{\text{ср}} = 3 \cdot 10^8$ Па, за формулою (5) товщина $a = 0,068$ м. Стріла прогину $f_{\max}$ в перерізі I-I визначається так:

$$f_{\max} = p_{\max} l_1^4 (32Ea^3)^{-1}, \quad (5)$$

де $E = 1,9 \cdot 10^{11}$ Па.

Підставивши вказані вище дані в формулу (6), одержуємо $f_{\max} = 0,08017 \cdot 10^{-3}$ м, що перевищує значення максимально допустимих зазорів, через які не впливає розплав. Після зняття тиску сили пружності прагнуть повернути стінку матриці в початкове положення, що защемляє виливок, перешкоджає розмиканню напівформ і витяганню виробів.

В процесі лиття виріб у формі приймає контури і розміри порожнини. Під час і після заливки, і ущільнення, відбувається охолодження виробу. Воно триває при його витяганні з матриці зіштовхування з пуансона і після його витягання з форми. Внаслідок охолодження об'єм виробу зменшується, і з плином часу виріб повинен набути певних форму і розміри в заданих межах. Так як кожен елемент поверхні виробу зменшується, то при проектуванні розмір цього елемента на ОД повинен бути більше заданого. Ця різниця і є уса-

дка. Усадка і її стабільність від циклу до циклу лиття є основним чинником, що визначає точність розмірів виробу [42].

При виготовленні ЛФ необхідно враховувати лінійну усадку, тобто, зменшення розмірів у кожному вимірі окремо (по довжині, ширині, висоті). Для отримання розмірів виливка у відповідності з заданими в ТЗ всі розміри в ЛФ повинні бути більше на величину усадки пластмаси [43].

Абсолютну об'ємну усадку (різниця обсягів порожнини і виробу, визначена після припинення усадки) можна розрахувати за формулою:

$$\Delta V = \sum_{i=1}^n \Delta V_i, \quad (6)$$

де ΔV_i – абсолютна усадка конструктивних елементів деталі.

ΔV_i є функцією $f(X_i, Y_i)$, де X_i – безліч конструктивних параметрів i -го елемента, Y_i – безліч усадочних властивостей матеріалу з якого складається i -й елемент, тоді:

$$\Delta V_i = \iint \dots \int_{G_i} f(X_i, Y_i) dx_1^i dx_2^i \dots dx_m^i dy_1^i dy_2^i \dots dy_q^i,$$

де G_i – область визначення X_i, Y_i .

За допомогою цього виразу легко визначити відносну об'ємну усадку $\Delta V_{\text{отн}}$.

Абсолютну фактичну лінійну усадку, визначену після припинення усадки знаходимо за формулою:

$$\Delta l = \sum_{i=1}^n \Delta l_i,$$

де Δl_i – абсолютна лінійна усадка конструктивних елементів деталі, що є функцією $\beta(X_i, Y_i)$, де X_i – безліч конструктивних параметрів i -го елемента, Y_i – безліч усадочних властивостей матеріалу з якого складається i -й елемент. Тоді:

$$\Delta l_i = \iint \dots \int_{G_i} \beta(X_i, Y_i) dx_1^i dx_2^i \dots dx_m^i dy_1^i dy_2^i \dots dy_q^i,$$

де G_i – область визначення X_i, Y_i .

Обробка даних в модулі заснована на розрахунку $x_{фк}$ і $x_{пр}$ пластмаси, де відносна фактична лінійна усадка:

$$x_{фк} = (l_{ОД} - l_{Изд}) l_{Изд}^{-1} \cdot 100 \% .$$

Пропонується можливим для пошуку S – цільової функції використовувати методу повного перебору, який буде включати такі етапи: формування вектора $X_1 \in R_x$; перевірка умов $G_j(X_1) \leq G_{j0}$, якщо $G_j(X_1) = X_1$; визначення інтервалу усадки для виробу з певного виду пластмаси, де R_x^0 – заданий в ТЗ інтервал усадки, тобто перевіряємо, чи входить в інтервал R_x^0 , якщо входить, то здійснюємо розрахунок $x_{пр}$ – передбачуваної лінійної усадки (7):

$$x_{пр} = (l_{ОД} - l_{СР}) l_{СР}^{-1} \cdot 100 \% , \quad (7)$$

де $l_{СР}$ – номінальний розмір елемента деталі при симетричному розташуванні поля допуску. $x_{пр}$ вибирається для середнього значення з інтервалу R_x^0 .

Розв'язавши (7) відносно $l_{ОД}$ (або $L_{ОД}$), отримаємо дві основні формули (8) і (9) за якими розраховуються розміри всіх ОД. Для елементів, що оформляють зовнішні поверхні виробу [44]:

$$S = L_{ОД} = [L_{СР} (1 + x_{пр} / 100) - \Delta_{ИЗН}]^{+\Delta_{ИЗГ}} , \quad (8)$$

для елементів, що оформляють внутрішні поверхні виробу,

$$S = l_{ОД} = [l_{СР} (1 + x_{пр} / 100) + \Delta_{ИЗН}]_{-\Delta_{ИЗГ}} , \quad (9)$$

де $\Delta_{ИЗН}$ – заданий знос елемента ОП за час експлуатації форми, мм; залежно від допуску виробу і характеру виробництва він приймається $0,02 \div 0,20$ мм;

$\Delta_{ИЗГ}$ – допуск на виготовлення елемента ОП $L_{ОД}$ і $l_{ОД}$; зазвичай $\Delta_{ИЗГ}$ повинен бути на $1 \div 2$ класу вище допуску на розмір виробу [45].

Тобто знаходимо S по формулам (8) і (9). Запропонований метод (рис. 3.4), враховує особливості пластмаси (усадка у кожного виду полімерів різна і представлена не одним значенням, а інтервалом значень).

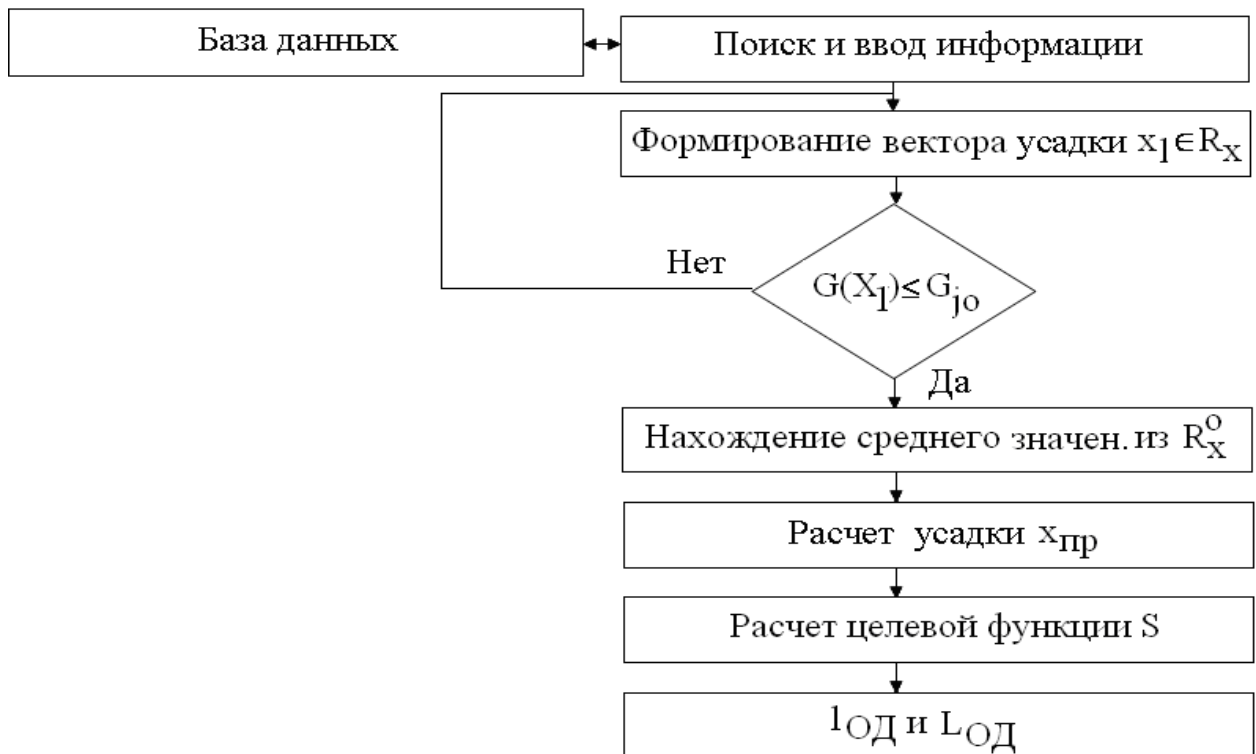


Рисунок 3.4 – Схема алгоритму програми розрахунку конструктивних параметрів ТО

Вирішальний вплив на величину і коливання усадки надають режими лиття та перепади тиску і температури по шляху течії розплаву.

Безперешкодній усадці, незважаючи на інтенсивне охолодження виробу, після його вилучення з матриці, заважають пуансони, знаки та ін. При литті виробів складної конфігурації з малими допусками, особливо з частково кристалічними полімерами матеріалів, точне визначення $x_{пр}$ складно.

Для цього проводять доводку форми після першого випробування на сталому режимі з використанням точних вимірів, але при цьому значення $x_{фк}$, визначуваних, при замірах різних елементів поверхні в межах одного виробу не слід порівнювати з $x_{фк}$, визначуваним при вимірах одного елементу поверхні на різних виробих у межах даної партії виробів. На величини $x_{пр}$ і $x_{фк}$ впливає орієнтація макромолекул розплаву при заповненні порожнини, залежна від місця, числа і розмірів впуску. Для нескладних конфігурацій за

обов'язкової умови роботи на сталому режимі є можливість визначати величину $x_{\text{ПР}}$ для задоволення вимог 3 – 4-го класу точності.

Основним фактором, що впливає на зміну передбачуваної лінійної усадки по всім розмірам, є товщина виробу. Якщо воно змінюється $x_{\text{ПР}} = x_{\text{T}} \cdot K^n$ при $K = 1,05$, $K_1 = 1,03$, $n \leq 6$ мм – зміна товщини в порівнянні з табличною (див. табл. 3.1 (n позитивно при її збільшенні і негативно при зменшенні)). При зміні довжини шляху перебігу $x_{\text{ПР}} = x_{\text{T}} \cdot K_1^{n_1}$, де n_1 – зміна довжини шляху перебігу в порівнянні з табличною (див. табл. 3.10, ділене на 50 (при збільшенні довжини негативно, при зменшенні - позитивно)). Якщо товщина і довжина змінюються одночасно, то $x_{\text{ПР}} = x_{\text{T}} \cdot K^n \cdot K_1^{n_1}$. При переході на крапковий впуск $x_{\text{ПР}} = 1,1 \cdot x_{\text{T}} \cdot K^n \cdot K_1^{n_1}$. Зміна розміру по висоті повинне враховуватися разом з зміною довжини виробу ($n_1 \leq 8$) [33].

До складових частин загальної усадки $x_{\text{ПР}}$ відносяться: ускладнена усадка до вилучення пуансона, $x_{\text{ЗТ}}$, дорівнює $x_{\text{ЗТ}} = x_{\text{ПР}} - x_{\text{СВ}}$, % що досягає 20-40% $x_{\text{ПР}}$ [34] і вільна усадка виробу після вилучення пуансона $x_{\text{СВ}}$ дорівнює:

$$x_{\text{СВ}} = \alpha \Delta t \cdot 100\% ,$$

де Δt – різниця температур, дорівнює $\Delta t = t' - t_{\text{ср}}$, К;

α – коефіцієнт лінійного поширення;

t' – температура виробу в плиті на початку вилучення пуансона, К; $t' < t_{\text{т}}$;

$t_{\text{ср}}$ – температура оточуючого середовища, К.

Були проведені експериментальні дослідження процесу усадки термопластів, які спостерігалися на прикладах різних форм виробів в умовах витримки полімерів при температурі, що необхідна для їх формування. Проаналізувавши дані, які занесені до табл. 2.2, спостерігається залежність значень усадки від форми полімерного виробу, а отже, при проектуванні ТО для досягнення необхідної точності ливарних виробів облік цієї залежності є значним. Результати експериментальних досліджень наведені на рис. 3.5 – 3.7.

