

УДК 65.011.56

DOI <https://doi.org/10.32838/2663-5941/2022.3/11>**Проскурено Д.М.**Національний технічний університет України  
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»**Третяк О.В.**Національний технічний університет України  
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»**Філіппова М.В.**Національний технічний університет України  
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

## АВТОМАТИЗАЦІЯ ТЕХНОЛОГІЧНОЇ ПІДГОТОВКИ ОДИНИЧНОГО ТА ДРІБНОСЕРІЙНОГО ВИРОБНИЦТВА

У статті описано змодельований прототип технологічної підготовки дрібносерійного та одиничного типів виробництва. В даний час значна кількість продукції виготовляється в умовах одиничного і дрібносерійного виробництва, де найбільш помітна трудомісткість етапу ТПВ, що призводить до зниження продуктивності і збільшення обсягу виробництва. За рахунок впровадження автоматизації та моделювання виробничого процесу можливе зменшення комплексу технологічної підготовки виробництва. За мету взято проектування ділянки підприємства для механічної обробки. Проектована ділянка механічної обробки призначена для виготовлення як деталей, необхідних для ремонту, так і продукції кооперації в умовах дрібносерійного та одиничного виробництва. Базуючись на описаній моделі, було проведено визначення оптимального варіанта технологічного маршруту обробки партії деталей, величини змінних витрат, термінів виготовлення деталей, оптимальних технологічних параметрів процесу обробки та управління запасами складу, а також формування номенклатури та необхідної кількості засобів виробництва. Імітація була проведена на основі математичних моделей з керування запасами складу (комбінована модель) та формування величини змінних витрат і норми оперативного часу. Визначення оптимального варіанта виконується на основі багатокритеріального аналізу з використанням способу «ідеальної точки» за трьома параметрами: величина змінних витрат на виготовлення партії деталей, мінімальні терміни виготовлення партії деталей, тривалість виготовлення партії деталей. У ході проведеної роботи визначено, що застосування розробленої моделі дозволить скоротити тривалість ТПВ за рахунок її автоматизації, що слугуватиме значною конкурентною перевагою в умовах одиничного та дрібносерійного виробництва; застосування розробленої моделі дозволить забезпечити відсутність простоїв технологічного обладнання через відсутність на складах засобів виробництва, що необхідні для процесу обробки.

**Ключові слова:** автоматизація виробництва, обробка деталей, технологічна підготовка виробництва.

**Постановка проблеми.** Технологічна підготовка виробництва (ТПВ) є невіддільною стадією виробничого процесу виробництва продукції, яка вирішує такі завдання: аналіз конструкції деталі та постановка технологічних завдань; вибір метод отримання заготовки; розробка маршрутів технологічної обробки деталей; підбір технологічного обладнання; проектування структури технологічних операцій; розробка комплексу технологічної документації.

В даний час велика кількість продукції виробляється саме в умовах одиничного і дрібносерійного виробництва, де найбільш помітна трудомісткість етапу ТПВ, що призводить до зниження

продуктивності і збільшення обсягу виробництва. Зниження трудомісткості ТПВ можливе за рахунок сукупної автоматизації та моделювання виробничих процесів.

До одного з основних етапів технологічної підготовки відносяться побудова оптимальних технологічних маршрутів обробки, вибір параметрів процесу різання (швидкість різання, подача, глибина різання) та засобів технологічного оснащення (технологічне обладнання, ріжучий інструмент, установочно-затискні пристосування).

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Автоматизація виробничих процесів, у тому числі й технологічної підготовки виробництва, сприяє

підвищенню ефективності роботи та конкурентоспроможності підприємства. У сучасних умовах автоматизація одна із основних напрямів оптимізації виробничих процесів [1].

Процес автоматизації технологічної підготовки виробництва, описаний у науковій літературі [2-6], здебільшого базується на принципі типізації конструкторських елементів та технологічних процесів. В умовах одиничного та дрібносерійного виробництва даний принцип не ефективний внаслідок великих витрат на виконання підготовчих робіт (розробка класифікаторів, типових та групових процесів та їх елементів) [7].

