

УДК 621.825

Б.М. Гевко, О.Л. Ляшук, І.М. Кучвара, І.І. Брошак

Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

СИНТЕЗ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ОСНАЩЕННЯ ДЛЯ НАВИВАННЯ ГВИНТОВИХ ЗАГОТОВОК

Розроблено структурний синтез пристроїв для навивання гвинтових заготовок (ГЗ) методом морфологічного аналізу. Розроблена морфологічна модель пристроїв для навивання гвинтових заготовок з покращеними експлуатаційними характеристиками і вибрано 5 конструкцій. Розроблена система синтезу ГЗ дозволяє при використанні відповідного програмного забезпечення (САПР) і встановлення відповідних обмежень розробляти і вибирати найбільш працездатні і раціональні конструкції в поєднанні з техніко-економічним обґрунтуванням гвинтових робочих органів.

Ключові слова: гвинтова заготовка; навивання; оправка; притискний механізм; синтез; комбінації.

Постановка проблеми. Гвинтові робочі органи широко використовують у різних галузях народного господарства – для змішування, транспортування і необхідного переміщення сипких сільськогосподарських культур, будівельних матеріалів, харчових та фармацевтичних продуктів, металевої стружки, приготування сумішей для виготовлення абразивних інструментів тощо. Тому для забезпечення високої продуктивності виготовлення гвинтових робочих органів необхідно використовувати високопродуктивні пристрої для навивання гвинтових заготовок.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Питанням технології виготовлення гвинтових заготовок (ГЗ) присвячені праці Гевко Б.М. [1], Пилипця М.І. [2], та інших, а питанням морфологічного аналізу систем Одріна В.М. [3], теорії технічних систем – Кузніцова Ю.М. [4], основам інженерної творчості – Половинкіна А.І. [5], та інші. Проте питання синтезу пристроїв для навивання гвинтових заготовок з розширеними технологічними можливостями потребують свого вирішення.

Метою роботи є проведення синтезу пристроїв для навивання гвинтових заготовок методом морфологічного аналізу для отримання конструкцій з покращеними техніко-економічними характеристиками.

Реалізація роботи. Процес навивання спіралей із стрічки з неперервним її сходженням з оправки (рис. 1) полягає в тому, що активні сили тертя, що виникають від дії калібрувальної частини притискного згинного ролика, здійснюють захоплення і просування стрічки.

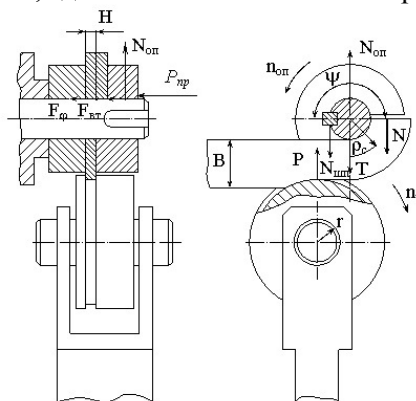


Рис. 1. Розрахункова схема процесу неперервного формоутворення навивних заготовок

У процесі навивання одного неповного витка, коли сила підтискання Q захоплювальної втулки достатня, умови згинання в пристрої практично такі ж, як і в навиванні на гвинтову оправку. На поверхні втулки виникають зусилля тертя F від осьової сили Q . В подальшому під впливом навитих витків втулка, що захоплює стрічку, відсувається і витки стрічки, розміщені між втулками, сприймають зусилля притискання. При цьому виступ напямної втулки заважає

притисканню стрічки безпосередньо в зоні згинання, тобто умови згинання стрічки практично такі ж, як при навиванні на гвинтову оправу протягом усього процесу.

Осьова сила притискання Q при навиванні ГЗ утворюється від сил тертя осьового переміщення захоплювальної втулки і витків, що сходять. З урахуванням умов навивання приймаємо, що зусилля розтягування в навитій частині спіралі постійне. Тоді сила тертя в процесі переміщення втулки вздовж оправу (рис. 1) визначається за формулою

$$F_{BT} = \mu_0(N_{ШП} + N_{ОПР}), \quad (1)$$

де μ_0 – коефіцієнт тертя полоси по оправці;

$N_{ШП}$ – нормальне зусилля в шпонковому з'єднанні;

$N_{ОПР}$ – нормальне зусилля контакту з'єднання оправка-втулка;

Для ефективного процесу навивання необхідно, щоб у початковий момент осьове зусилля від тертя втулки, яке є складовою сили осьового підтискування, було максимальним.