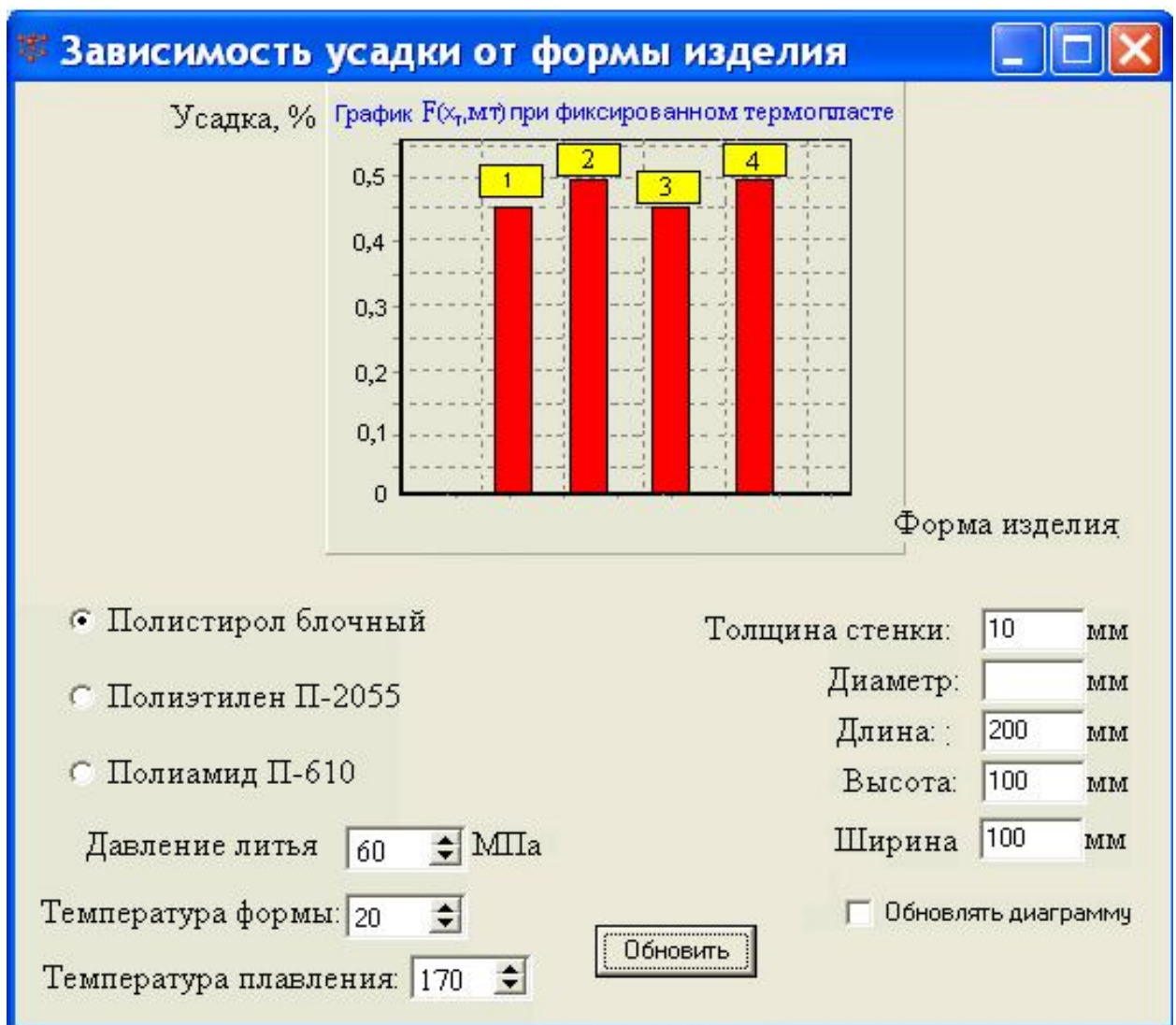
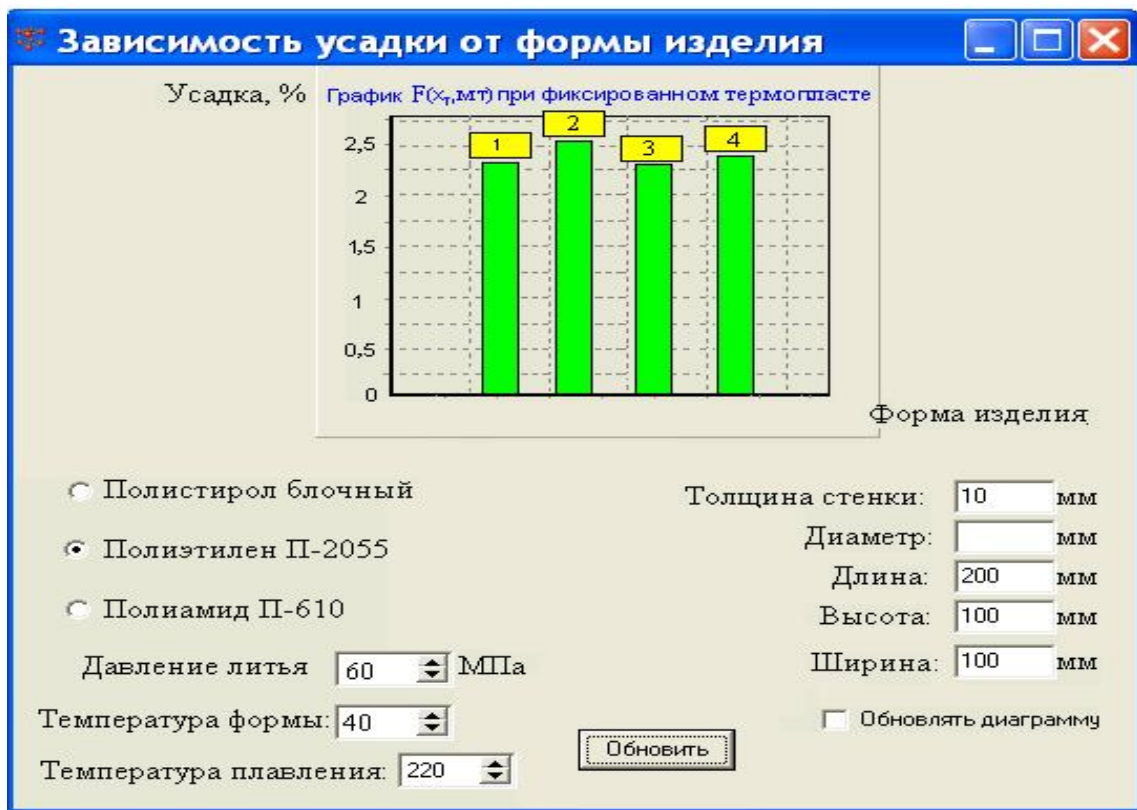


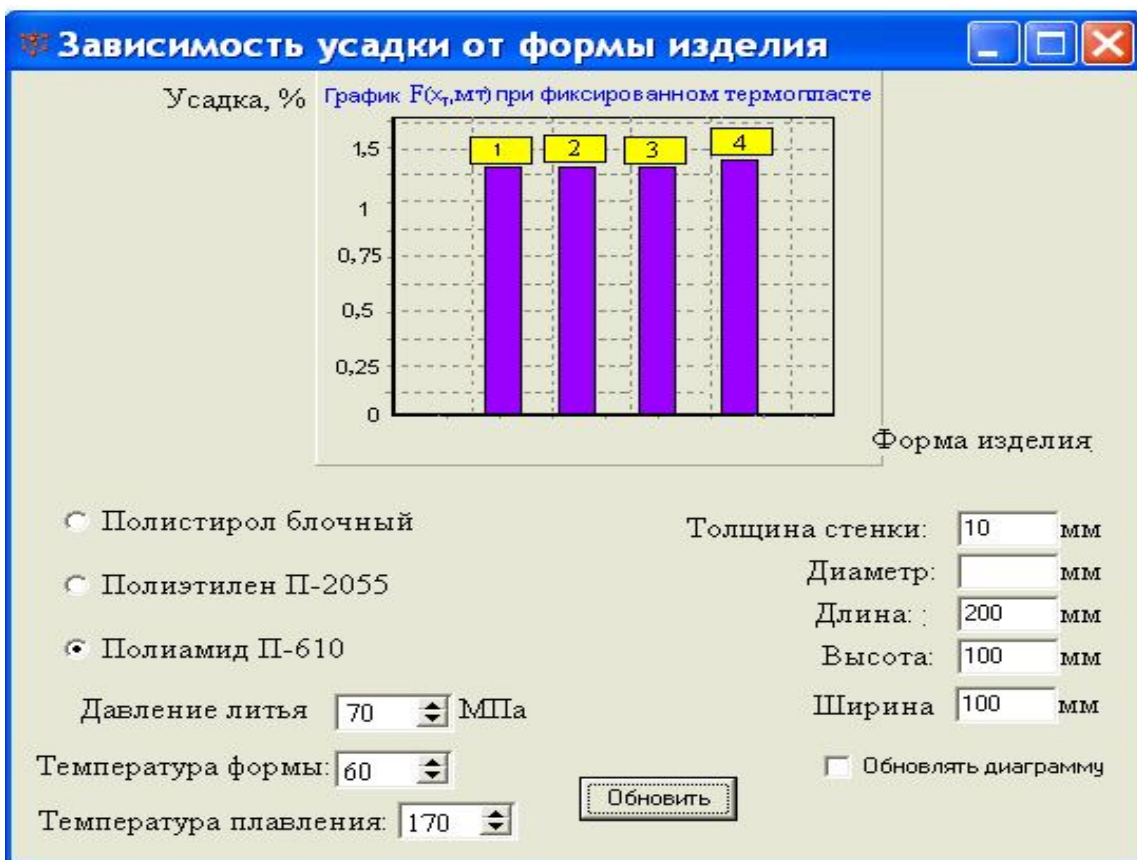
Рисунок 3.5 – Экранна форма вікна програми «Залежність усадки від форми ливарного виробу» при вводі матеріалу лиття – полістирол блочний

На діаграмах зображено, що дослідження проводилися для форм виробів, що найчастіше зустрічаються, при цьому цей матеріал для всіх був вибраний однаковим.

При литті з вільною усадкою величина x_{3T} збільшується для амфорних матеріалів на 5 – 10%, для частково кристалічних матеріалів на 15 – 20% [35 – 38].



а)



б)

Рисунок 3.6 – Экранні форми вікон програми «Залежність усадки від форми ливарного виробу» при вводі матеріалу лиття: а) поліетилен П-2055; б) поліамід П – 610

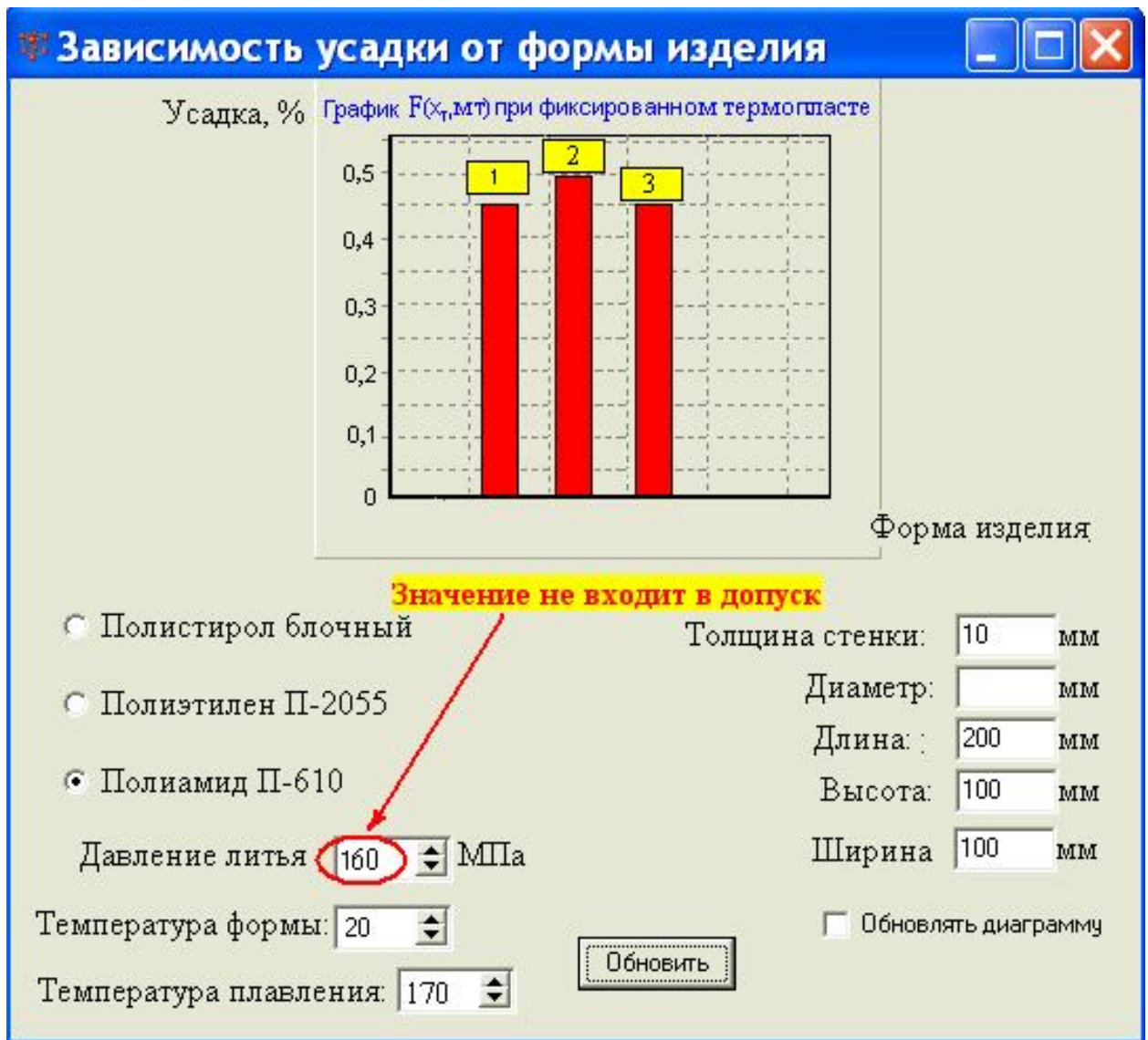


Рисунок 3.7 – Екранна форма вікна програми «Залежність усадки від форми ливарного виробу» при невірному уводі значень параметрів лиття

З табл. 3.1 видно, що значення усадки залежить не тільки від матеріалу, але і від форми виробу, внаслідок цього пропонується можливим уточнити розрахункову модель для розрахунку передбачуваної усадки:

$$x_{\text{ПР}} = x_{\text{ЗТ}} + x_{\text{СВ}} + f(x_{\text{ФИ}}),$$

де $f(x_{\text{ФИ}})$ – функція поправки, що враховує форму виготовленого виробу (класифікація форм рис. 3.8);

$x_{\text{ФИ}}$ – змінна, що характеризує форму виробу і неоднорідність властивостей матеріалу деталі по об'єму для об'ємної деталі і по площі для плоскої деталі (рис. 3.9).

Таблиця 3.1 – Значення ускладненою усадки

Тип виробу	Параметр	Ускладнена усадка, %																
		Акрилопласт	Капрон	Пластикат ПХВ	Поліамід	Поліпропилен	Полістірол			Полиуретан	Полі-етилен		Сополимер			Фторопласт-3	Етрол	
							блочний	удароміцний	емульсійний		ВД	НД	МС; МС-3	МСН	СНП		АБЦ	АЦ
Кругла ко-робка	Діаметр:																	
	у дна	1,25	1,95	1,25	1,35	2,10	0,50	0,45	0,45	0,65	2,20	2,55	2,40	1,60	2,10	1,45	0,55	0,65
	у кришки	1,15	1,85	1,15	1,25	1,95	0,40	0,35	0,35	0,55	2,05	2,35	2,35	1,55	1,95	1,35	0,45	0,55
	Висота	1,20	1,90	1,20	1,30	2,05	0,45	0,40	0,40	0,60	2,10	2,40	2,40	1,50	2,00	1,30	0,40	0,60
Диск	Діаметр:	1,25	1,80	1,25	1,35	2,00	0,45	0,35	0,30	0,60	2,00	2,30	2,35	1,55	1,05	1,40	0,50	0,60
Прямокутна коробка	Довжина:																	
	у дна	1,25	2,00	1,25	1,40	2,15	0,50	0,40	0,35	0,70	2,20	2,40	2,35	1,55	2,05	1,45	0,50	0,70
	у кришки	1,20	1,90	1,20	1,35	2,05	0,45	0,35	0,30	0,60	2,10	2,25	2,25	1,50	2,00	1,40	0,45	0,60
	Ширина:																	
	у дна	1,30	2,20	1,30	1,45	2,30	0,55	0,45	0,40	0,75	2,50	2,60	2,40	1,50	2,00	1,55	0,60	0,75
	у кришки	1,25	2,10	1,25	1,40	2,20	0,50	0,40	0,35	0,65	2,40	2,50	2,30	1,55	2,05	1,45	0,50	0,65
	Висота:	1,35	2,00	1,35	1,50	2,10	0,55	0,45	0,40	0,70	2,20	2,35	2,40	1,45	2,10	1,50	0,55	0,70
Пластина	Довжина:	1,25	1,85	1,20	1,35	2,05	0,45	0,35	0,30	0,55	2,00	2,35	2,30	1,50	2,10	1,40	0,50	0,55

$$x_{\text{ФИ}} = \begin{cases} \iiint F(x, y, z) dV & \text{— если фигура объемная;} \\ \iint_A F(x, y) dS & \text{— если фигура плоская.} \end{cases}$$