У науковій літературі за допомогою автоматизації процесу технологічної підготовки виробництва вирішуються такі завдання: вибір економічно доцільного варіанта на основі аналізу граничних витрат; прогноз собівартості та продуктивності виготовлення продукції; формування основи знань; управління ризиками; пошук альтернативних варіантів виготовлення деталей; вибір технологічного способу виготовлення деталей. Відомі моделі ТПВ не аналізують питання керування виробничими запасами, що вимагають вирішення наступних завдань: контролю за наявністю ресурсів (засобів виробництва), необхідні виробничого процесу з виготовлення деталей; визначення оптимальної величини партій постачання і термінів постачання ресурсів виключення їх дефіциту складі.

**Постановка завдання.** Мета цієї роботи – проектування ділянки механічної обробки в структурі приладобудівного підприємства. Проектована ділянка механічної обробки призначена для виготовлення як деталей, необхідних для ремонту, так і продукції кооперації в умовах дрібносерійного та одиничного виробництва.

У приладобудівному виробництві лише незначна частина часу (близько 15%) витрачається інженером-технологом на прийняття рішення, а решта – на пошук необхідної інформації та оформлення документації [8]. Таким чином, завданням нашого дослідження є розробка моделі, що дозволяє скоротити тривалість ТПВ в умовах одиничного та дрібносерійного виробництва.

**Виклад основного матеріалу дослідження.** При запланованих обсягах робіт з ремонту приладів завантаження виробничих потужностей механічного цеху є неповним, що компенсовано виготовленням деталей по кооперації. Номенклатура деталей, що виготовляються з кооперації, визначається технічними можливостями та завантаженням технологічного обладнання.

*Модель технологічної підготовки виробництва в умовах дрібносерійного та одиничного типів виробництва.* Розроблювана модель технологічної підготовки дрібносерійного та одиничного типів виробництва вирішує такі завдання:

1. Формування допустимих варіантів технологічних маршрутів опрацювання партії деталей.
2. Формування переліку засобів виробництва, необхідні виготовлення партії деталей.
3. Формування оптимальних технологічних параметрів процесу обробки (швидкість різання, подача, глибина різання).
4. Визначення розміру партії та ритму постачання необхідних ресурсів.
5. Визначення термінів виготовлення партії деталей та величини змінних витрат.
6. Вибір раціонального технологічного маршруту виготовлення партії деталей.

Схема моделі ТПВ, що розробляється, представлена на рис. 1.

*Опис етапів моделювання.* Розроблювану модель ТПВ можна поділити на три етапи. Перший етап заснований на застосуванні модульного принципу в машинобудуванні, під яким розуміють побудову різних технічних систем із різноманітними характеристиками шляхом комбонування їх із типових модулів обмеженої номенклатури.

На першому етапі моделювання вирішуються такі завдання:

1. Аналіз конструкції деталі та визначення технологічних завдань (точність розмірів, чистота поверхні, фізико-механічні властивості).
2. Формування безлічі модулів поверхонь (МП), що утворюють контур деталі. Вибір моделей поверхонь для опису контуру деталі проводиться з множини стандартних МП, для яких визначено оптимальні методи формоутворення та технологічні параметри процесу різання.
3. Визначення доречних методів обробки модулів поверхонь залежно від типу та технічних характеристик наявного технологічного обладнання.
4. Формування модулів операцій (МО) та визначення комплектів ріжучого інструменту для кожного МО. Формування допустимих варіантів модулів поверхонь проводиться з урахуванням різних поєднань МП.

Схема першого етапу моделювання представлена рис. 2.

На другому етапі моделювання вирішуються такі завдання:

1. Формування допустимих технологічних маршрутів обробки. Технологічний маршрут обробки визначається, враховуючи розроблені МО.