Якщо зусилля осьового розтягу N буде визначено згідно з [1], то з умови рівності моментів знаходимо

$$N_{ШП} = N \frac{P_C}{r}, \quad (2)$$

де P_C – радіус прикладання сили N ;

r – радіус оправу.

Відповідно до цього нормальне зусилля в зоні контакту рухомої втулки і оправу буде рівним:

$$\bar{N}_{ОПР} = \bar{N}_{ШП} + \bar{N}, \quad (3)$$

де N – поздовжня сила розтягування стрічки.

Звідси

$$N_{ОПР} = \sqrt{1 + \frac{P_C^2}{r^2} - 2 \frac{P_C}{r} \cos \psi} N, \quad (4)$$

де ψ – контактне кутове зміщення між кріпильним і шпонковим пазами.

Відповідно сила тертя в процесі переміщення втулки вздовж оправу, а максимальне значення F_{BT} буде для конструкцій пристосувань, контактне кутове зміщення в яких набуває значення $\varphi = \pi$.

Тоді залежність (1) набуває вигляд

$$F_{BT} = \mu_0 \left(3 + \frac{2B}{d_0} \right) N, \quad (5)$$

де B – ширина стрічки;

d_0 – діаметр оправу.

Розтягувальне зусилля NR усталеного процесу навивання визначається, згідно з [1], залежністю

$$N_R = \left(\beta_\sigma \frac{H_0}{3} \right) \frac{\left(\delta_{TO} + \Pi \ln \sqrt{\frac{R}{r}} \right) \sqrt{\frac{R}{r}} \left(R^2 + 2r\sqrt{Rr} - 3Rr \right) (\mu_p + \mu_0)}{l + \mu_p (R - \sqrt{Rr}) + \mu_0 (r - \sqrt{Rr})}, \quad (6)$$

де m_p – приведений коефіцієнт тертя на обтисковому ролику;

β_σ – коефіцієнт, що залежить від співвідношення головних напружень;

μ_p – коефіцієнт тертя в місці прикладення поперечної сили;

μ_0 – коефіцієнт тертя полоси по оправці;

R – зовнішній радіус витка;

r – внутрішній радіус витка;

l – плече прикладення сили.

Згідно з результатами експериментальних досліджень зусилля навивання P і розтягувальна сила N досягають свого максимуму (P_{max} та N_{max}) в момент прокручування оправки на $1/6 \dots 1/4$ оберту, а далі практично залишаються незмінними.

Отже, на першому етапі зростає сила P у межах від P_{PP} до P_{MAX} , де P_{PP} – сила радіального притиску. Відповідно N буде збільшуватися від $N_{MIN}(\mu_p + \mu_0)$ до N_{MAX} приблизно за лінійною залежністю, а напруження від обтиску стрічки змінюються від $\sigma_{po} = \frac{P_{PP}(\mu_p + \mu_0)}{H_0 r^4 \sqrt{\frac{R}{r}}}$ до $\frac{N}{H_0 r^4 \sqrt{\frac{R}{r}}}$.

Отже, сила тертя від осьового переміщення першої чверті витка буде

$$F^{\frac{\pi}{2}} = \mu_0 H_0^4 \sqrt{\frac{R}{r}} \left(\frac{\sigma_{ro} + \sigma_{\frac{\pi}{2}}}{2} \right) \frac{\pi r}{2} = \mu_0 \frac{\pi}{4} (P_{PP}(\mu_p + \mu_0) + N). \quad (7)$$

Далі на біглій ділянці з параметром φ , в межах від $\frac{\pi}{2}$ до φ , сила тертя буде рівна

$$F_\varphi = \left(\varphi - \frac{\pi}{2} \right) \mu_0 N. \quad (8)$$

У процесі навивання стрічки на оправу, довжина нейтрального шару деформацій із радіусом $P_{II} \approx \sqrt{Rr}$ буде незмінною, звідси швидкість подачі заготовки в зону деформацій буде наступною

$$v_s = \frac{\pi n \sqrt{Rr}}{30}, \quad (9)$$

де n – частота обертання.