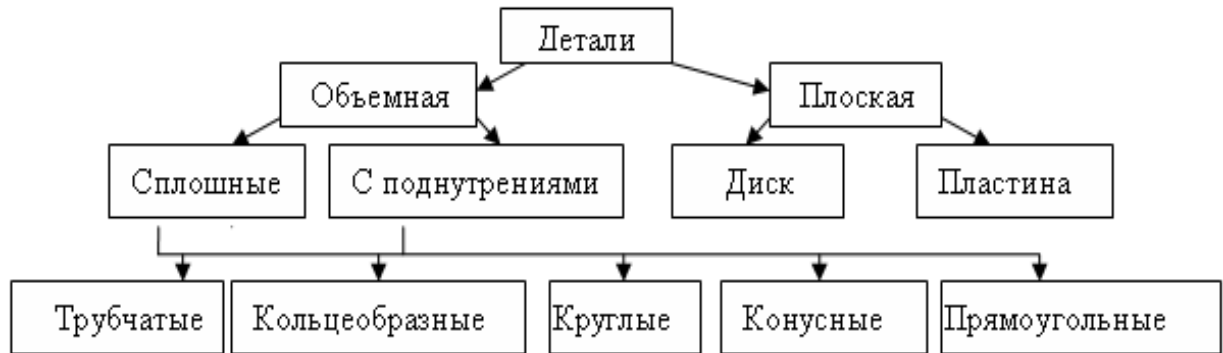
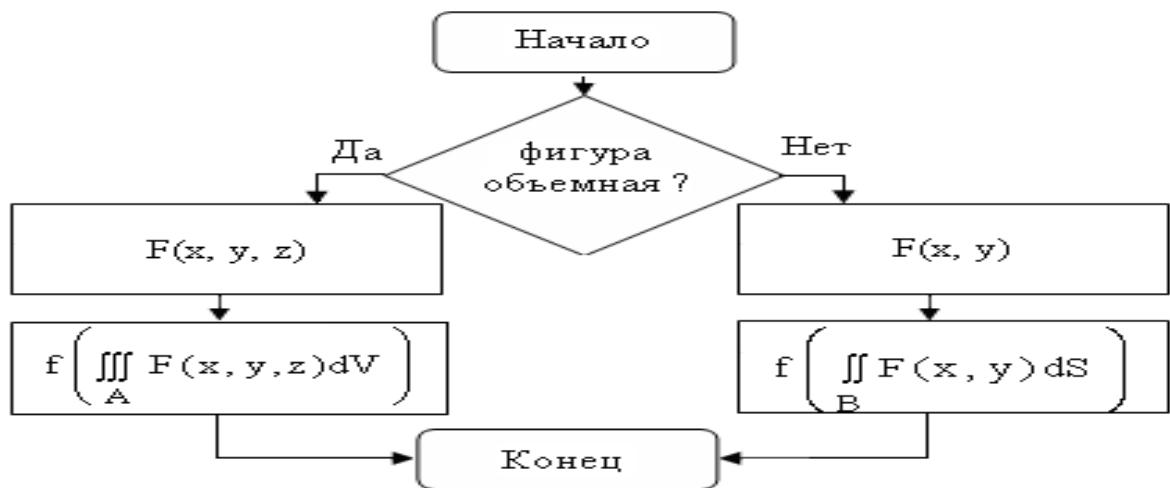


Рисунок 3.8 – Класифікація форм виробів

Рисунок 3.9 – Схема алгоритму представлення $f(x_{\text{ФИ}})$

Коливання усадки матеріалу викликає найбільші зміни в розмірах пластмасового виробу (для термопластів коливання рівні 2%) [39, 40]. Використовуючи ГОСТ на марку ливарного матеріалу деталі можна встановити найбільше $MS_{\max}$ і найменше $MS_{\min}$ значення усадки. Коливання усадки дорівнює $\Delta_{MS} = MS_{\max} - MS_{\min}$. Усадка виробів при охолодженні відбувається в три стадії: перша і друга проходять в ЛФ від моменту заповнення форми до видалення виробів, а третя – після видалення виробів з форми при охолодженні його до температури оточуючого середовища [47, 48].

Колебание усадки, $\Delta u_s, \%$ факторы, влияющие на точность	Степень точности изготовления		Сложность конфигура ции		Метод переработки		Гнездность пресс-формы		Группы точности	Ряды точности
	нормальная	повышенная	сложная	простая	прессование	литье под давлением	многогнездная	одногогнездная		
$\leq 0,1$									ГП-III ГП-IV ГП-V ГП-VI ГП-VII ГП-VIII	— РП - 5 РП - 6 РП - 7 РП - 8 РП - 9
0,1 – 0,16										
0,16 – 0,25										
0,25 – 0,4										
0,4 – 0,6										
$> 0,6$										

Рисунок 3.10 – Номограма для вибору груп і рядів точності розмірів виробу

Усадка на першій стадії визначається головним чином тиском в ЛФ, на другій – швидкістю охолодження, що визначається температурою ЛФ (чим нижча температура ЛФ, тим менша усадка камфорного термопласти). Для кристалічних полімерів, який визначає фактор, є температура форми (чим вона вища, тим більше усадка кристалічного полімеру, так як відвід тепла відбувається повільніше і кристалізація протікає повніше). На третій стадії – після видалення виробу відбувається вільна усадка, зменшення об'єму виробу при цьому визначається різниця між температурою, при якій виріб був вилучений з форми, і температурою оточуючого середовища, а також об'ємним коефіцієнтам термічного розширення, що дорівнює $7 \cdot 10^{-5} 1/\text{град}$ [49].

Розміри конструктивних елементів ЛФ можуть визначатися характеристиками міцності. Межі зміни розмірів, зокрема, мінімальні розміри можуть визначатися мінімальними розмірами елементів пластмасових деталей, які в свою чергу визначаються межами міцності конструктивних елементів пластмасових деталей. Тому, в САПР можна використовувати методи розрахунку характеристик міцності пластмасових деталей. З цією метою пропонується можливим, основне рівняння міцності:

$$\sigma_{\max} \leq [\sigma],$$

де $\sigma_{\max}$ – максимально можливий тиск в деталі при заданих умовах за-
грузки.

$[\sigma]$ – допустимий тиск для матеріалу деталі при заданих умовах за-
грузки.

Умова міцності повинна дотримуватися в усіх точках деталі, але здійс-
нювати перевірку практично неможливо, значить, необхідно знайти небезпе-
чні точки і напруги в них по будь-яким трьом взаємно перпендикулярним
площадкам, знаючи які, величини головних напруг будуть рівні:

$$\sigma_{\text{экв}} = \sqrt{\frac{1}{2}[(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2]} \leq [\sigma] \text{ або } \sigma_{\text{экв}} = \sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_2^2 - \sigma_1 \sigma_2}$$

(для двухвісного стану напруги $\sigma_3 = 0$).

Для оцінки міцності виробів з термопластів при умові, що пластична
деформація не супроводжується зміною об'єму тіла, а значить, її можна
пов'язати з кількістю удільної роботи, що тратиться тільки на зміни форми
деталі. Для виробів з реактопластів:

$$\sigma_{\text{экв}} = \sigma_1 - \frac{\sigma_p}{\sigma_{\text{сж}}} \cdot \sigma_3 \leq [\sigma],$$

де σ_p – межа міцності при одновісному розтягуванні матеріалу деталі;

$\sigma_{\text{сж}}$ – межа міцності при одновісному стисненні матеріалу деталі;

σ_1 і σ_3 – головні напруги в небезпечній точці деталі, $\sigma_1 > \sigma_3$.

Перевага (3.22) – враховується тільки особливостями пластмаси без ек-
спериментальних величин, а недолік – не враховується середня головна на-
пруга σ_2 . Характеристика стану напруги, що враховує вплив напруги σ_2
можна отримати зіставленням середньої нормальної напруги

$\sigma_{\text{ср}} = \frac{\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3}{3}$ і інтенсивності цієї напруги

$\sigma_1 = \sqrt{\frac{1}{2}[(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2]}$. Для анізоторних деталей (стіклоласти-

ки, текстоліти тощо) краще розраховувати міцність по таким виразам:

$$\sigma_{\text{фэкв}} \leq \frac{\lambda_{\sigma}}{\lambda_{\sigma} \cos^4 \phi + 2B_{\sigma} \cos^2 \phi \sin^2 \phi + \sin^4 \phi} \sigma_0, \quad E_{\phi} = \frac{1}{1 - (1 - C) \sin^2 2\phi} E_0,$$

$$G_{\phi} = \frac{\lambda_{\sigma}}{\lambda \cos^4 \phi + 2B \cos^2 \phi \sin^2 \phi + \sin^4 \phi} G_0,$$

$$\mu_{\phi} = \frac{\mu_{90^{\circ}} - \frac{1}{4}(1 + \lambda - 2B) \sin^2 2\phi}{\lambda \cos^4 \phi + 2B \cos^2 \phi \sin^2 \phi + \sin^4 \phi} \sigma_0$$

де $\sigma_{0,\phi}$ – удільна міцність в напрямленні, що відповідає найбільшій міцності і співпадаючому з віссю x під кутом ϕ ;

$E_{0,\phi}$ – модуль пружності в напрямленні, що відповідає найбільшій міцності і співпадає з віссю x під кутом ϕ ;

$G_{0,\phi}$ – модуль зсуву в напрямленні, що відповідає найбільшій міцності і співпадає з віссю x під кутом ϕ ;

$\mu_0, \mu_{90^{\circ}}, \mu_{\phi}$ – коефіцієнти Пуансона по осям x, y і під кутом ϕ ;

$\lambda, \lambda_{\sigma}, B, B_{\sigma}, C$ – безрозмірні коефіцієнти, значення яких для різних матеріалів наведені в довідниках.

Аналіз можливостей міцності матеріалів показав, що реактопласти менш міцні, ніж термопласти через їх більше схильність до розтріскування і руйнування [45].

При проектуванні деталей вихідні допустимі напруги потрібно коректувати конкретно для кожного випадку:

$$[\sigma]_{\text{расч}} = \frac{[\sigma]}{n},$$

де n – запас міцності; що дорівнює $n = S \cdot K \cdot T \cdot M$;

S – тактичний коефіцієнт, що враховує надійність матеріалу, відповідальність деталі;

K – розрахунково-конструкторський коефіцієнт;

T – технологічний коефіцієнт;

M – матеріаловідчий коефіцієнт.

$$S = S_1 \cdot S_2 \cdot S_3,$$

де S_1, S_2, S_3 – коефіцієнти запасу міцності: $S_1 = 1,05 \div 1,1$ для деталей з термопластів, $S_2 = 1,15 \div 1,20$ для реактопластів, $S_2 = 1,0 \div 1,3$ для деталей будь-яких матеріалів, S_3 враховує характер навантажень.

$$K = K_1 \cdot K_2 \cdot K_3,$$

де K_1 – враховує точність розрахунку і вибраних формул $K_1 = 1$ якщо враховані всі умови роботи і $K_1 = 1,4 \div 1,65$ – при недостатньо точному розрахунку;

$K_2 = 1 \div 2,2$ – враховує вплив виточок, отворів та ін. концентратів напруги, а також характер навантажень;

K_3 – враховує зміну міцності при переході від деформації згину до інших видів деформації.

$$T = T_1 \cdot T_2 \cdot T_3,$$

де T_1 – враховує спосіб отримання та якість поверхні пластмасової деталі: $T_1 = 1,10 \div 1,15$ – якщо поверхня отримана в формах; $T_1 = 1,15 \div 1,25$ – якщо поверхня отримана механічною обробкою.

T_2 – враховує ступінь складності монтажу: для діаметрів деталей до 50

$T_2 = 1,05$, от 100 до 200 мм $T_2 = 1,10$, от 200 до 500 мм $T_2 = 1,15$;

T_3 – враховує вплив посадок: якщо немає посадок, якщо нерухомі посадки $T_3 = 1,7 \div 2,6$ і якщо перехідні посадки $T_3 = 1,2 \div 1,5$.

$$M = M_1 \cdot M_2 \cdot M_3,$$

де M_1 – враховує кількість, різноманітність і відповідність умов випробувань матеріалів і деталей, $M_1 = 1 \div 1,10$;

M_2 – враховує величину і складність деталей (менші - для дрібних і простих деталей, великі - для великих і складних деталей), $M_2 = 1 \div 1,15$;

M_3 – враховує вплив зміни властивостей матеріалу залежно від технологічного режиму і способу виготовлення деталей (табл. 3.2).

Таблиця 3.2 – Значення коефіцієнту M_3

Характер навантаження	Спосіб виготовлення (лиття)
Постійна	1,10
Пульсуюча	1,20
Змінна	1,30

При проектуванні будь-яких деталей з пластмаси можна використовувати вихідні допустимі напруги, враховуючи вищеописані вирази.

За відомим коливанню усадки за допомогою номограми (табл. 3.1) встановлюють групу точності (від ГП-III до ГП-VIII), якщо розмір знаходиться в межах понад 1 мм до 500 мм, або ряд точності (от РП-5 до Р-8), якщо цей розмір менше 1 мм. У цій номограмі крім коливань усадки слід враховувати марку пластмаси, ступінь точності виготовлення (нормальна / підвищена), складність конфігурації виробу (проста / складна), метод переробки, а також гніздність ЛФ (одногніздна або багатогніздна) [50].

При проектуванні ТО необхідно враховувати вимоги, що містяться в нормативно-технічній документації, перелік якої наведено в табл. 3.3.

Таблиця 3.3 – Значення стандартних вузлів і деталей для проектування ЛФ

№	Тип об'єкта	ГОСТ
1 1.2	Колонки направляючі	17385-82, 22072-86, 173860-82
2 2.1 2.2 2.3	Колонки направляючі ступінчасті	17387-82 22073-86 17388-82 22074-86
3	Втулки напрямні	17391-82
4	Втулки напрямні подовжені	22075-82
5	Втулки напрямні ступінчасті	22078-86
6	Втулки напрямні укорочені	22076-86
7	Опори направляючих втулок і колонок	22080-86
8	Втулки центруючі	64-1-176-86
9	Втулки центральні	64-1-303-87, 64-1-304-87
10	Шайби опорні	640-1-309-87
11	Хвостовики форм з буртом	64-1-312-82

Таким чином, головною відмінністю розробленого методу обробки даних в модулі розрахунку конструктивних параметрів технологічного оснащення від існуючих є те, що він враховує не тільки нестабільну усадку пластмаси, але й усадку, що залежить від форми виробу. Що дозволяє підвищити точність виробу, що виготовляється.

4 РОЗРОБКА І ВПРОВАДЖЕННЯ КОМП'ЮТЕРНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ АВТОМАТИЗОВАНОГО ПРОЕКТУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОЇ ОСНАСТКИ

4.1 Обґрунтування вибору СУБД і мови програмування, розробка бази даних

В даному розділі приводиться обґрунтування вибору СУБД та мови програмування, розроблена структура бази даних, описаний інтерфейс програми, що розроблюється, експериментально досліджена ідентифікація моделі деталі і методу автоматизованого проектування технологічної оснастки, експериментально досліджена трудомісткість технологічної підготовки виробництва.

Головною метою розроблюваного в роботі модуля САПР технологічної оснастки є визначення порядку проектування оснастки, характер зв'язків конструктивних елементів шляхом реалізації запропонованих моделей і методів в вигляді програми. На рис. 4.1 представлений загальний вигляд структури комп'ютерної технології автоматизованого проектування ТО, яка реалізує наступні методи роботи: діалогове проектування з використанням баз технологічних даних; проектування з використанням бібліотеки технологічних рішень; запозичення технологічних рішень з розроблених раніше технологій, а також, можливі комбінації цих методів на розсуд технолога.

При роботі в діалоговому режимі можна зберігати як прототипи і використовувати їх для швидкого формування ЛФ на аналогічні вироби, при цьому в прототип можуть бути закладені розрахунки, які при його використанні автоматично перераховують параметри конструктивних елементів ЛФ.

Кінцевим результатом роботи комп'ютерної технології є не тільки створення та наповнення БД за методиками проектування ЛФ, але й отримання управляючої програми для станків з ЧПУ.

Перед початком розробки БД була вибрана система управління базами даних (СУБД), яка буде використовуватися при експерименті і відповідати за: фізичне розміщення даних та їх опис, пошук даних, захист даних від некоректних оновлень і несанкціонованого доступу, обслуговування одночасних запитів до даних від декількох користувачів.