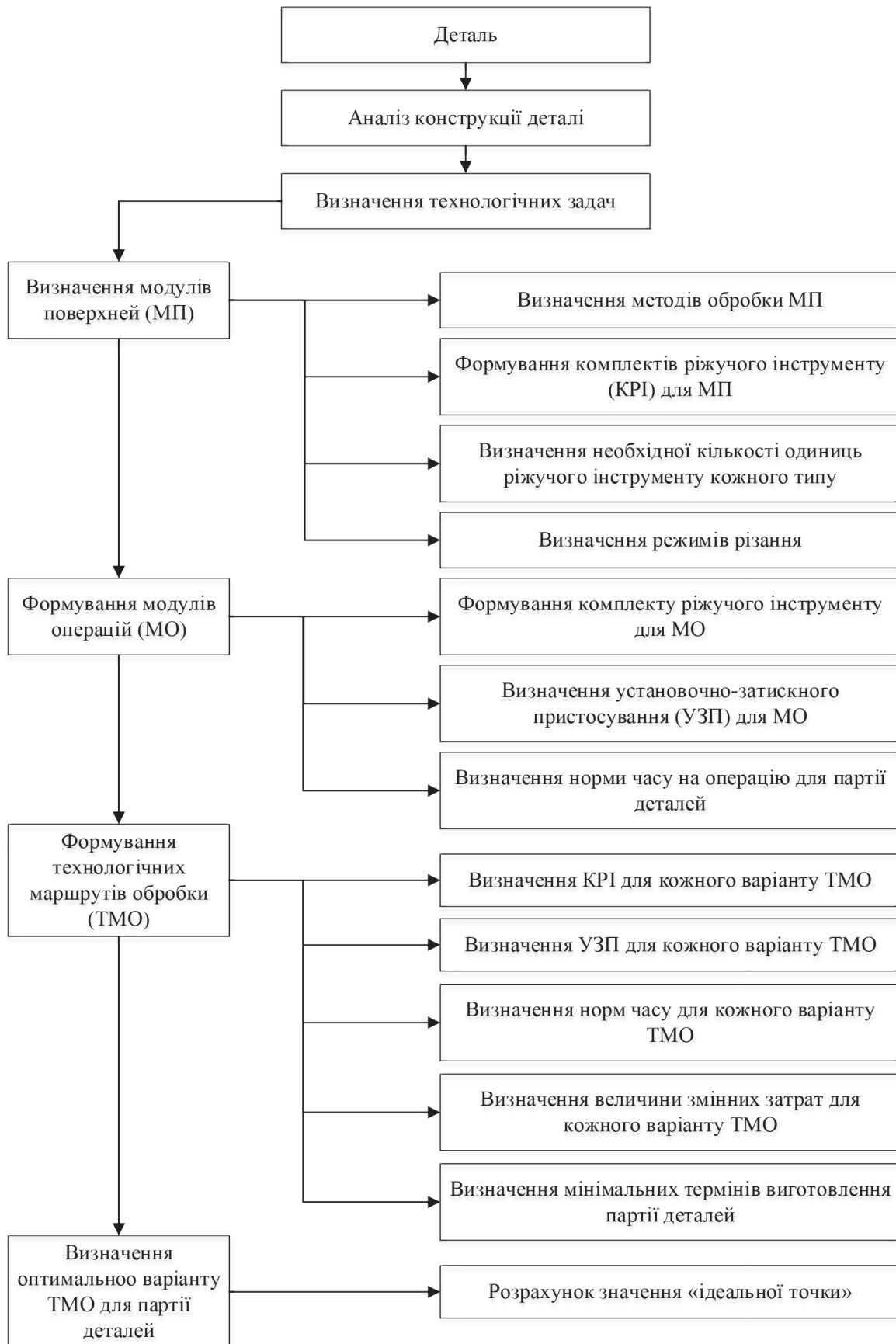


Рис. 1. Схема моделі технологічної підготовки виробництва

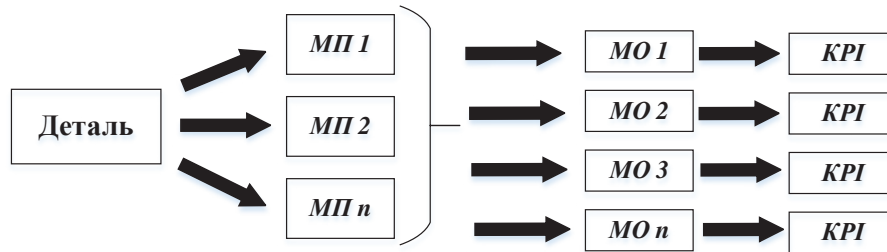


Рис. 2. Схема першого етапу моделювання

2. Визначення комплектів ріжучого інструменту КРІ та УЗП для кожного варіанту технологічного маршруту обробки.

