

УДК 621.95:658.5

Кобельник В. Р.

ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЗМІНИ ПОДАЧІ ДЛЯ КЕРОВАННОГО ПРОЦЕСУ СВЕРДЛІННЯ ОТВОРІВ

Загальна трудомісткість механічної обробки містить в собі вагому частину свердлильних робіт, які за даними [1, 20] становлять: 6–7 % в одиничному і дрібносерійному виробництвах, 10–12 % у середньосерійному і до 20–30 % в масовому виробництві.

На даний час як у вітчизняному, так і закордонному виробництвах спостерігається тенденція, коли багато операцій, які здійснювались на розточувальних верстатах, переводять на дешевші й простіші вертикально-свердлильні верстати (ВСВ). Автотракторні заводи, наприклад, мають свердлильних верстатів у 6–10 разів більше, ніж розточувальних [2, 20].

Слід зазначити, що в автомобіле-тракторному виробництві широко використовуються спеціальні верстати для отримання отворів різного діаметра, в тому числі наскрізних, де одночасно здійснюється процес різання свердлами різних діаметрів. Це дає змогу стверджувати, що собівартість свердлильних операцій суттєво впливає на загальну собівартість готової продукції.

Аналіз відомих літературних джерел [3–9, 12] показує, що при свердлінні наскрізних отворів під дією осьового зусилля P_o виникають пружні деформації деталей механізму подач ВСВ, що призводить до накопичення потенціальної енергії, яка в свою чергу, при виході інструмента із тіла заготовки може спричинити значне збільшення подачі, і як результат, приблизно в 1,75–1,85 рази [8, 21] збільшення крутного моменту, що може бути причиною поломки свердел. Через те, в процесі свердління наскрізних отворів величину подачі рекомендують встановлювати на 20–25 % [4, 13], а в деяких випадках – у 1,35–1,45 рази [3] і, навіть, у 2 рази [5] меншу по відношенню до подачі S_r , яка призначається при свердлінні глухих отворів.

Таке зменшення подачі на всій глибині отвору призводить до збільшення шляху різання, підвищення трудомісткості операцій та інтенсивності зношування свердел і в кінцевому результаті до зниження ефективності обробки. З метою недопущення такого стану запропоновано ряд пристроїв [1–2, 10–11, 14], які забезпечують зменшення подачі на ВСВ тільки на етапі врізання та на етапі виходу інструменту із тіла оброблюваної заготовки, залишаючи на етапі усталеного процесу різання подачу S_r . Окрім цього зміну подачі на цих етапах при свердлінні наскрізних отворів можна забезпечити такими системами та програмами керування металорізальними верстатами, як гідропривід, електромеханічний привід, електромагнітний привід, профіль кулачків залежно від використовуваного обладнання, верстатів з ЧПК, верстатів автоматів з кулачковим керуванням, агрегатних верстатів.

Позаяк, використання таких пристроїв дозволить здійснювати усталений процес свердління наскрізних отворів на максимально допустимих значеннях подач, які призначаються при свердлінні глухих отворів, то це сприятиме зростанню продуктивності обробки за рахунок зменшення основного часу. Як показує аналіз існуючих літературних джерел [7, 16, 17], присвячених техніко-економічним показникам технологічних процесів та ефективності окремих видів обробки, питання ефективності процесу свердління наскрізних отворів шляхом зміни подачі на етапах врізання інструменту та виходу із тіла заготовки не висвітлено. Окрім цього, зменшення подачі при виході свердла із тіла заготовки, як показали експериментальні дослідження автора і дані подані в [15], призводить до значного зменшення, а особливо при свердлінні отворів у пластичних матеріалах (мідь, алюміній, нержавіючі сталі), величини задирок, що безперечно скоротить основний час при наступній операції – зрізання задирок. Тому отримання залежностей для визначення складових ефективності при використанні запропонованих автором конструкторсько-технологічних рішень [14] на основі зменшення основного часу є актуальним при вирішенні даної проблеми.

Мета роботи отримати залежність для визначення економічного ефекту від використання запропонованих конструкторсько-технологічних рішень.

Ефективність – це відносний ефект, результативність процесу, операції, проекту, що визначаються як відношення ефекту, результату до вкладень, витрат, які обумовили, забезпечили його отримання [18].

Економічний ефект – корисний результат економічної діяльності, вимірюваний зазвичай різницею між грошовим доходом від діяльності та грошовими витратами на її здійснення [18].

Ефективність запропонованого технічного рішення, яке схематично подане на рис. 1 в, г буде мати місце при певному значенні глибини наскрізного отвору l_0 та умові коли, $t_{03}/t_{0T} < 1$, де t_{03} і t_{0T} відповідно основні часи при свердлінні отворів глибиною l_0 , за запропонованою (рис. 1 в, г) і традиційною (рис. 1 а, б) технологіями.