В теперішній час існує значна кількість типів БД, які отримали широкий розвиток в усіх сферах людської діяльності від пошукової системи в мережі INTERNET до спеціалізованих БД [47, 48]. Вибір оптимальної БД зале-

жить від поставлених задач, які необхідно вирішити. До основних задач відносяться:



Рисунок 4.1 – Структура комп'ютерної технології автоматизованого проектування ТО

- збереження цілісності БД;
- можливість автоматичного швидкого відновлення даних і готовність до роботи після збоїв системи;
- організація гнучкого доступу до інформації (віддаленого та одночасного);
- потужність редактору коду [49 – 50].

Вибір БД проводився між ORACLE, MS SQL і InterBase, всі вони відповідають основним вимогам для створення САПР модулів, але ці БД є платними і вартість одного серверу збільшує вартість САПР, тому для даних досліджень був вибраний продукт компанії IBPhoenix FireBird – це безкоштовна в використанні і розповсюдженні версія серверу InterBase з відкритими кодами. Основна перевага FireBird – повна сумісність з операційною системою Microsoft Windows, Linux, Unix.

Найголовніше при створенні БД – правильно її спроектувати. Для розробки логічної структури бази даних був проведений аналіз вихідної інформації і досліджена степінь залежності зв'язків в ній, в результаті дослідження визначена структура БД, яка буде складатися з двох підсистем: «Довідкова» і «Накопичувана» БД. Елементи БД «Накопичувана» взаємопов'язані з БД «Довідкова».

Підсистема БД «Довідкова» містить інформацію про вид, основні характеристики, усадку, список основних елементів ЛФ і деталі, яка в ній виготовляється. Логічна структура представлена на рис. 4.2.

БД «Накопичувана» розроблена для зберігання інформації про кожен ливарну деталь, альтернативі ЛФ, розроблених в САПР з можливістю редагування, дозволяє зберігати і розраховувати усадку полімерів для створюваних деталей. Логічна структура представлена на рис. 4.3.

БД «Накопичувана» з'єднана одностороннім зв'язком з БД «Довідкова», що виключає втрату і дублювання інформації.

В проєктованій БД знаходиться не тільки інформація про параметри проєктованих елементів, 3D моделі, але і взаємозв'язки ТО з оточуючим середовищем та ін. Гнучкість даної БД в тому, що користувач в будь-який час має можливість внести корективи від самих простих, наприклад, змінити матеріал виробу, що виготовляється до більш складних, наприклад, зміна конструкції моделі ЛФ, параметрів технологічного режиму, технології механічної обробки ЛФ. Така БД підвищує універсальність САПР і дає можливість скоротити строки при створенні нового замовлення.

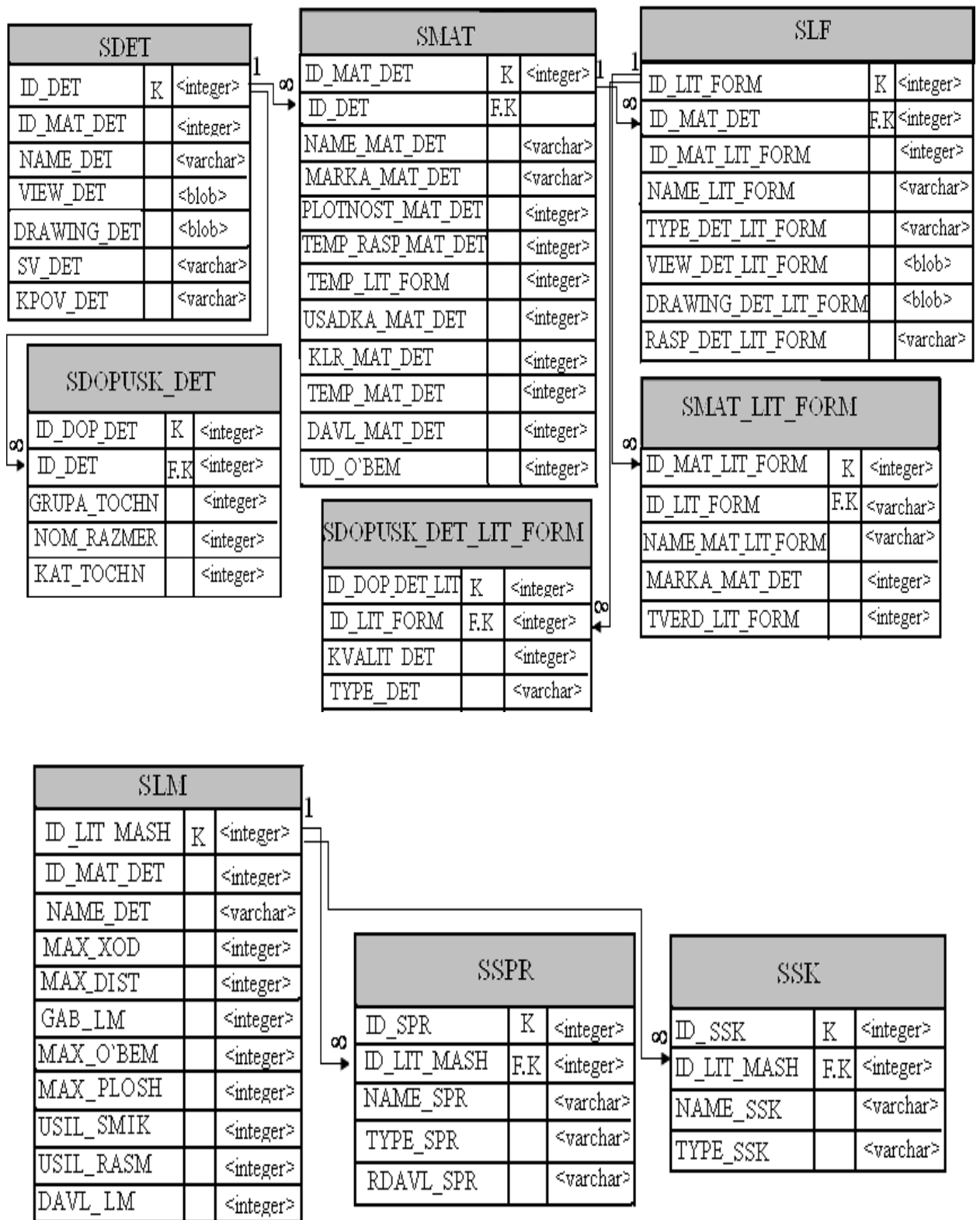


Рисунок 4.2 – Логічна структура БД «Довідкова» і її взаємозв'язки

Розроблена БД в повній мірі відповідає основним вимогам створення реляційних БД і містить мінімальну кількість зв'язків, що забезпечує швидкий доступ до інформації і можливість швидко змінювати і доповнювати БД за мінімальний час.

Наступний етап після розробки БД – вибір мови проектування, тобто вибір програмного середовища, яке повинне бути зручним для реалізації поставленої задачі, а також оптимальним та інтегрованим для роботи з вибраною базою даних (простим в підключенні середовища з таблицями масивів даних).

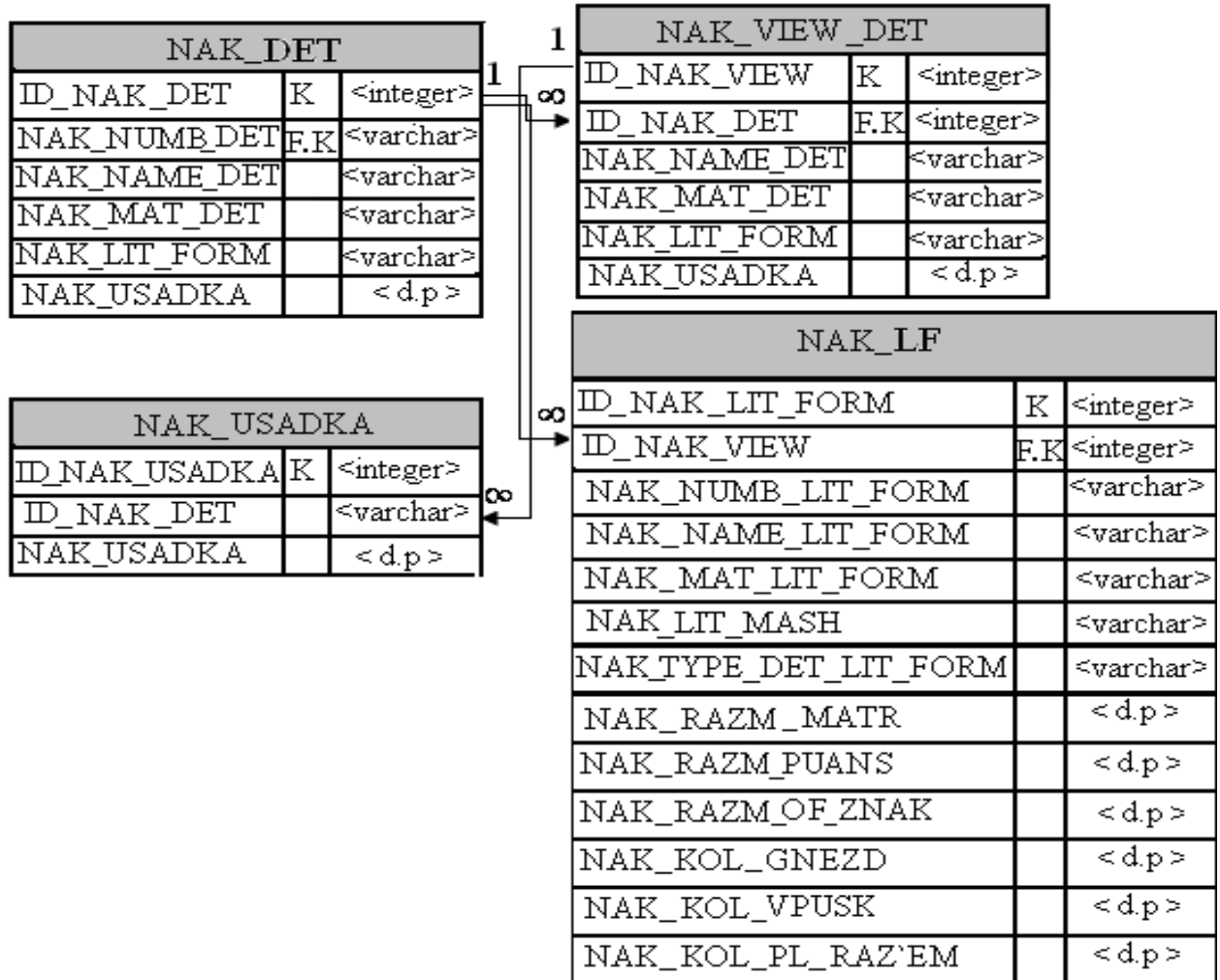


Рисунок 4.3 – Логічна структура БД «Накопичувана» і її взаємозв'язки

Вибір базової мови програмування здійснювався між програмним середовищем Borland Delphi 7 і Visual C, мовами програмування Pascal і C++ відповідно. Ці програмні середовища підтримують реалізацію роботи з БД, але в Visual C відсутня можливість створення інтерфейсу користувача, складність роботи з БД і підключення її з компонентами. У Borland Delphi 7 має місце легкодоступність до БД, простота і зручність редагування БД, наявність вбудованих компонентів підключення БД різних типів (MS SQL, InterBase, FoxPro та ін.). Це значно скорочує час реалізації розроблених методів і збільшує економічну вигоду при проектуванні і програмуванні САПР.

Таким чином, виходячи з вищесказаного, в даному дослідженні для проведення комп'ютерного експерименту з метою апробації прийнятих рішень підходить середовище програмування Borland Delphi 7, яке в повній мірі відповідає всім запитам до реалізації доступу до БД.

4.2 Опис інтерфейсу розроблюваної системи

Важливим при розробці інтерфейсу є його «зручність» доступу до інформації і простота в використанні.

В даному дослідженні вибраний динамічний інтерфейс, який складається з частини «адміністратора» БД забезпечує можливість добавлення і редагування в реальному часі і частини «користувача» – для роботи зі створенням нових деталей з примітивів і нових альтернатив ЛФ. Головна форма програми представлена на рис. 4.4.

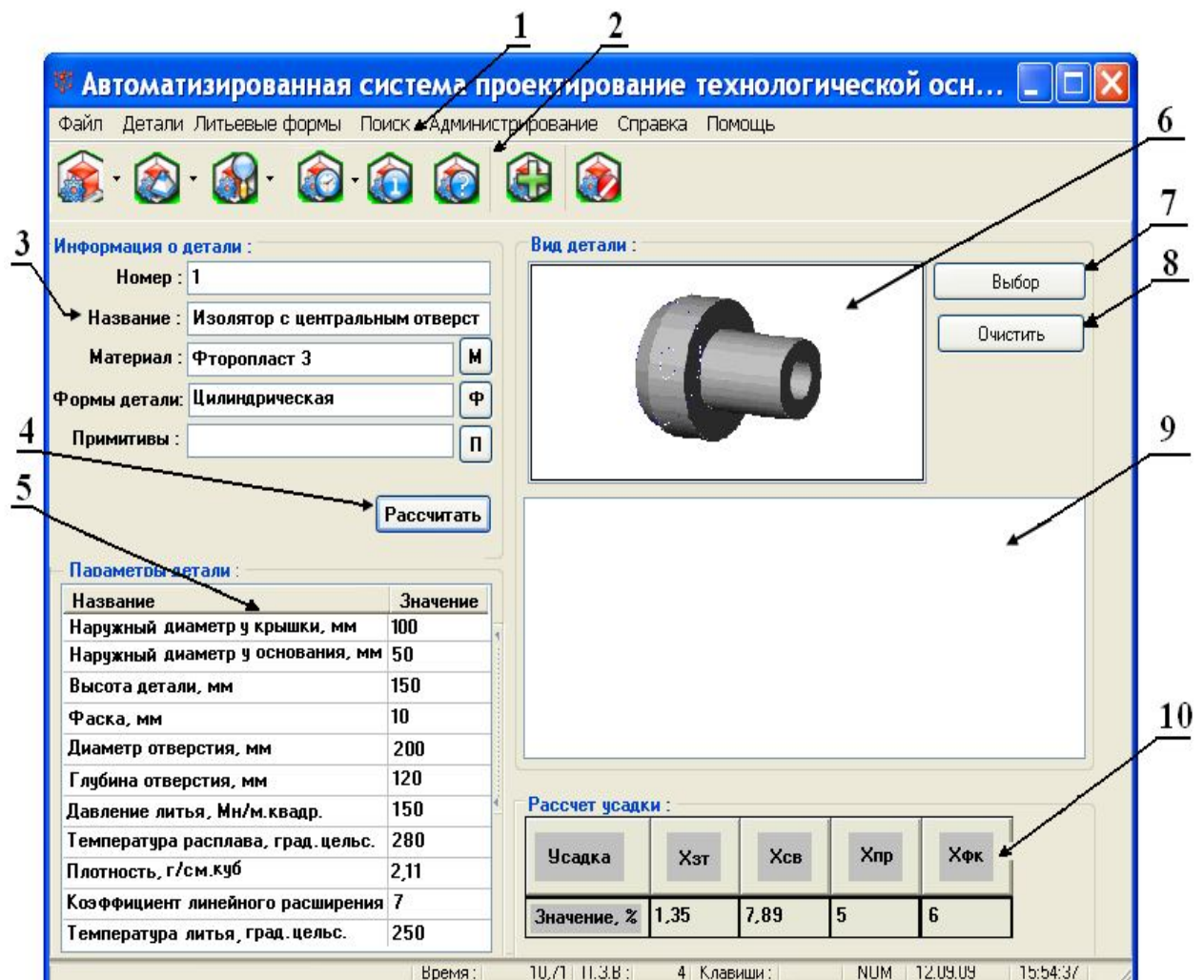
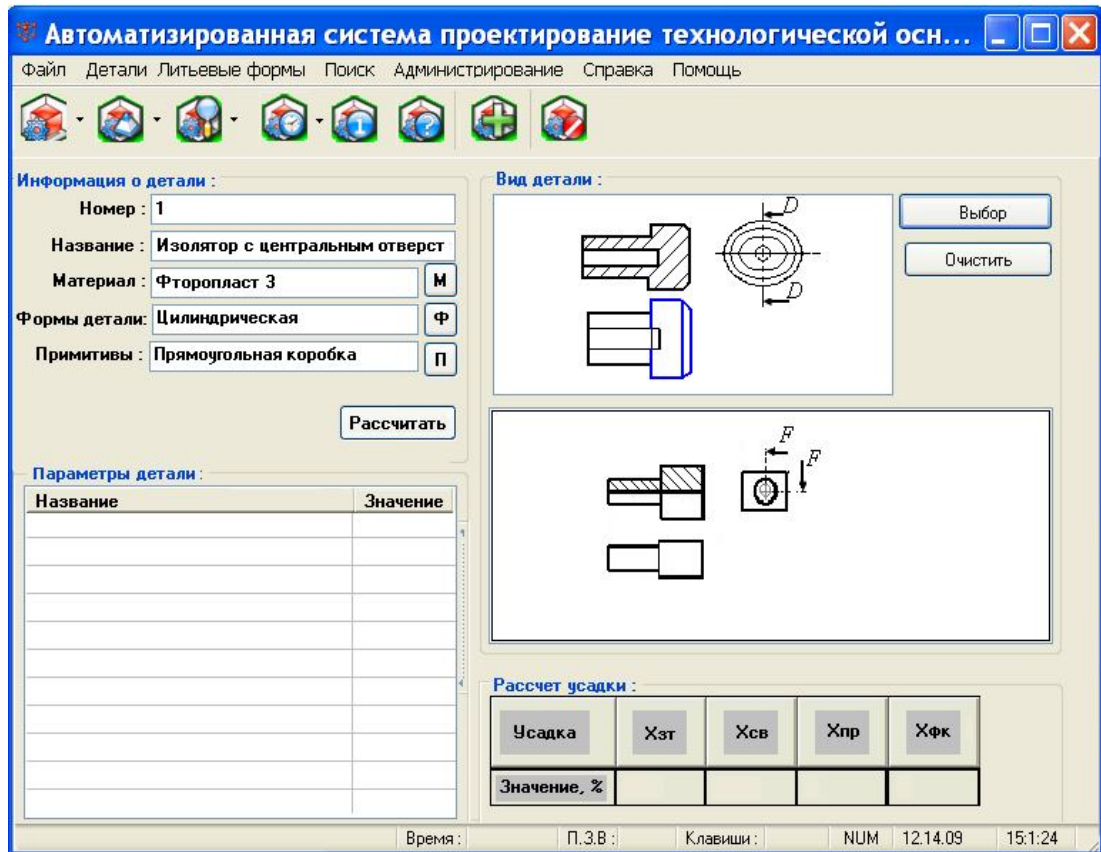