Довжина зони пластичного деформування нижнього ребра стрічки, на якій виникає реакція T , що протидіє згинній силі P ($T = P$), буде

$$l = \frac{P}{H\sigma_T} \sqrt[4]{\frac{R}{r}} = \frac{N}{H\sigma_T(\mu_p + \mu_0)} \sqrt[4]{\frac{R}{r}}. \quad (10)$$

Швидкість сходження навитої заготовки з оправки (вздовж осі OZ) буде

$$V_Z = \frac{nH}{60} \sqrt[4]{\frac{R}{r}}. \quad (11)$$

Силу F_{PZ} за [1] можна подати як складову рівнодійної F_p вздовж осі Oz:

$$F_{PZ} = \mu P \sin \delta, \quad (12)$$

де δ – кут нахилу рівнодійної F_p до площини навивання.

Отже, в загальному випадку сила зміщення витків уздовж вісі Oz із сторони клинної поверхні буде дорівнювати

$$Q = F_{BT} - F_{\frac{\pi}{2}} + F_{\varphi} + F_{P2} = \mu_0 N \left(3 + \frac{2B}{d} + \frac{\pi}{4} \frac{P_{PP}(\mu_P + \mu_O)}{N} + \varphi - \frac{\pi}{4} + \sin \delta (\mu_P + \mu_O) \right) = \mu_0 P \left[\sin \delta + \frac{\left(3 + \frac{\pi P_{PP}}{4P} + \frac{\pi}{4} + \varphi + \frac{B}{d} \right)}{\mu_P + \mu_O} \right]. \quad (13)$$

Спроектований технологічний процес неперервного навивання заготовок НЗ на підставі проведених теоретичних викладок дає змогу їх отримувати для виготовлення та відновлення деталей і спіралей шнеків у різних типах виробництв, а також в умовах ремонтних майстерень.

Важливим питанням проектування оснащення для навивання гвинтових заготовок є пошук їх удосконалених конструкцій для досягнення високих показників продуктивності і якості навивних операцій, а також розширення технологічних можливостей.

Одним із шляхів вирішення завдання створення нових конструкцій пристроїв для навивання гвинтових заготовок є втілення прогресивних методів пошуку нових технічних рішень на ранніх стадіях конструкторської підготовки виробництва. Цього можна досягти при використанні морфологічного аналізу, який на четвертому етапі передбачає синтез варіантів об'єкта, що на основі складеної морфологічної матриці дає можливість отримати повну кількість рішень [3]:

$$N = K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \cdot \dots \cdot K_j = \prod_{j=1}^n K_j, \quad (14)$$

Проте кількість отриманих варіантів у результаті такого синтезу є дуже великою, що утруднює пошук найбільш раціональних рішень. Тому доцільно скористатись методом синтезу ієрархічних груп за допомогою морфологічного аналізу. Цей метод базується на морфологічному аналізі [3], проте він передбачає поділ механічної системи на певну кількість ієрархічних рівнів (як правило 3) з віднесенням до кожного окремих конструктивних елементів системи. Даний метод передбачає розчленування загальної задачі на часткові та проведення пошуку раціонального рішення у часткових областях пошуку з подальшим їх компонуванням. Так до першого ієрархічного рівня слід віднести ті конструктивні елементи механічної систем, які безпосередньо впливають на якість і продуктивність виконання технологічного процесу (елементи першого порядку). До другого ієрархічного рівня слід віднести конструктивні елементи, що допомагають реалізовувати функції відповідної механічної системи і мають опосередкований вплив на виконання технологічного процесу (елементи другого порядку). До третього ієрархічного рівня слід віднести конструктивні елементи, які є необхідні для роботи механічної системи, але не мають впливу на реалізацію технологічного процесу (елементи третього порядку). Ці конструктивні елементи при компонуванні механічної системи слід вибирати в першу чергу виходячи із економічної доцільності (їх ціни та вартості експлуатації). Генерування альтернатив пропонованим вдосконаленим методом передбачає проведення генерації альтернатив на окремих ієрархічних рівнях, або й у межах окремих конструктивних елементів, починаючи з вищих рівнів. На наступному етапі до вибраних на цих рівнях конструктивних рішень проводиться добір можливих альтернативних варіантів конструктивних елементів з нижчих рівнів, що забезпечує отримання найбільш раціональних конструктивних рішень при значно менших витратах зусиль та часу, ніж при використанні морфологічного аналізу. При використанні запропонованого методу синтезу ієрархічних груп за допомогою морфологічного аналізу кількість варіантів визначатиметься за формулою:

$$N_{IT} = (K_{11} \cdot K_{12} \cdot K_{13} \cdot K_{1i}) + (K_{21} \cdot K_{22} \cdot K_{23} \cdot K_{2i}) + \dots + (K_{z1} \cdot K_{z2} \cdot K_{z3} \cdot K_{zi}) = \sum_{z=1}^l \prod_{i=1}^m K_i. \quad (15)$$

Розглянемо модель пристрою для навивання гвинтових заготовок, зображену на рис. 2. Згідно запропонованого групування до першої ієрархічної групи слід віднести такі конструктивні елементи: 1 – конструкція оправки; 2 – притискний механізм; до другої ієрархічної групи: 3 – пристрій для затискання кінця заготовки; до третьої ієрархічної групи: 4 – привід обертання.

Відповідно при кодуванні використаємо наступну схему кодів конструктивних елементів гвинтових транспортерів з використанням символу «i» (де «i» змінюється в межах від 1 до ∞): 1_i – конструкції оправок; 2_i – конструкції притискних механізмів; 3_i – конструкції пристроїв для затискання кінця заготовки; 4_i – варіанти приводів обертання. Якщо в конструкції міститься декілька ідентичних конструктивних елементів, то їх кількість доцільно записати відповідним степенем, наприклад: дві конструкції притискних механізмів - (2₁₂)², а якщо міститься декілька різних конструктивних елементів одного виду, то їх доцільно записати наступним чином: дві оправки - (1₇ ∪ 1₉₂).

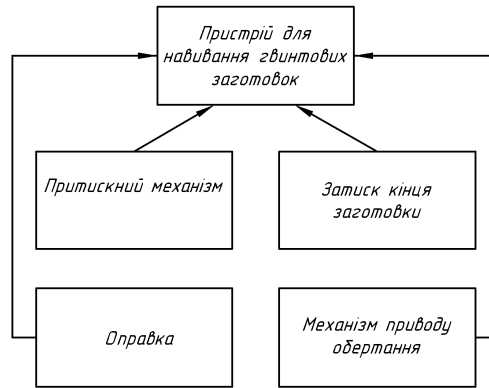


Рис. 2. Структурна схема пристрою для навівання гвинтових заготовок

В результаті генерування альтернатив конструкцій, на першому ієрархічному рівні одержано такі альтернативи (рис. 3):

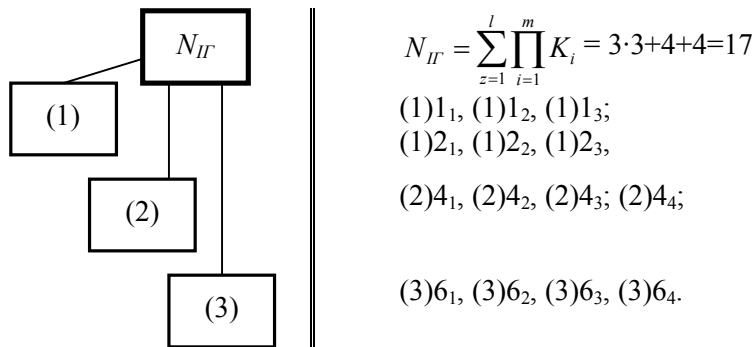


Рис. 3. Модель механічної системи «пристрій для навівання ГЗ»: (1) – перший ієрархічний рівень; (2) - другий ієрархічний рівень; (3) - третій ієрархічний рівень