На рис. 1 показано схеми свердління наскрізних отворів і схеми зміни подач за традиційною технологією, при якій подача по всій глибині свердління отвору зменшена по відношенню до подачі, що встановлена при свердлінні глухого отвору $S_H < S_2$ і за запропонованою технологією, коли подача в усталеному режимі різання дорівнює подачі, яка призначається для глухих отворів, тобто $S_H = S_2$.

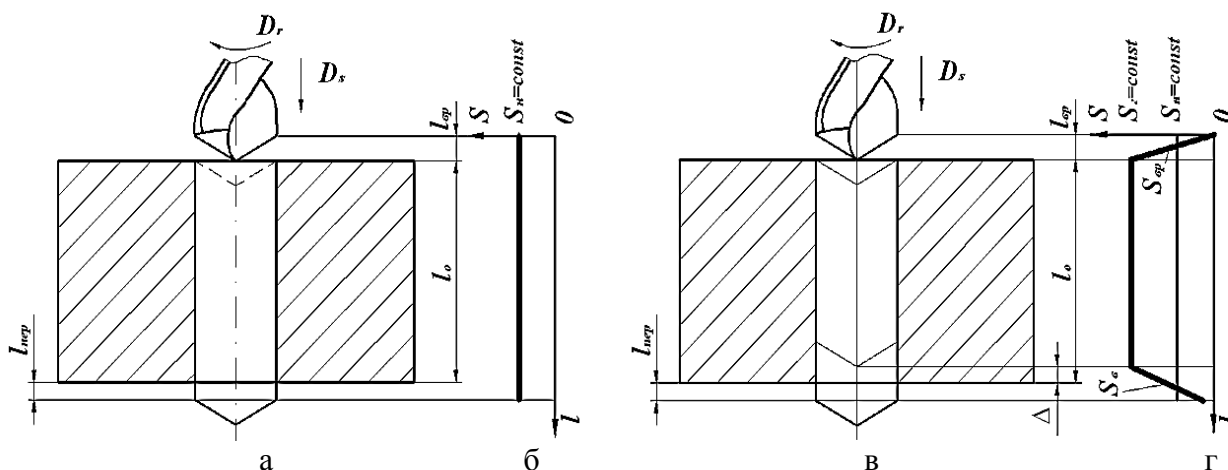


Рис. 1. Схеми різання і зміни подач при свердлінні наскрізних отворів: а, б – за традиційною технологією; в, г – за запропонованою технологією

Згідно рис. 1 основні часи при свердлінні за традиційною та за запропонованою технологіями, відповідно t_{0T} та t_{03} визначаються із залежностей:

$$t_{0T} = \frac{l_{ep} + l_0 + l_{nep}}{S_H \cdot n_{ун}} \quad (\text{хв}), \quad (1)$$

$$t_{03} = \frac{l_{ep}}{0.5S_2 \cdot n_{ун}} + \frac{l_0 - l_{ep} - \Delta}{S_2 \cdot n_{ун}} + \frac{l_{nep} + \Delta}{0.5S_2 \cdot n_{ун}} = \frac{3 \cdot l_{ep} + l_0 + \Delta + 2 \cdot l_{nep}}{S_2 \cdot n_{ун}} \quad (\text{хв}), \quad (2)$$

де $n_{ун}$ – частота обертання шпинделя ВСВ, об/хв.; S_H – подача при свердлінні наскрізних отворів, $S_H = K_S \cdot S_2$, мм/об; $K_S = 0,5-0,8$ – рекомендовано [4, 13, 21]; S_2 – подача при свердлінні глухих отворів, мм/об; l_0 – глибина наскрізного отвору, мм; l_{ep} – величина врізання свердла в тіло заготовки, мм; l_{nep} – величина перебігу свердла, після виходу інструменту із тіла заготовки [6], мм; Δ – величина пружно-пластичної зони, яка визначається віддаллю від нижнього торця заготовки до зони початку пружного випучування оброблюваного матеріалу [10], мм.

Аналіз схем поданих на рис. 1 та залежностей (1) і (2) дає право стверджувати, що порівняння основних часів $t_{от}$ та $t_{оз}$ можна здійснювати лише при умові $l_0 > l_{0min}$. Наприклад, при $S_H = 0,5 S_2$, величина l_{0min} визначається із залежності $l_{0min} = l_{вр} + \Delta$.

Ефективність процесу свердління при встановленій швидкості різання в основному визначається подачею. Максимально допустима величина подачі повинна визначатись із врахуванням певних технічних обмежень, а саме: міцності свердла на поздовжній згин; міцності свердла на кручення; міцності деталей механізму подач ВСВ і т. д.

Так як найбільш широке використання мають свердла, діаметри яких знаходяться в діапазоні, коли максимально допустимі значення подачі при свердлінні лімітуються міцністю свердла на кручення, то дослідження ефективності керованого процесу свердління наскрізних отворів здійснимо виходячи саме із цього технічного обмеження.