Рисунок 4.4 – Вид интерфейсу головної форми програми проектування деталі

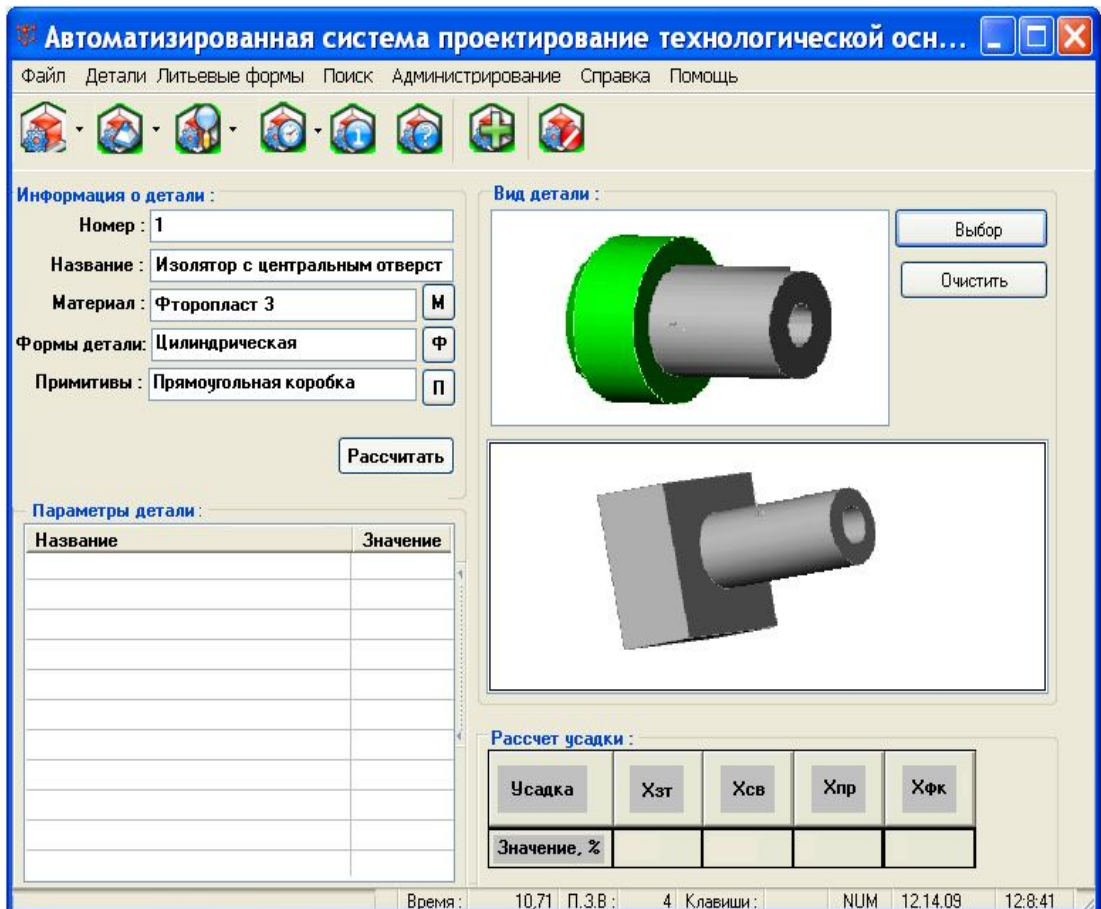
- 1) розширене вікно доступу до «Деталі», «Ливарні форми», «Пошук», «Адміністрування», «Довідка», «Допомога»;
- 2) кнопки доступу до основних функцій програмного забезпечення «Створити нову деталь», «Створити нову ливарну форму», «Пошук», «Моделювання», «Довідкова інформація», «Допомога», «Додаткова інформація», «Вихід»;
- 3) меню основних параметрів ливарної деталі: «Номер», «Назва», «Матеріал», «Форми деталей», «Примітиви»;
- 4) кнопка виконання розрахунків;
- 5) вікно параметрів, в якому враховуються всі необхідні параметри (не тільки властивості, але й характеристики процесів лиття) для розрахунків усадки (діаметр, висота та ін. деталі, температура розплаву та ін.);
- 6) вікно, в якому виводиться тип деталі (3D модель або креслення);
- 7) кнопка вибору деталі з бази даних;
- 8) кнопка очистки вікна, в якому виводиться вид деталі.
- 9) вікно, в якому виводиться вид деталі (3D модель або креслення) для редагування / моделювання.
- 10) таблиця, в якій виводяться результати розрахунків усадки.

Для створення деталі користувач повинен зайти в розширене вікно доступу в меню «Деталі», вибрати опцію «Нова деталь» або натиснути на кнопку швидкого доступу «» і вибрати «Нова деталь». Потім в меню основних параметрів ливарної деталі користувач сам вводить номер, назву деталі, матеріал можна ввести, а можна вибрати з бази даних, натиснути на кнопку М (справа від вікна для вводу назви матеріалу) і аналогічно вибирає форму деталі, в вікні «Вид» з'явиться трьохмірний вид або креслення деталі (натиснув кнопку «Вибір» в вікні з'явиться необхідне зображення, якщо вікно необхідно очистити натиснув «Очистити»). В іншому вигляді, користувач починає моделювати деталь «за сферами», тобто «скласти» деталь з основних примітивів, що знаходиться в базі даних або редагує найбільш схожу з тією, яку потрібно створити деталь, зайшовши в розширене вікно доступу в меню «Деталі», вибравши опцію «Редагувати», або можна натиснути на кнопку швидкого доступу «» і вибрати «Редагувати деталь».

На рис. 4.5 здійснена заміна «циліндричної частини» на прямокутну, користувач виділив (подвійним клацанням кнопки «миші») ту частину деталі, яку потрібно редагувати, далі в меню основних параметрів ливарної деталі ливарної деталі «Примітиви», ввівши прямокутна коробка і в вікні, розміщеному внизу з'являється прямокутник, який розміщується на місці виділеному користувачем частини деталі. При редагуванні можна здійснити як креслення деталі рис. 4.5 (а), так і 3D моделі деталі рис. 4.5 (б).



а)



б)

Рисунок 4.5 – Редагування деталі:

а) редагування креслення деталі; б) редагування 3D моделі деталі

Щоб змоделювати деталь користувач вибирає в розширеному вікні доступу в меню «Деталі» опцію «Моделювання» або натискає на кнопку швидкого доступу «». Потім в меню «Примітиви» основних параметрів ливарної деталі натиснувши кнопку П починає вибирати примітиви з яких буде складатися майбутня деталь. Зображення примітивів з'являється в вікні 6, натиснувши кнопку «Вибір» рисунок передається у вікно 9 та ін. (рис. 4.6 а, б).

На рис. 4.6 (а) червоним кольором виділено, з яких примітивів буде складатися майбутня деталь, а на рис. 4.6 (б) вже готова деталь.

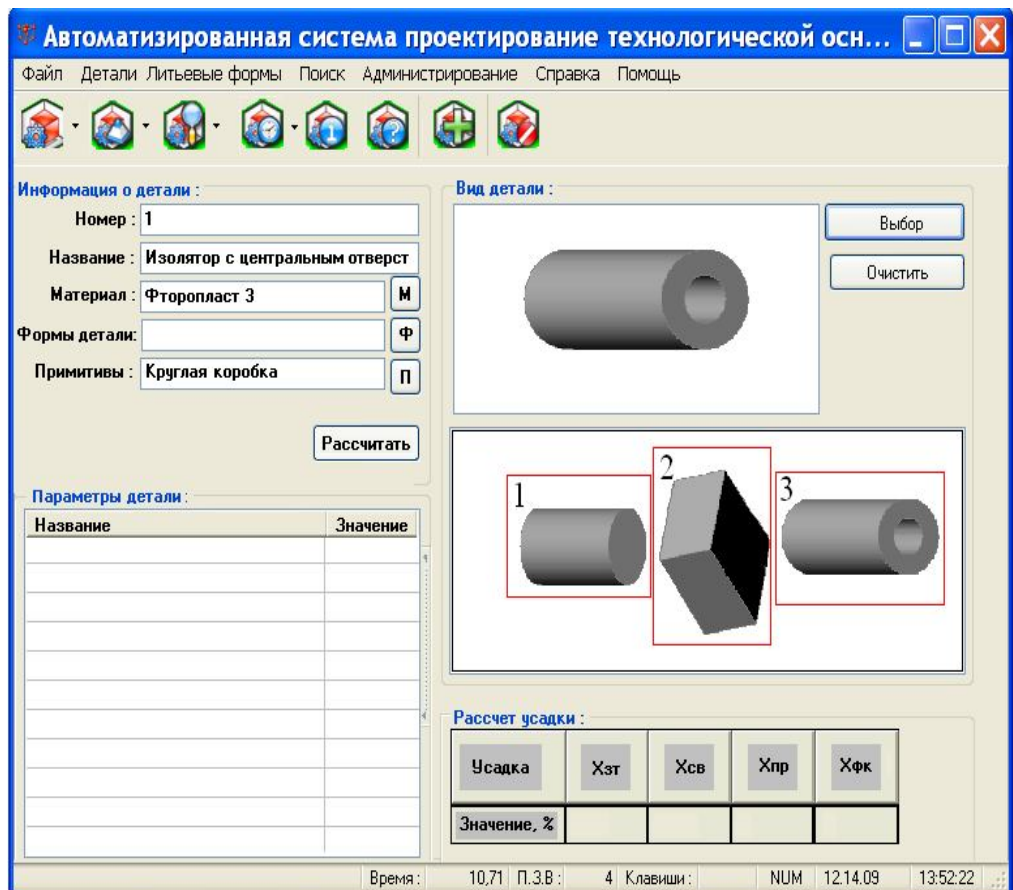
Отримавши модель деталі в вікні «Вид», користувач повинен вибрати кнопку доступу до основних функцій «» і внести додаткову інформацію про створену деталь згідно технічному завданню, яка далі буде враховуватися при виборі ЛФ. Після виконаних описаних вище дій в вікні «Параметри деталі» автоматично виводиться інформація про деталі з урахуванням внесення додаткової інформації.

Потім, натиснувши на кнопку, розрахувати в таблиці «Розрахунок усадки» з'являються результати розрахунків: затруднена усадка, вільна усадка, загальна передбачена і фактична усадка (див. рис. 4.4).

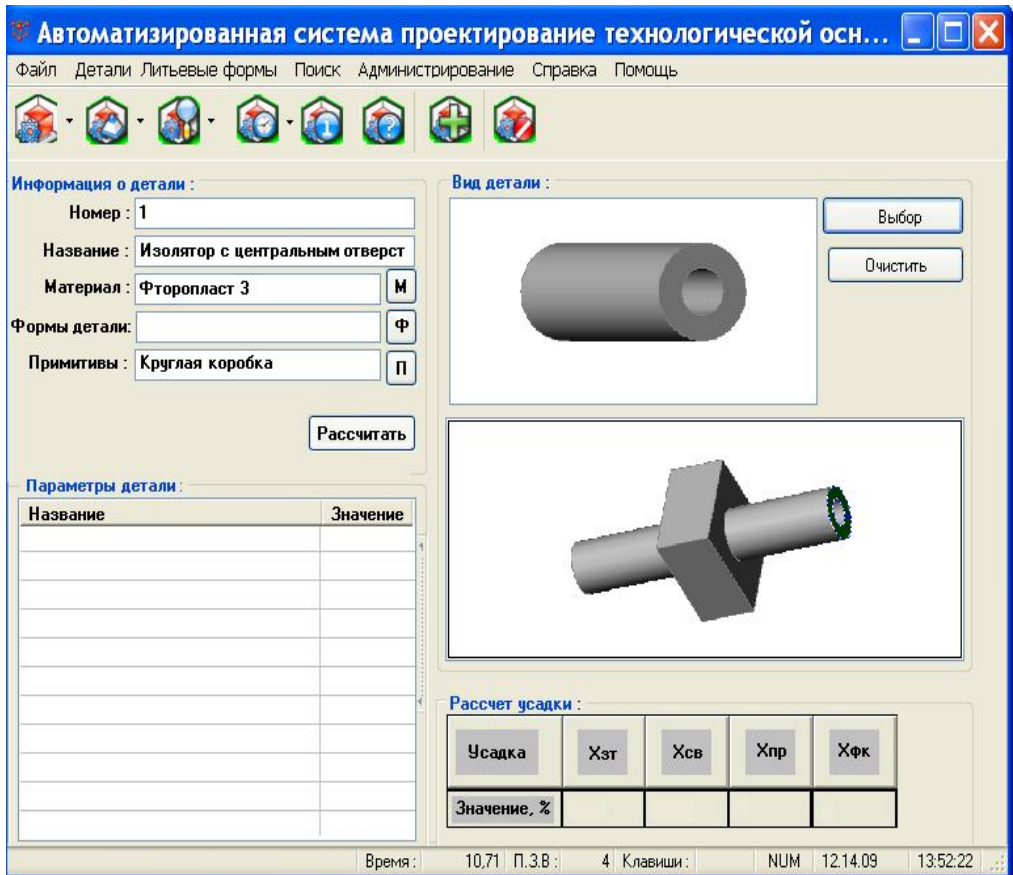
Для створення ливарної форми користувач повинен зайти в розширене вікно доступу в меню «Ливарні форми», обрати опцію «Нова ливарна форма» або натиснути на кнопку швидкого доступу «» і обрати «Нова ливарна форма».