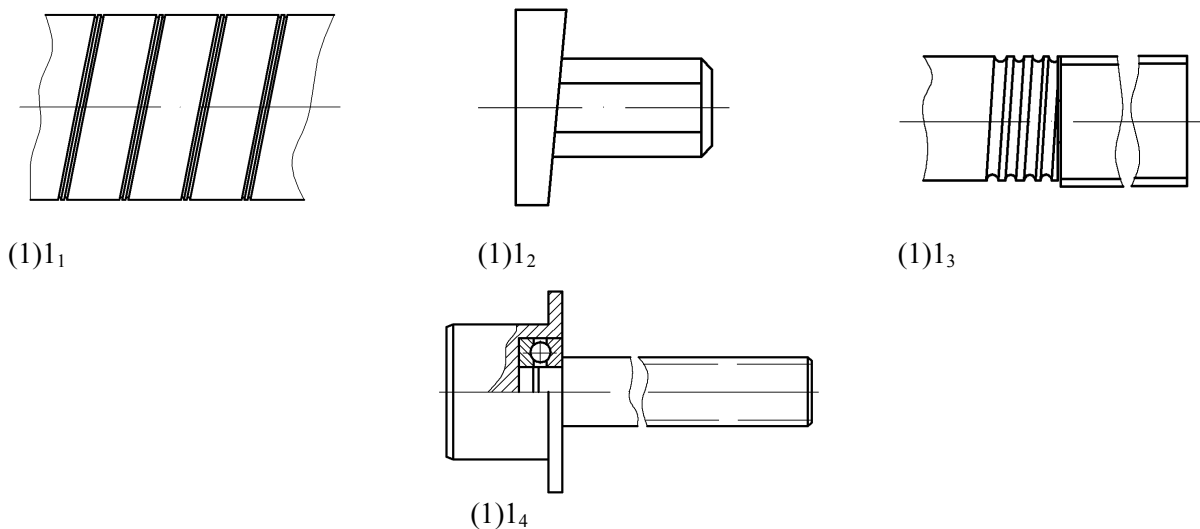


Рис. 4. Варіанти конструкцій оправок

- для першого ієрархічного рівня: (1)1₁ - (1)1₃ (рис. 4); (1)2₁ - (1)2₉ (рис. 5);
- для другого ієрархічного рівня: (2)4₁ - (2)4₄;
- для третього ієрархічного рівня: (3)6₁ - (3)6₄.

Приклади компоновань конструктивних елементів першого ієрархічного рівня представлені на рисунку 4.