3. Визначення норми часу обробки кожному за варіанта технологічного маршруту.

4. Визначення необхідної кількості одиниць ріжучого інструменту кожного найменування всім допустимих варіантів технологічного маршруту обробки.

Схема другого етапу моделювання представлена рис. 3.

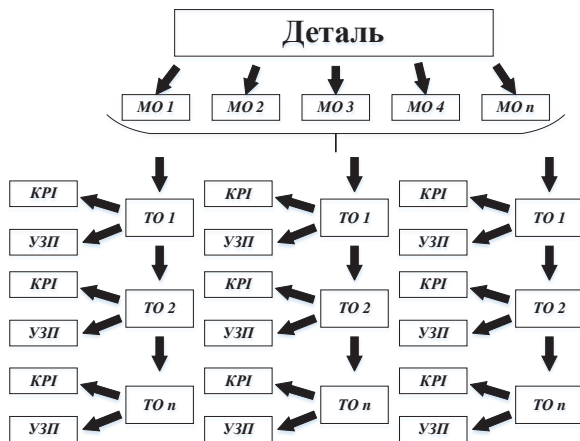


Рис. 3. Схема другого етапу виробництва

На третьому етапі моделювання проводиться вибір оптимального варіанта маршруту технологічної обробки та засобів технологічного оснащення. На цьому етапі вирішуються такі завдання:

1. Визначення величини змінних витрат за виготовлення партії деталей кожному за варіанта технологічного маршруту.

2. Визначення мінімальних термінів виготовлення партії деталей для кожного технологічного маршруту, що проводиться на основі аналізу завантаження технологічного обладнання, наявності необхідних засобів виробництва та строків їх постачання.

3. Визначення термінів та розмірів партій постачання засобів виробництва (ріжучий інстру-

мент, заготовки та ін.) з урахуванням наявних матеріалів та ємності складу.

4. Визначення оптимального варіанта технологічного маршруту обробки з урахуванням аналізу групи показників.

Оптимальний варіант технологічного маршруту обробки визначається з урахуванням аналізу наступних показників: величини змінних витрат за виготовлення партії деталей; мінімальних термінів виготовлення партії деталей; тривалості виготовлення партії деталей. Вибір оптимального варіанта технологічного маршруту обробки проводиться на основі методу ідеальної точки. Для визначення відстані до «ідеальної точки» застосовується формула виваженої евклідової відстані [9]:

$$d_{\sigma E}(x_i, x_j) = \sqrt{\sum_{k=1}^p w_k (x_i^{(k)} - x_j^{(k)})^2} \quad (1)$$

де  $d_{\sigma E}$  – зважена евклідова відстань;  $x_i^{(k)}$  – значення k-ої властивості об'єкта i;  $x_j^{(k)}$  – значення k-ої властивості об'єкта j;  $w_k$  – «вага» k-го критерію; p – кількість критеріїв.

Оптимальним варіантом технологічного маршруту обробки буде вважатися варіант з мінімальним значенням виваженої евклідової відстані.

*Математична модель.* При розробці моделі технологічної підготовки дрібносерійного та одиничного типів виробництва були використані такі математичні моделі:

1) визначення величини змінних витрат за виготовлення продукції;

2) визначення норми оперативного часу ( $T_{оп}$ );

3) комбінована модель управління запасами.