В меню інформація про ливарну форму користувач сам вводить номер, назву форми, матеріал форми можна ввести, а можна обрати з бази даних, натиснувши на кнопку М (справа від вікна для вводу назви матеріалу) і аналогічно обирає ливарну машину і вид форми, в вікні «Вид ливарної форми» з'явиться трьохмірний вид або креслення форми (натиснувши на кнопку «Вибір форми» в вікні з'явиться необхідне зображення, якщо вікно необхідно очистити – обрати кнопку «Очистити»). В іншому випадку, користувач починає моделювати форму «за конструктивними елементами», тобто «створювати» форму з основних деталей, що знаходяться в базі даних або редагує найбільш підходящу для виготовлення даної деталі форму, зайшовши в розширене вікно доступу в меню «Ливарні форми» та обравши опцію «Редагувати», або можна використати кнопку швидкого доступу «» і обрати «Редагувати ливарну форму» (рис. 4.7).

В верхньому вікні креслення вихідної альтернативи ЛФ, а в нижньому вікні відредаговане креслення, червоним кольором показано, де виникла корекція форми.



а)



б)

Рисунок 4.6 – Моделирование детали:

а) моделирование детали за «шарами»; б) готова деталь

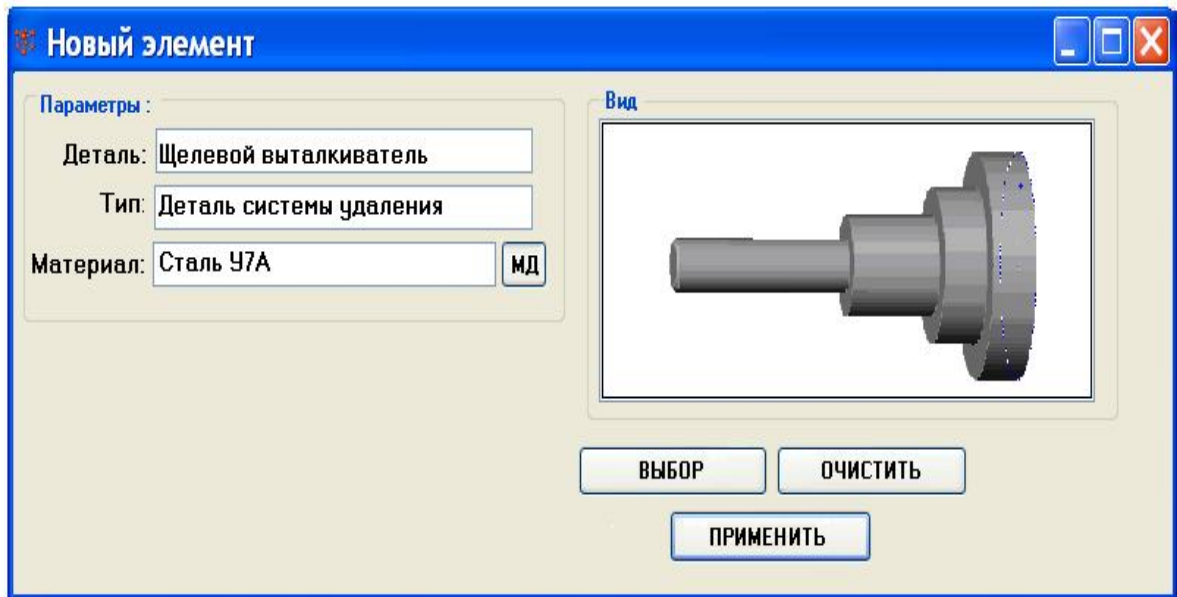


Рисунок 4.8 – Вікно для вводу нового елементу ливарної форми

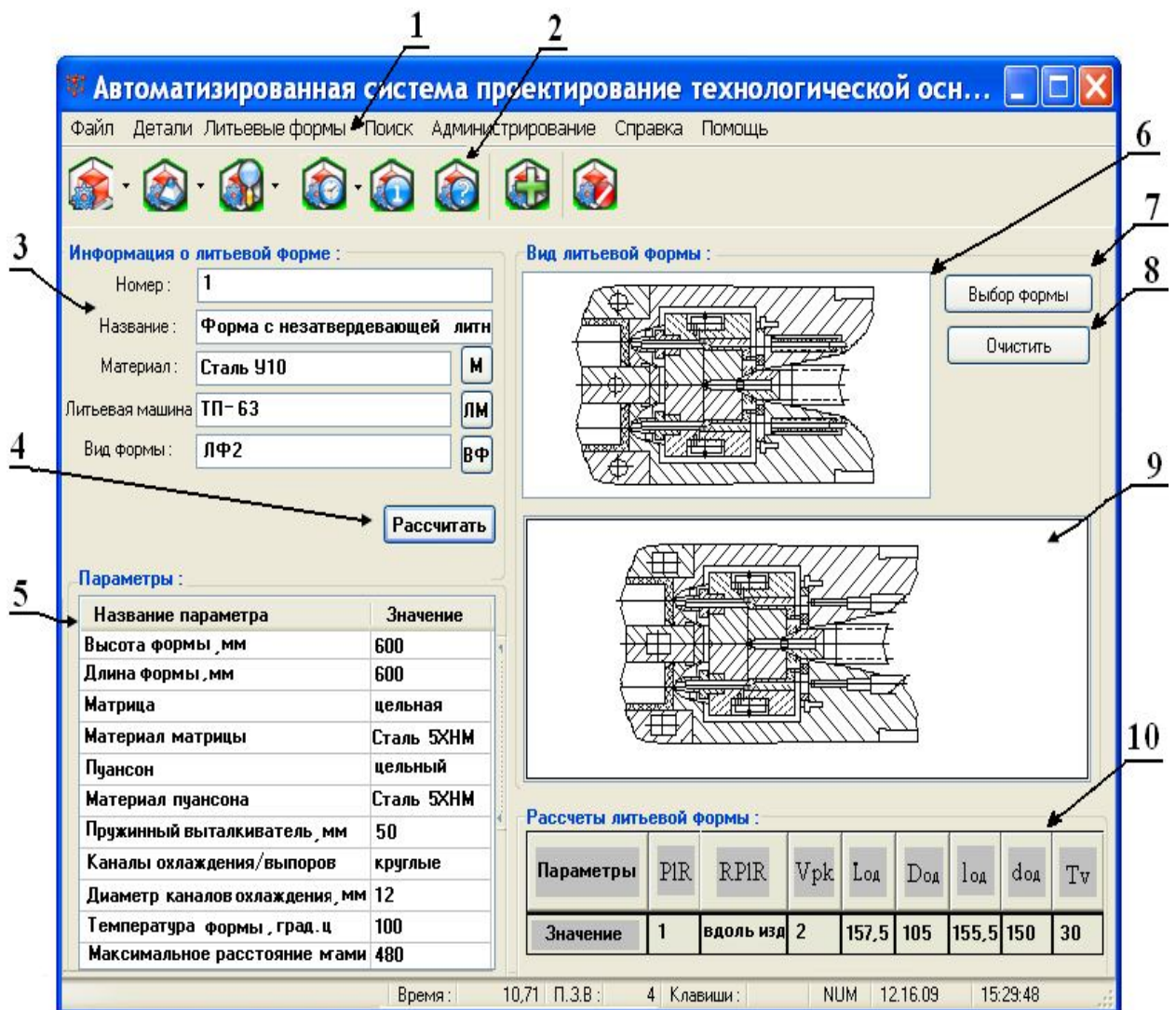


Рисунок 4.9 – Вид інтерфейсу головної форми програми проектування ЛФ

Для здійснення пошуку деталі користувач може зайти в розширене вікно доступу в меню «Пошук», обрати одну з опцій «Пошук за умовами» або «Складений пошук»

Зайшовши в розширене вікно доступу в меню «Адміністрування», можна переглянути інформацію баз даних відповідно обравши одну з опцій «Довідкова база даних» або «Накопичувана база даних».

За допомогою меню «Довідка» розширеного вікна доступу можна знайти інформацію: про форми деталі, ливарні машини, ливарні форми, ливарні матеріали, оператори.

За допомогою меню «Файл» користувач може: створювати, відкривати, зберігати, експортувати, імпортувати деталь / ливарну форму.

1) розширене вікно доступу до «Деталі», «Ливарні форми», «Пошук». «Адміністрування», «Довідка», «Допомога»;

2) кнопки доступу до основних функцій програмного забезпечення «Створити нову деталь», «Створити нову ливарну форму», «Пошук», «Моделювання», «Довідкова інформація», «Допомога», «Вихід»;

3) меню основних параметрів ливарної форми: «Номер», «Назва», «Матеріал», «Ливарна машина», «Вид форми»;

4) кнопка виконання розрахунків;

5) вікно параметрів ЛФ, в якому враховуються всі необхідні параметри для розрахунку розмірів оформляючих деталей і надходження площини роз'єму ЛФ (довжина, висота форми, температура форми, види оформляючих деталей систем: центрування, охолодження та ін.);

6) вікно, в якому виводиться інформація про ливарну форму (3D модель або креслення);

7) кнопка вибору ЛФ з бази даних;

8) кнопка очистки вікна, в якому виводиться інформація про ливарні форми;

9) вікно, в якому виводиться вид ЛФ (3D модель або креслення) для редагування / моделювання;

10) таблиця, в якій виводяться результати розрахунків розмірів оформляючих деталей, час витримки, кількість гнізд ЛФ та ін.

4.3 Експериментальне дослідження адекватності розроблених моделей та методів при автоматизованому проектуванні технологічної оснастки

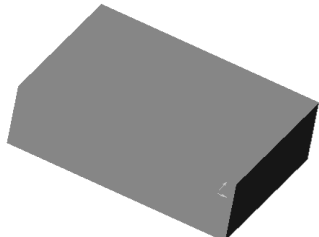
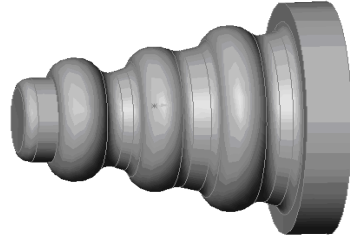
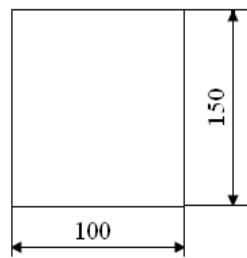
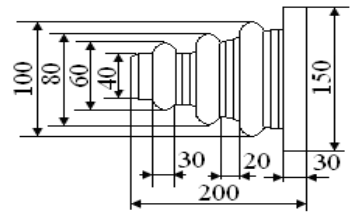
Для експериментальної перевірки розроблених моделей і методів необхідно проаналізувати і порівняти систему з існуючими аналогами. В якості аналогу для порівняльного аналізу обраний T-FLEX CAD / CAM / CAE / CAPP / PDM фірми «Топ Системи», так як дана САПР максимально адаптована до сучасного виробництва [42, 45, 46]. Обираючи основні критерії, для оцінки ефективності розроблюваних моделей і методів враховуються як собівартість готового розроблюваного продукту, як і трудомісткість, і час розробки 3D моделі ливарної деталі; трудомісткість розробки і загальний час розробки альтернативи ЛФ для лиття пластмасової деталі; розрахунок усадки; визначення місце розміщення площин роз'єму.

Для дослідження обраної деталі типу «Ізолятор площинний гладкий», так як вона може бути складником великої деталі, і є простим елементом, дає можливість наглядно побачити етапи ідентифікації конструктивного елемента по розробленим математичним моделям і «Ізолятор конічний з ребрами на зовнішній поверхні без отворів», як приклад деталі складної конфігурації. Інформація про деталі представлена в табл. 4.1.

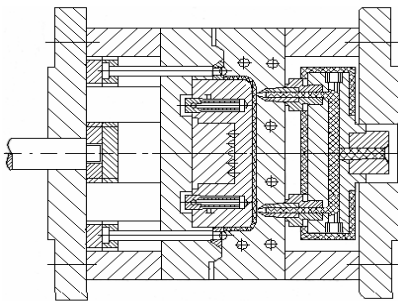
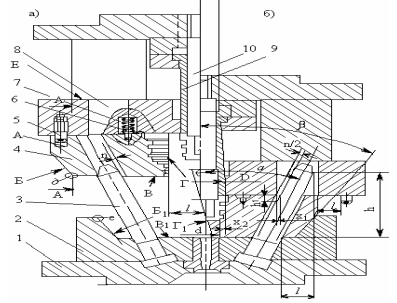
Проаналізувавши 3D моделі деталей типу «Ізолятор площинний гладкий» і «Ізолятор конічний з ребрами на зовнішній поверхні без отворів» візуально видно, що деталі об'ємні, перша деталь – без піднутрінь і простої конфігурації, має форму прямокутної коробки, а друга деталь - з піднутріннями, складної конфігурації, має форму, що складається з кільцеподібних і циліндричних елементів.

Проаналізувавши вихідну інформацію про деталі виявлено, що вони великогабаритні, товщина виробу середня, невисока точність виготовлення. Далі за таблицею відповідностей наведеної в розділі 3 (див. табл. 3.1) визначаємо, який тип литтєвий форми підходить для виготовлення даних деталей. В результаті, для виготовлення ізолятора площинного гладкого, необхідна безлітнікова ливарна форма (), а для виготовлення ізолятора конічного з ребрами на зовнішній поверхні без отворів, необхідна ливарна форма з піднутріннями () інформаційні моделі яких представлено в табл. 4.2.