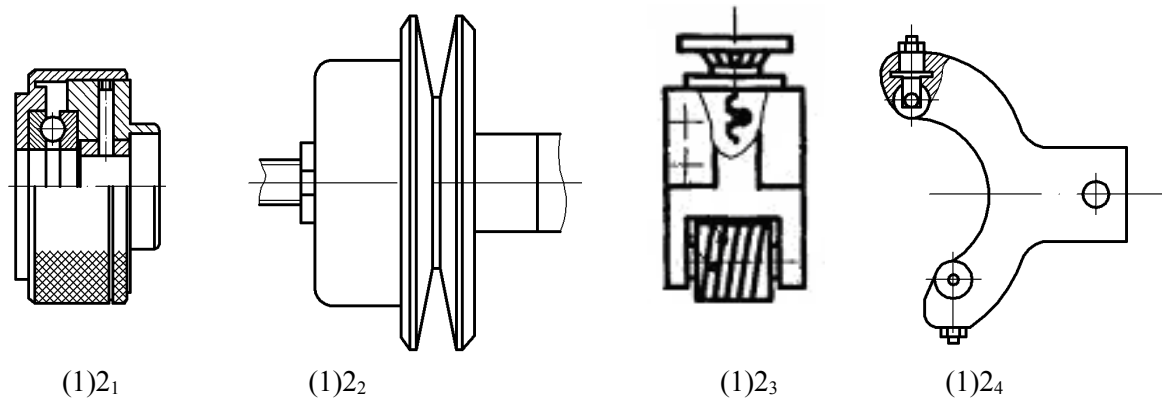


Рис. 5. Варіанти конструкцій притисних роликів

Якщо при синтезі альтернативних конструктивних варіантів пристроїв для навивання гвинтових заготовок використовувати традиційний метод морфологічного аналізу, то кількість альтернатив становитиме: $N = \prod_{j=1}^n K_j = 144$ варіанти, що майже у 9 разів більше, ніж при використанні запропонованого методу синтезу ієрархічних груп за допомогою морфологічного аналізу: $N_{II} = \sum_{z=1}^1 \prod_{i=1}^m K_i = 17$. Це вказує на доцільність використання запропонованого методу, що значно полегшує перебір альтернатив та пошук найкращих.

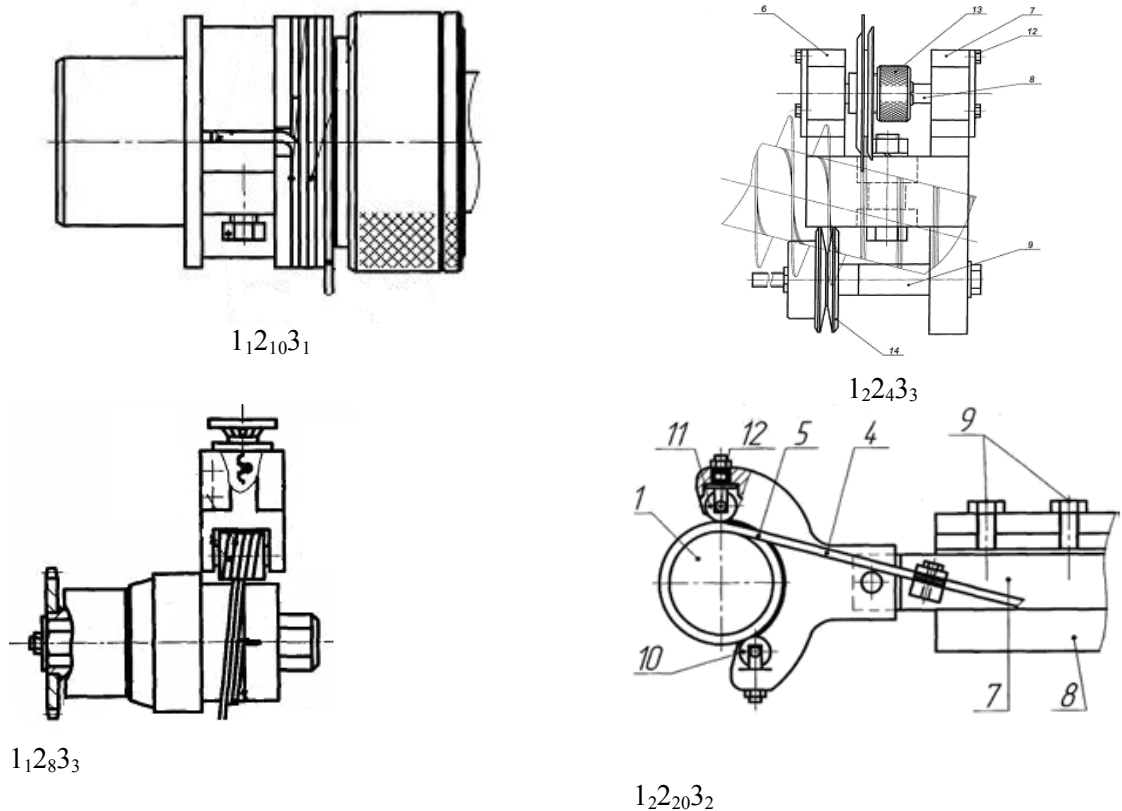


Рис. 6. Приклади компоновань конструктивних елементів першого ієрархічного рівня

В результаті синтезу ієрархічних груп за допомогою морфологічного аналізу було згенеровано працездатні конструкції альтернативних варіантів пристроїв для навивання гвинтових заготовок (рис. 7), які захищені патентами України на винаходи.