Визначення величини змінних витрат за виготовлення продукції. Оцінка величини змінних витрат за виготовлення продукції проводиться з урахуванням розрахунку таких економічних елементів: матеріальних витрат; витрат на оплату праці; відрахувань на державне соціальне страхування.

Сума матеріальних витрат підприємства визначається за формулою [10]:

$$M = \sum_{j=1}^m \Pi_{mj} M_j \quad (2)$$

де  $I_{mj}$  – покупна ціна натуральної одиниці  $j$ -го матеріального ресурсу, грн/од;  $M_j$  – кількість натуральних одиниць  $j$ -го матеріального ресурсу;  $m$  – число найменувань матеріальних ресурсів.

Витрати оплати праці (3) визначаються за такою формулою [10]:

$$З = \alpha Ч \left( 1 + \frac{P_{ДЗ}}{100} \right) \quad (3)$$

де  $\alpha$  – середня основна заробітна плата одного працівника підприємства за розрахунковий період часу, грн./чол;  $Ч$  – середня чисельність персоналу цей період, чол;  $P_{ДЗ}$  – середня величина додаткової заробітної плати у відсотках до основної, %.

Величина відрахувань на обов'язкове державне соціальне страхування (О, грн.) розраховується за формулою [10]:

$$О = 3 \frac{p}{100} \quad (4)$$

де  $p$  – сумарний відсоток відрахування, що розраховується на основі законодавства, %, у фонди від суми витрат на оплату праці.

Визначення норми часу виготовлення партії деталей. Норма оперативного часу ( $T_{оп}$ ) дорівнює сумі основного (машинного) часу та допоміжного неперекриваемого часу і визначається за формулою [11]:

$$T_{оп} = T_o + T_{вн} \quad (5)$$

де  $T_o$  – основний (машинний) час, хв;  $T_{вн}$  – допоміжний час, що не перекривається основним, хв.

Основний (машинний) час залежить від режимів роботи обладнання та визначається за формулою [11]:

$$T_o = T_{ax} + T_m \quad (6)$$

де  $T_{ax}$  – час автоматичного холостого ходу, пов'язаного з підведенням, відведенням інструменту або деталі, поворотами деталі, хв;  $T_m$  – власне машинний час, хв.

Машинний час розраховується на основі заданих режимів різання (глибина різання, подача та швидкість різання).

Детермінована модель управління запасами (комбінована модель). Для управління запасами необхідно визначити такі параметри: точку замовлення; величину резервного запасу; величину поточної партії.

Точка замовлення – це рівень запасу, при якому має бути зроблено замовлення чергової партії. Її значення визначається за такою формулою [12]:

$$H_{мз} = T_{пост} + I_{max} \quad (7)$$

де  $T_{пост}$  – час виконання замовлення;  $I_{max}$  – максимальна інтенсивність споживання ресурсу.

Величина резервного запасу складі визначається за формулою [12]:

$$H_{рез} = H_{мз} - T_{пост} I_{cp} = T_{пост} - \frac{I_{max} - I_{min}}{2} \quad (8)$$

де  $H_{рез}$  – величина резервного запасу на складі;  $I_{cp}$  – середня інтенсивність споживання ресурсу;  $I_{min}$  – мінімальна інтенсивність споживання ресурсу;

$$I_{cp} = \frac{I_{max} - I_{min}}{2} \quad (9)$$

Величина поточної партії поставки визначається за формулою [18]:

$$(n_{тек})_{max} = H_{скл} - T_{пост} (I_{max} - I_{тек}) \quad (10)$$

де  $n_{тек}$  – величина партії постачання;  $H_{скл}$  – обсяг складу;

$$(n_{тек})_{max} \geq H_{мз}; \quad (11)$$

$$T_{пост} \leq \frac{H_{скл} - (n_{тек})_{min}}{I_{max} - I_{min}} \quad (12)$$

де  $(n_{тек})_{max}$  – максимальний розмір партії поставки.

**Висновки.** Описана у статті модель технологічної підготовки дрібносерійного та одиничного виробництва дозволяє обрати кращий варіант технологічного маршруту обробки партії деталей на основі багатокритеріального аналізу та сформулювати перелік засобів виробництва, необхідних для процесу обробки, визначити оптимальні технологічні параметри процесу різання, величину змінних витрат та терміни виготовлення партії деталей.