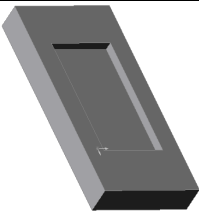
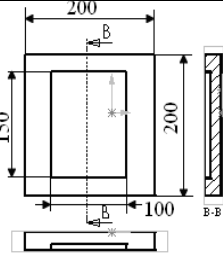
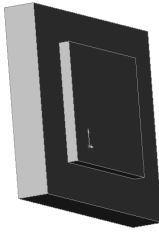
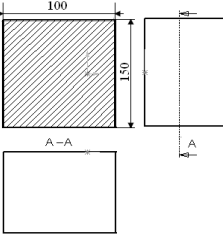
Таблиця 4.1– Інформаційна модель деталі «Ізолятор площинний гладкий» і «Ізолятор конічний з ребрами на зовнішній поверхні без отворів»

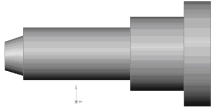
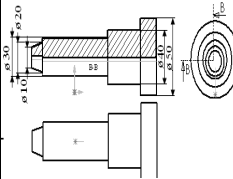
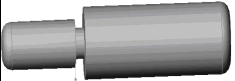
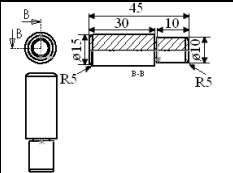
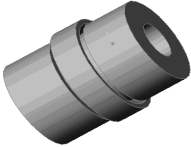
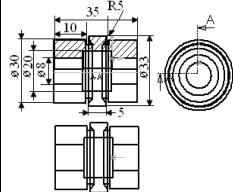
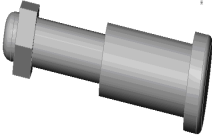
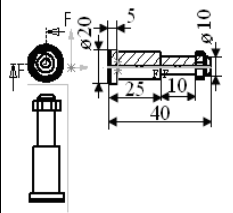
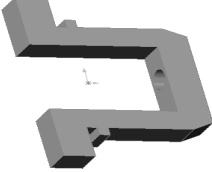
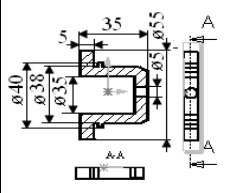
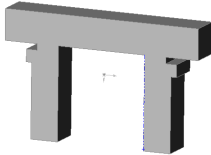
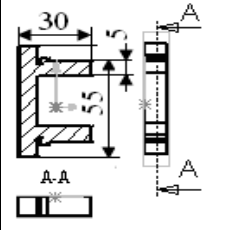
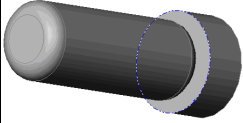
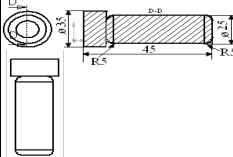
Параметр	Значення / вид	
ID	1	2
Name	Ізолятор площинний гладкий	Ізолятор конічний з ребрами на зовнішній поверхні без отворів
Form		
Draw		
Raz	b=150 мм (ширина) h=20 мм (висота)	h=200 мм (висота)
Massa	50 г	80 г
Mat	Полістирол ударостійкий	Полістирол ударостійкий
Sv	E = 71000 Мпа, (модуль пружності) $\rho = 2640$ кг/куб.м, (щільність)	E = 71000 Мпа, (модуль пружності) $\rho = 2640$ кг/куб.м, (щільність)
Kpov	$R_a = 0,63$	$R_a = 0,63$
Toch	≥ 3 класу	≥ 3 класу
PRO	100. тыс.	≥ 100 . тыс.

Таблиця 4.2 – Інформаційна модель БЛФ (ЛФБ)

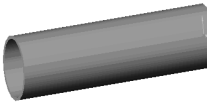
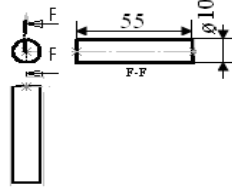
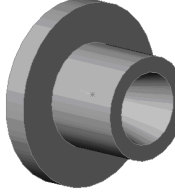
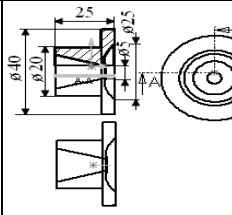
Параметр	Значення	
ТО _Б (вид термообробки оформляючої деталі поверхні БЛФ)	Токарна обробка	Токарна обробка
GA _Б (габарити БЛФ)	600×600 мм	600×600 мм
MT _Б (матеріал БЛФ)	Сталь	Сталь
MS _Б (маса БЛФ)	10 кг.	20 кг.
KE _Б (конструкція форми)		
RE _Б (розміри елементів БЛФ)	Див. табл. 4.3	Див. табл. 4.4

Таблиця 4.3 – Структурно-параметричний опис БЛФ (ЛФБ)

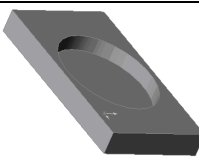
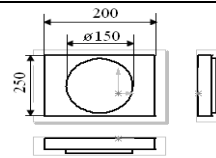
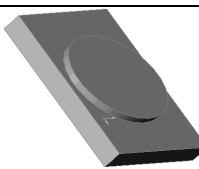
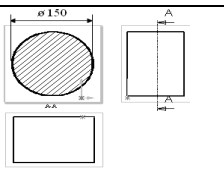
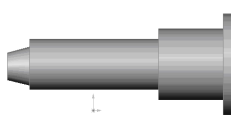
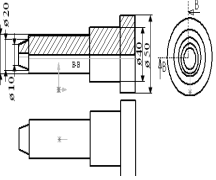
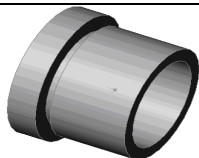
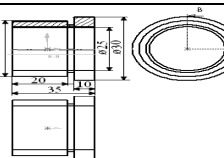
Name	Type	Form	Draw	Rasp	Mat
OfD _Б (оформлюючі деталі)					
Матриця для прямокутного виробу	Оформляюча деталь			На нерухомій платформі	5ХНМ (50-55 HRC)
Пуансон для прямокутного виробу	Оформляюча деталь			На рухомій платформі	5ХНМ (50-55 HRC)

Name	Type	Form	Draw	Rasp	Mat
SNapE_B (направляючі деталі)					
Направляюча колонка з конічним буртом	Направляюча деталь			На сполучних планках	У8; (45-50 HRC)
Направляюча колонка з прямокутним буртом	Направляюча деталь			На сполучних планках	У8; (45-50 HRC)
SVit_B (деталі системи видалення)					
Кріпильна втулка	Направляюча деталь			На сполучних планках	У8; (45-50 HRC)
Тяги	Деталь системи видалення			На сполучних планках	У20; (45-50 HRC)
Фасонний фланець	Деталь системи видалення			На рухливій полуформі	Ст30; (45-50 HRC)
Камера для розміщення деталей системи видалення	Деталь системи видалення			У фасонному фланці	Ст30; (45-50 HRC)
Шток	Деталь системи видалення			На сполучних планках	У7А; (42-47 HRC)

Продовження таблиці 4.3

Name	Type	Form	Draw	Rasp	Mat
SOchl _Б / SVipor _Б (деталі системи охолодження / системи випоровши)					
Канали круглого перетину	Деталь системи охолодження / системи випоровши			На площинах деталей, суміжних з ОД	Сплав берилій латунь
LitS _Б (ливарна система)					
Центральний літник	Деталь ливарної системи			У ливниковій плиті	Сплав берилій латунь

Таблиця 4.4 – Структурно-параметричний опис БЛФ (ЛФ_П)

Name	Type	Form	Draw	Rasp	Mat
OfD _П (оформляючі деталі)					
Матриця для круглого виробу	Оформляюча деталь			На нерухомій полуформі	У8А (55-58 HRC)
Пуансон для круглого виробу	Оформляюча деталь			На рухомій полуформі	У8А; (55-58 HRC)
SNapE _П (направляючі елементи)					
Направляюча колонка з конічним буртом	Направляюча деталь			На сполучних планках	У10; (45-50 HRC)
Направляюча втулка	Направляюча деталь			На опорній плиті	У10; (45-50 HRC)

На основі аналізу деталі, що виготовляється, після визначення альтернативи ЛФ слід вибір: типу виливної машини, засоби контролю, силового приводу, характеристики процесу лиття.

Таблиця 4.6 – Характеристики засобів контролю лиття

	Тип
Сигналізатор температури	ТР-200
Датчик сипучих матеріалів	Лопастний
Датчик часу	ЭВ-20
Реле контролю швидкості (замик. / розмик)	-

Таблиця 4.7 – Характеристики ливарної машини

Параметр		Значення
Model (модель ливарної машини)		ТП-32 (для обох деталей)
Wz (параметри робочої зони)	MAXchod	200 мм
	MAXdist	440 мм
	GAB	140-240
WP (робочі параметри)	MAXotliv	32 см ³
	MAXplosh	120 см ²
	USILIEzam	300 кН
	USILIErazm	30 кН
	DAVL	130 МН/м ²

Таблиця 4.8 – Характеристики силового приводу

Назва	Тип	Максимальна потужність
Електродвигун	АО-93-4	75 кВт

Таблиця 4.9 – Характеристики процесу лиття

Параметр	Значення
Davl (тиск розплаву)	50-200 МН/м ²
Tempv (температура витримки)	200-220 °С
Tempf (температура форми)	20-60 °С
Tempr (температура розплаву)	180-240 °С
Timev (час витримки)	50 с
Times (час циклу)	25-30 с

Для проведення експериментальної перевірки автоматичного проектування ТО були вибрані деталі типу «Ізолятор площинний гладкий» і «Ізолятор конічний з ребрами на зовнішній поверхні без отворів». Для досягнення максимального результату експерименту були «згорнуті» всі програми.

4.4 Експериментальне дослідження трудомісткості технологічної підготовки виробництва

У сучасних САПР проектування ТО здійснюється автоматично. Основоположними при проектуванні є алгоритми, закладені в програмний продукт і ступінь їх деталізації, так як вони головним чином впливають на якість проектування.

Проектування ЛФ в САПР складається з двох етапів: створення тривимірної моделі виробу і ТО, і розробка керуючої програми для верстатів з числовим програмним управлінням, однак, такий підхід застосування САПР з економічної точки зору не дуже вигідний, він знижує здатність системи адаптуватися до реальних виробничих умов. Процес передачі даних в сучасних системах відбувається через універсальний формат IGES, що збільшує час проектування деталі і вимагає високої кваліфікації інженера-технолога. Рішення даної проблеми скоротить витрати часу, а об'єднання проектування всіх етапів виробництва дасть можливість зменшити собівартість деталі.

У ході проведеного експерименту було проведено аналіз загального часу проектування деталей типу «Ізолятор площинний гладкий» і «Ізолятор конічний з ребрами на зовнішній поверхні без отворів».

На рис. 4.10 зображена діаграма часу розробки деталей на базі розробленої системи і системи T-Flex. Діаграма починається з передачі в САПР 3D моделі деталі і до проектування альтернативи ЛФ.

На рис. 4.11. зображена діаграма, яка починається з проектування 3D моделі деталі, так як деталі такого виду (рис. 4.12) немає в базі даних розробленої САПР і до проектування альтернативи ЛФ.

На рис. 4.11: 1 – етап проектування 3D моделі деталі; 2 – етап передачі в САПР 3D моделі деталі; 3 – етап завдання даних; 4 – етап проектування 3D моделі ЛФ; 5 – етап передачі в САПР 3D моделі ЛФ.

З діаграм рис. 4.10, 4.11. видно, що розроблена САПР об'єднує проектування 3D моделей деталі та проектування ТО в одному програмному продукті, що дає можливість відразу передати дані. При завданні вихідних даних для автоматичного проектування ТО, базові геометричні параметри задають-

ся під час проектування 3D моделі деталі, що дозволяє скоротити час проектування.

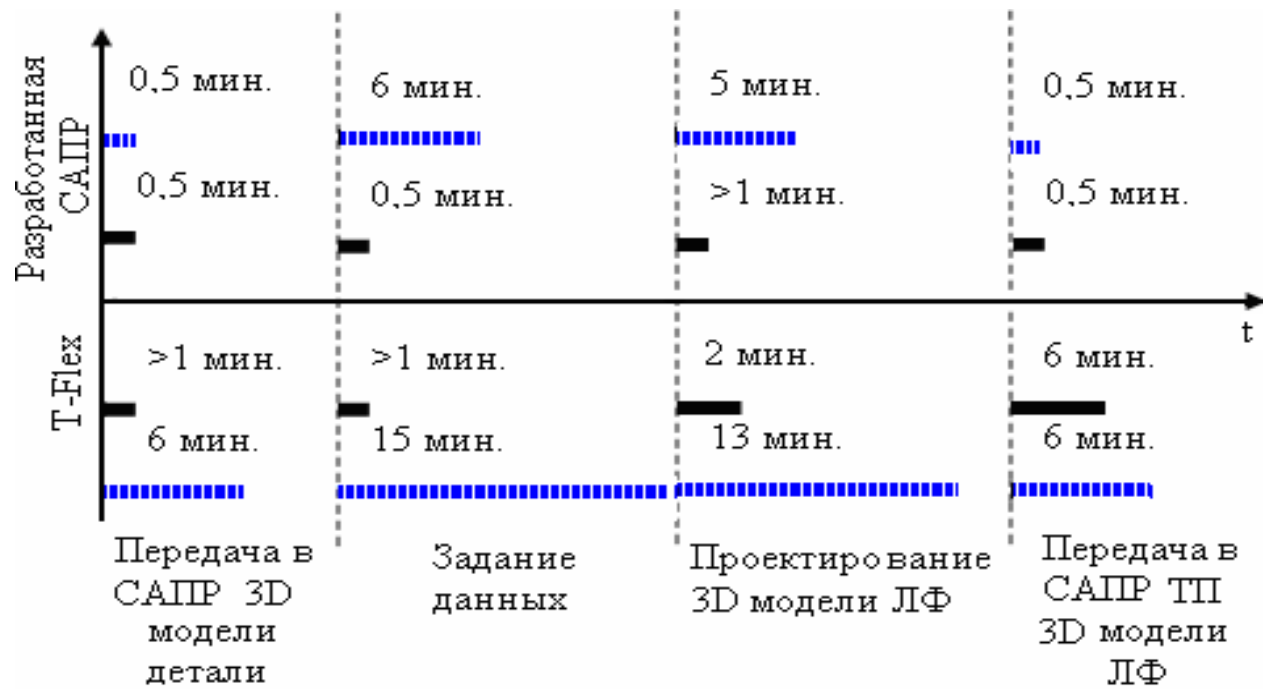


Рисунок 4.10 – Діаграма часу розробки ЛФ для деталей типу «Ізолятор площинний гладкий» (—) і «Ізолятор конічний з ребрами на зовнішній поверхні без отворів» (▒)