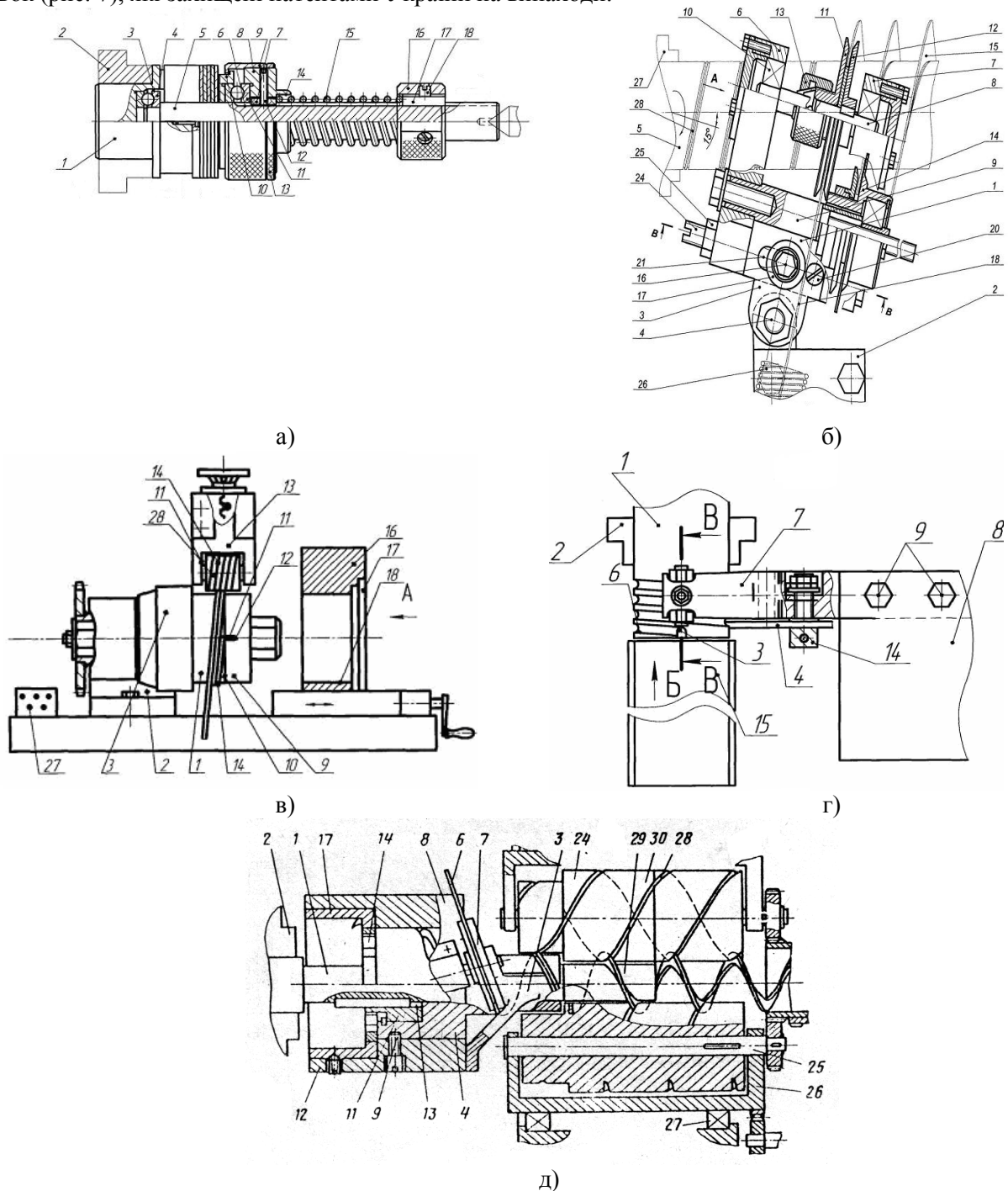


Рис. 7. Синтезовані конструкції пристроїв для навивання гвинтових заготовок, захищених патентами України: а) №65681; б) № 48611; в) №37301; г) №36854; д) №1563807

Висновок. Розроблені конструкції пристроїв для виготовлення гвинтових заготовок для серійного і крупно серійного виробництва.