Застосування розробленої моделі дозволить скоротити тривалість ТПВ за рахунок її автоматизації, що слугуватиме значною конкурентною перевагою в умовах дрібносерійного та одиничного виробництва.

Застосування розробленої моделі дозволяє забезпечити відсутність простоїв технологічного обладнання через відсутність на складах засобів виробництва, що необхідні для процесу обробки.

### Список літератури:

1. Kalas S. Small-Scale Automation in Shipbuilding. Norwegian : Norwegian University of Science and Technology, 2015. 92 p.
2. Філіппова М. В. Система керування виробничими процесами. Міжнародна науково-технічна конференція молодих вчених і спеціалістів “Електромеханічні та енергетичні системи, методи моделювання та оптимізації” ESMO. 2019. С. 105–107.



3. Вислоух С. П., Філіппова М. В. Інформаційні основи проектування технології механоскладальних робіт в приладобудуванні. Вісник НТУУ «КПІ». Приладобудування : збірник наукових праць. 2004. № 28. С. 139–144.
4. Mujber T., Szecsi T., Hashmi M. Virtual reality applications in manufacturing process simulation. Journal of Materials Processing Technology. 2004. No. 155. P. 1834–1838.
5. Seleim A., Azab A., AlGeddawy T. Simulation methods for changeable manufacturing. 45th CIRP Conference on Manufacturing Systems. 2012. P. 179–184.
6. Pokorny P., Kuznetsov A. Automation of the Selection of the Integrated, Strategies. International Conference on Manufacturing Engineering and Materials. 2016. P. 380–383.
7. Бондаренко С. Основи технології машинобудування: навч. посіб. Львів : Магнолія, 2009. 567 с.
8. Автоматизація технічної підготовки виробництва: навч. посіб. / П. Павленко та ін. Вінниця : ВНТУ, 2006. 114 с.
9. Костюк В. О. Прикладна статистика: навч. посіб. Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекет., 2015. 191 с.
10. Бойчик І. Економіка підприємства: навч. посіб. Тернопіль : Кондор -Вид-во, 2016. 378 с.
11. Калина А. В. Організація та нормування праці на виробництві : навч. посіб. Дніпро : МАУП, 2014. 474 с.
12. Виробничий менеджмент: навч. посіб. / Бутко М. та ін. Київ : ЦУЛ, 2015. 424 с.

### **Proskurenko D.M., Tretiak O.V., Filippova M.V. AUTOMATION OF TECHNOLOGICAL PREPARATION OF UNIT AND SMALL SERIES PRODUCTION**

*The article describes a simulated prototype of technological preparation of small-scale and single types of production. Currently, a significant number of products are produced in single and small-scale production, where the complexity of the stage of technological preparation of production is most noticeable. This leads to lower productivity and increased production. Due to the introduction of automation and modeling of the production process it is possible to reduce the complex of technological preparation of production. The purpose of this work is to design the site of the enterprise for machining. The designed machining area is designed for the manufacture of parts needed for repair and production of the cooperative in terms of single and small-scale production. Based on the described model, the optimal variant of the technological route of batch processing, timing of parts, the value of variable costs, optimal technological parameters of the processing and inventory management, as well as the formation of the range and the required number of means of production. The prototype was developed based on mathematical models of inventory management (combined model) and the formation of variable costs and operating time. Determining the best option is based on multi-criteria analysis using the method of "ideal point" on three parameters: the value of variable costs for the production of a batch of parts, the minimum time to produce a batch of parts, the time required to produce a batch of parts. When writing this article, it was determined that the use of the developed prototype will reduce the duration of technological preparation of production by automating production, which will serve as a significant competitive advantage in single and small production; the application of the developed model will ensure the absence of downtime of technological equipment, which may be due to the lack of storage facilities, production facilities required for the processing process.*

**Key words:** automation of production, production of details, technological preparation of production.