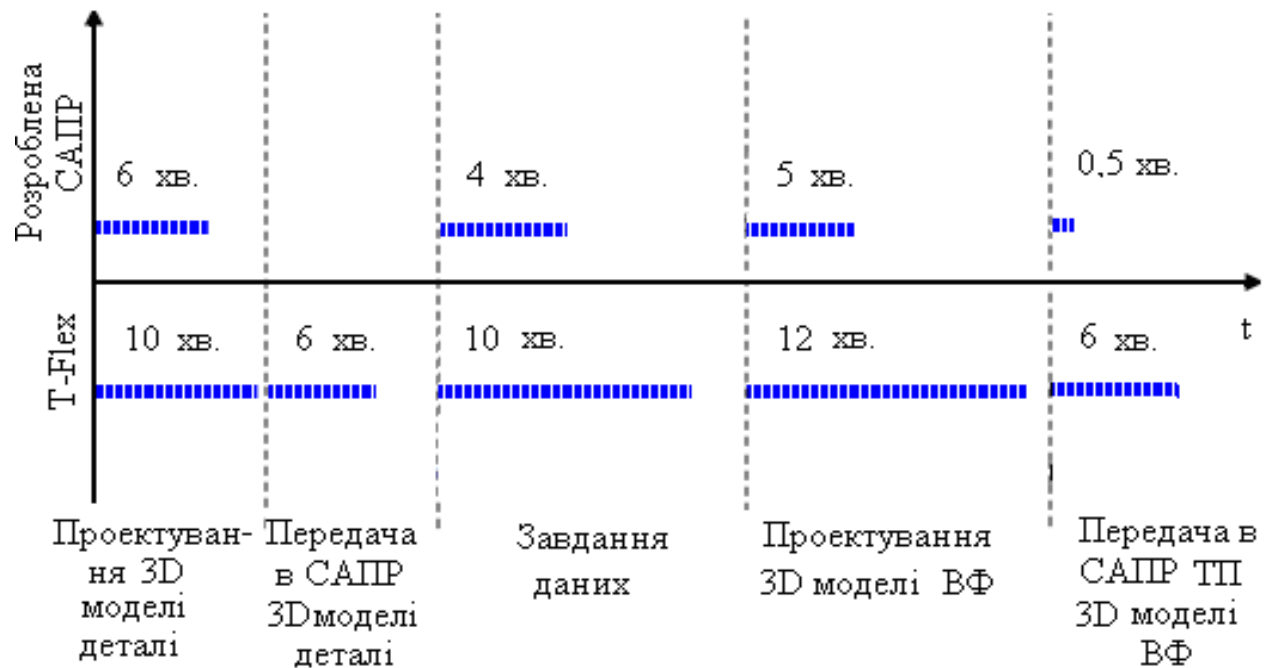


Рисунок 4.11 – Діаграма часу розробки ЛФ для нетипової деталі

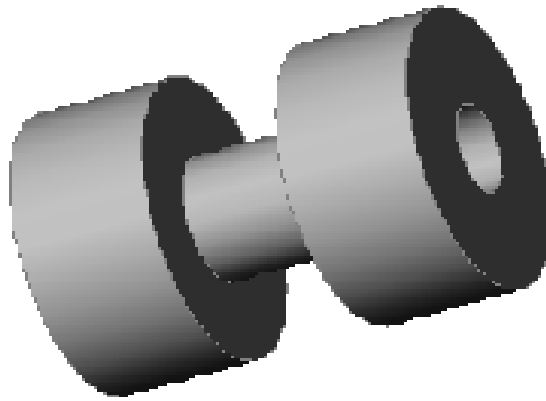


Рисунок 4.12 – Нетипова деталь

Процес автоматичного проектування ТО здійснюється без участі людини і залежить від складності конфігурації проектованої деталі. На виході в розробленій САПР отримуємо керуючі програми для верстатів з ЧПУ. Впровадження верстатів з ЧПУ дозволить скоротити терміни підготовки виробництва на 50 – 75% і підвищить продуктивність праці за рахунок скорочення допоміжного і основного часу обробки на верстаті [38].

Найбільш широко використовуваними системами управління верстатами з ЧПУ є системи ЧПУ Heidenhand і Sinumerik. Можливість підключення до створеної САПР розробленого модуля проектування програм для верстатів з ЧПК, що дасть можливість підвищити рівень інтеграції з системою автоматизованого проектування САПР ТО і знизити трудомісткість проектування за рахунок автоматичного програмування в системі з ЧПУ.

ВИСНОВКИ

У сучасних САПР при проектуванні ТО для виготовлення виробів із пластмас недостатньо враховуються особливості пластмасового матеріалу виробу, які пов'язані з нестабільністю технологічних та конструктивних характеристик матеріалу, що призводить до розриву етапів проектування виробів та ВФ та до багатоетапності виготовлення ВФ. Багатоетапність обумовлена необхідністю фізичного моделювання процесів формоутворення виробів і здійснення цих процесів на експериментальних зразках ВФ. Тому вдосконалення процесу проектування ТО в рамках інтегрованих САПР, з урахуванням особливостей пластмасових матеріалів і необхідності раціонального вибору конструктивних елементів ТО для різних альтернатив ВФ, є актуальним завданням.

Під час виконання магістерської роботи, було досягнуто мету роботи, а саме: розроблено математичні моделі та методи автоматизації проектування технологічного оснащення, а також вирішення на цій основі важливого науково-технічного завдання – підвищення гнучкості й ефективності технологічної підготовки виробництва виробів із пластмас.

Для досягнення поставленої мети роботи було вирішено наступні завдання:

- проведено аналіз існуючих математичних моделей, що описують структурні і параметричні характеристики технологічного оснащення, а також аналіз методів його автоматизованого проектування;
- розроблено інформаційну модель виливної форми, модель середовища її функціонування, структурно-параметричну модель і системну модель на мові регулярних системних моделей, які дозволять розробити математичне і програмне забезпечення інтегрованої системи автоматизованого проектування технологічного оснащення;
- розроблено метод пошуку площини роз'єму ВФ і метод розрахунку конструктивних параметрів технологічного оснащення, які дозволять підвищити точність інтерполяції траєкторії переміщення ріжучої кромки інструменту верстата ЧПК;
- розроблено інтегровану систему автоматизованого проектування, яка дозволить визначити порядок проектування технологічного оснащення і характер зв'язків конструктивних елементів та забезпечить технічну реалізацію запропонованих моделей і методів.

Об'єктом дослідження став процес автоматизованого проектування технологічного оснащення для формоутворення пластмасових деталей.

Предметом дослідження стали моделі і методи автоматизованого проектування виливних форм.

У роботі були отримані наступні наукові результати.

Розроблена структурно-параметрична модель конструкцій ЛФ, яка на відміну від відомих дозволяє будувати дерева структурних властивостей елементів форми для альтернатив ЛФ. Розроблена модель дає можливість генерувати безліч варіантів вибору для конструктора ЛФ. Приведено систематизований опис альтернатив і критеріїв для їх вибору у вигляді моделей, які відображають взаємозв'язки між елементами чотирьох обраних альтернатив ЛФ.

Отримали подальший розвиток системні моделі ЛФ, що володіють можливістю поширення на новий клас об'єктів, якими є ЛФ. Запропоновані системні моделі містять опис конструктивних елементів ЛФ у вигляді морфологічного куба, у вузлах якого на кожному ієрархічному рівні наведено операції проектування, об'єднані в групи по проектних дій, втратах проектування, рівням проектування, фазами життєвого циклу КЕ. Це дало можливість отримати повне формальне подання ТО на мові регулярних схем системних моделей і використовувати методи комп'ютерної обробки формалізованих системних моделей.

Для реалізації розроблених моделей і методів була розроблена програма з використанням СУБД FireBird, яка підтвердила їх працездатність і ефективність. Спосіб реалізації розроблених моделей і методів дасть можливість створити єдину інтегровану систему, що складається з САД і розробленої САПР ТО. Результати проведених експериментів показали, що розроблена САПР:

- зменшує витрати часу на етапі розробки 3D моделі на 32%;
- зменшує витрати часу на етапі завдання вихідних даних для проектування ТО на 52% за рахунок розроблених моделей і методів;
- в порівнянні з аналогами дозволяє використовувати недороге обладнання, так як має менший об'єм ресурсів ПЕОМ при автоматичному проектуванні, що знижує ступінь прив'язки до сучасних ПЕОМ;
- має можливість підключення до створеної САПР модуля проектування програм для верстатів з ЧПК, що дасть можливість підвищити рівень інтеграції з САПР ТП та знизити трудомісткість проектування за рахунок автоматичного програмування в системі із ЧПУ.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Ракович А.Г. Основы автоматизации проектирования технологических приспособлений / Под ред. Е.А. Стародетко. – Минск.: «Наука и техника», 1985. – 285 с.
2. Емельянова А. П. Технология литейной формы. – М.: «Машиностроение», 1986. – 224 с.
3. Копин В.А. Обработка изделий из пластмасс / В.А. Копин, В.Л. Макаров, А.М. Ростовцев – М.: Химия, 1988. – 176 с.
4. Лапшин В.В. Основы переработки термопластов литьем под давлением. – М.: «Химия», 1974. – 270 с.
5. Лейкин Н.Н. Конструирование пресс-форм для изделий из пластических масс. – М.: Машиностроение, 1966. – 244 с.
6. Pease W. An Automatic Machine Tool. – Scientific American, 1952. – 187 (3). – p. 101–115.
7. Henryk Zawistowski. Особенности проектирования и производства литьевых форм / Henryk Zawistowski, Третьяков Артем. // "Полимеры-Деньги". – № 4. – 2005. – с. 5–12.
8. Кондаков А.И. САПР технологических процессов: учебник для студ. высш. учеб. заведений. – М.: Издательский центр «Академия», 2007. – 272 с.
9. Комплекс общепромышленных руководящих методических материалов по созданию АСУ и САПР // Государственный комитет СССР по науке и технике. – М.: «Статистика», 1980. – 119 с.
10. Петраков Ю.В. Перспективы развития систем автоматизированного проектирования процессов // Вестник КПИ. Серия Машиностроение, 2005. – с. 38–42.
11. Кудрявцев Е.М. Практикум по КОМПАС – 3D V8. – М.: ДМК Пресс, 2007. – 440 с.
12. Ширяев Н. Проектирование пресс-форм в системе Unigraphics // САПР и графика. – № 1. – 2000. – с. 23–24.
13. Бикулов С.Н. T-Flex CAD – в русле мировых тенденций развития САПР // САПР и графика. 1999. – № 6. – С. 50–54.
14. Прохоренко В.П. SolidWorks. Практическое руководство. – М.: ООО «Бином-Пресс», 2004. – 448 с.
15. Верховданов Н.Н. Inventor – мыслите трехмерно // САПР – экспресс. – 2003. – № 3. – С. 2–8.

16. Давыдкин А.С. Проектирование технологической оснастки в T-Flex / САПР ИМ (на примере пресс-форм для литья термопластов) / А.С. Давыдкин, М.В. Красиков, М.В. Никулин // Мир полимерных материалов. Изд. дом «АиФ-Бизнес», Проект «Отраслевые ведомости». – 2001. – С. 102–104.
17. Давыдкин А.С. T-FLEX/ Пресс-форма – система автоматизированной поддержки действий конструктора / А.С. Давыдкин, М.В. Красиков // Переработка пластмасс и компьютерные технологии. – М.: Центральный Российский Дом знаний, 2001. – С. 36–40.
18. Быков А. Проектирование и изготовление пресс-форм с CAD / CAM ADEM // САПР и графика – № 1. – 2003. – С. 15–20.
19. Быков А. Проектирование художественно оформленной тары из стекла и пластмассы в CAD / CAM ADEM / А. Быков, А. Казаков, А. Мальцев – М.: «Omega Technologies», 2001. – 229 с.
20. Невлюдов І.Ш. Комп'ютерні технології автоіатизованного виробництва / І.Ш. Невлюдов, М.А. Бережна. – Харків: ТОВ «Компанія СМІТ», 2007. – 368 с.
21. Аведьян А. SolidWorks: стандартный и специализированный инструментарий для конструкторов оснастки и технологов / А. Аведьян, В. Морозов, А. Глущенко // САПР и графика. – № 6. – 2003. – с. 4–11.
22. Норенков И.П. Основы автоматизированного проектирования: Учеб. пособие для ВТУЗов. – М.: Изд-во МГТУ им. Баумана, 2000. – 360 с.
23. Керимов З.Г. Автоматизированное проектирование конструкций / З.Г. Керимов, С.А. Багиров – М.: «Машиностроение», 1985. – 224 с.
24. Капустин Н.М. Диалоговое проектирование технологических процессов / Н.М. Капустин, В.В. Павлов, Л.А. Козлов, Р.З. Диланян, В.М. Зарубин, А.В. Судьбин, Р.А. Кюттнер – М.: «Машиностроение», 1983. – 255 с.
25. Шпур Г. Автоматизированное проектирование в машиностроении / Г. Шпур, Ф.-Л. Краузе – М.: «Машиностроение», 1988. – 648 с.
26. Цветков В.Д. Система автоматизированного проектирования технологических процессов. – М.: «Машиностроение», 1972. – 239 с.
27. Корн Г. Справочник по математике. Определения, теоремы, формулы / Г. Корн, Т. Корн – М.: «Наука», 1973. – 832 с.
28. Жолткевич Г.Н. Автоматизация проектирования технологической оснастки: теория и практика. – К.: Техника, 1998. – 263 с.

29. Видгоф Н.Б. Основы конструирования литьевых форм для термопластов. – М.: «Машиностроение», 1979. – 264 с.
30. Кузнецов Л.А. Информационное моделирование объектов и систем при организации автоматизированного проектирования / Л.А. Кузнецов, Н.Н. Тельник – Ворошиловград, 1970. – 90 с.
31. Малышев Г.А. Основы проектирования и производства из пластмасс в автомобилестроении / Г.А. Малышев, А.Н. Езерский – М.: Машгиз, 1963. – 247 с.
32. Орлов Г.М. Автоматизация и механизация процесса изготовления литейных форм, – М.: Машиностроение, 1988. – 264 с.
33. Lupton F.J. Some Aspects of Injection mould Design Plastics. – Product design engineering, 2006. – № 4. – P. 73.
34. Borregard L. Why and how to measure injection power // SPE ANTEC Tech. Papers, 1998. – P. 44.
35. Смышляев П.П. Проектирование технологических приспособлений. – Л.: «Изд-во Ленинград: унта», 1991. – 291 с.
36. Глухов Е.Е. Формование изделий из пластмасс. // Пластические массы, 1966. – № 3. – С. 51–55.
37. Chookazian M. Plastics Encyclopedia, 1992. – 345 p.
38. Гольдберг И.Е. Опыт конструирования литьевых пресс-форм, работающих на автоматическом режиме. – Пластмассы, 1974. – № 1. – С. 29.
39. Жуковский С.С. Формовочные материалы и технология литейной формы: Справочник / Под общ. ред. С. С. Жуковского. – М.: Машиностроение, 1993. – 432 с.
40. Крыжановский В.К. Технические свойства полимерных материалов: Уч.-справ. пос. / В.К. Крыжановский, В.В. Бурлов, А.Д. Паниматченко, Ю.В. Крыжановская. – СПб., Изд-во “Профессия”, 2003. – 240 с.
41. Голдинг Б. Химия и технология полимерных материалов. – М.: Изд. иностранной литературы, 1963. – 656 с.
42. Тагер А.А. Физико-химия полимеров. – М.: «Химия», 1978. – 544 с.
43. Базаров Ф.Ф. Органические и неорганические полимеры в конструкциях РЭА. – М.: Советское радио, 1974. – 160 с.
44. Мирзоев Р.Г. Основы конструирования и расчеты деталей из пластмассы и технологической оснастки для их изготовления. – Л.: «Машиностроение», 1972. – 416 с.
45. Бочкарев Е. Литье под давлением: пресс-формы // Техноцентр компьютерного инженеринга. – УГТУ-УПИ, 2006. – с. 9–11.

46. Кабанов В.А. Энциклопедия полимеров. Т. 2. Литьевые формы. – М., Советская энциклопедия, 1974. – 1032 с.
47. Абрамов В.В. Состояние и перспективы развития промышленности переработки пластмасс в России // Пластические массы. – 1999. – № 5. – С. 3–5.
48. Дольский А.М. Технология конструкционных материалов: Учебник для машиностроительных специальностей ВУЗов / Под ред. А.М. Дольского. – М.: Машиностроение, 2005. – 448 с.
49. Калинин Э.Л. Структура и конструкционные свойства термопластов в литевых изделиях / Э.Л. Калинин, М.Л. Кацевман – М.: НИИТЭхим, 1976. – № 10 (35). – С. 257.
50. Мэллой Р.А. Конструирование пластмассовых изделий для литья под давлением / Пер. с англ. яз. В.А. Брагинского, Е.С. Цобкалло, Г.В. Комаров – СПб.: Профессия, 2006. – 512 с.