Виведені аналітичні залежності для визначення силових, конструктивних і технологічних параметрів при виготовленні ГРО сільськогосподарських та інших машин і механізмів.

Запропоновано спосіб структуризації конструкцій пристроїв для навивання гвинтових заготовок і методику їх вдосконалення на основі дослідження властивостей елементів їх структури відповідно до теорії синтезу ієрархічних груп за допомогою морфологічного аналізу.

1. Гевко Б.М. та інші Технологічні основи формоутворення різнопрофільних гвинтових заготовок. Тернопіль 2009 ТДТУ, 454 с.
2. Пилипець М.І. Теоретичні передумови процесу неперервного навивання спіралей шнеків// Сільськогосподарські машини. Зб. наук. статей. Луцьк: Ред.-вид. відділ ЛДТУ. – 1997. – Вип. 3. – С. 120 – 128.
3. Кузнецов Ю.М. Теорія технічних систем [Текст] / Ю.М. Кузнецов, І.В. Луців, С.А. Дубиняк – Київ-Тернопіль, 1997 – 310 с.
4. Половинкин А.И. Основы инженерного творчества: Учеб. пособие для студентов вузов. [Текст] / А.И. Половинкин – М.: Машиностроение, 1988. – 368 с.
5. Одрин В.М. Морфологический анализ систем: Построение морфологических матриц [Текст] / В.М. Одрин, С.С. Картавов – К.: Наукова думка, 1977. – 183 с.
6. Пат. №65681. Україна, МПК В21D 11/06 Пристрій для намотування смуги на оправку / Пономаренко С.В., Стефанів В. М., Данильченко Л.М., Волошин В.Н., Ляшук О.Л., Гевко І.Б. заявник і власник патенту Тернопільський державний технічний університет імені Івана Пулюя. – № u201106716; заявл. 12.12.2011; опубл. 12.12.2011., Бюл. № 23.
7. Пат. № 48611. Україна, МПК В21D 11/06 Пристрій для неперервного навивання різнопрофільних гвинтових заготовок на оправку / Пономаренко С. В., Палюх А. Я., Ляшук О. Л., Гевко І. Б., Івасечко Р. Р. заявник і власник патенту Тернопільський державний технічний університет імені Івана Пулюя. – № u200910218; заявл. 08.10.2009; опубл. 25.03.2010., Бюл. № 6, 2010 р.
8. Пат. № 368541. Україна, МПК В21D 11/06 Пристрій для неперервного навивання гвинтових заготовок / Ляшук О.Л., Палюх А.Я., Івасечко Р.Р., Гевко І.Б., заявник і власник патенту Тернопільський державний технічний університет імені Івана Пулюя. – № u200806852; заявл. 19.05.2008; опубл. 10.11.2008., Бюл.№ 21, 2008 р.
9. Пат. № 37301. Україна, МПК В21D 11/00 Пристрій для навивання і калібрування гвинтових заготовок / Ляшук О.Л., Палюх А.Я., Івасечко Р.Р., Гевко І.Б., заявник і власник патенту Тернопільський державний технічний університет імені Івана Пулюя. – № u200807191; заявл. 23.05.2008; опубл. 25.11.2008, Бюл. № 22, 2008 р.
10. АС № 1563807. СРСР, МПК В21D11\06 Устройство для непрерывной навивки спирали шнуков / Гевко Б.М., Пыльпец М.И., Рогатынский Р.М., Дубык О.И., заявник і власник патенту Тернопольский филиал Львовского политехнического института им. Ленинского комсомола. – № 4386619/31-27; заявл. 18.01.1988; опубл. 15.05.1990, Бюл.№18, 1990 р.