Для цього скористаємось рис. 2, на якому схематично зображено зміни основного часу при різних закономірностях зміни подачі за традиційною та за запропонованою технологіями.

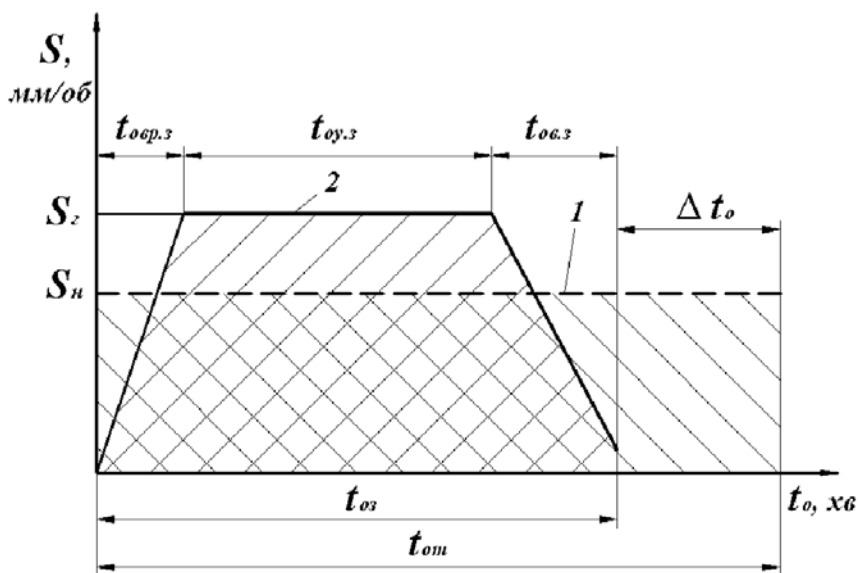


Рис. 2. Схеми зміни основного часу t_0 і подачі S при свердлінні одного наскрізного отвору за різними технологіями:

1 – за традиційною; 2 – за запропонованою

Врахувавши, що $S_H = 0.5 \cdot S_2$ та (1) і (2), а також рис. 2 отримаємо:

$$\Delta t_o = t_{ом} - t_{оз}, \tag{3}$$

$$\Delta t_o = \frac{l_o - \Delta - l_{ер}}{S_2 \cdot n_{ун}}. \tag{4}$$

Використавши (3) і (4), а також дані подані в [19] та задавшись постійною швидкістю різання для всіх випадків (наприклад, швидкість різання $V = 20$ м/хв.) отримали графіки зміни основного часу Δt_o в залежності від глибини отвору l_0 при свердлінні свердлами різних діаметрів, які графічно подані на рис. 3. При цьому було враховано, що подача, при проведенні розрахунків, визначається за формулою $S = C_S \cdot D^{0.6}$ [19], де C_S – коефіцієнт, який враховує вплив фізико-механічних властивостей оброблюваного матеріалу та типу отвору на величину подачі, а частота обертання свердла $n_{се}$ встановлювалась із умови $n_{е} = n_{ун} = \frac{1000 \cdot V}{\pi D}$.

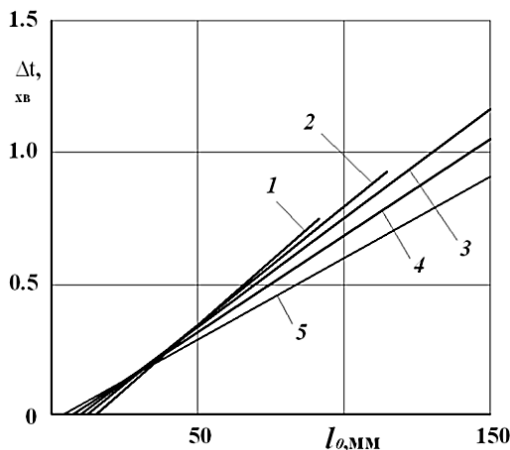


Рис. 3. Графіки залежності зміни основного часу Δt_0 від глибини отвору l_0 : 1, 2, 3, 4, 5 – відповідно при свердлінні отворів свердлами з діаметрами – 10; 15; 20; 25; 30 мм

Врахувавши, що величина періоду стійкості T свердл, залежить від діаметра свердла [19], кількість просвердлених отворів за традиційною та запропонованою технологіями відповідно, n_m і n_3 , визначиться із залежностей: $n_m = \frac{T}{t_{om}}$, $n_3 = \frac{T}{t_{o3}}$. Тоді підвищення продуктивності обробки виразиться збільшенням кількості просвердлених отворів $\Delta n = \phi(l_0)$, і визначиться за формулою:

$$\Delta n = n_3 - n_m = \frac{T \cdot (t_{om} - t_{o3})}{t_{om} \cdot t_{o3}} \tag{5}$$

На рис. 4 подані графіки залежності кількості просвердлених n отворів від l_0 за період стійкості T при свердлінні свердлами з різними діаметрами за традиційною та за запропонованою технологіями.

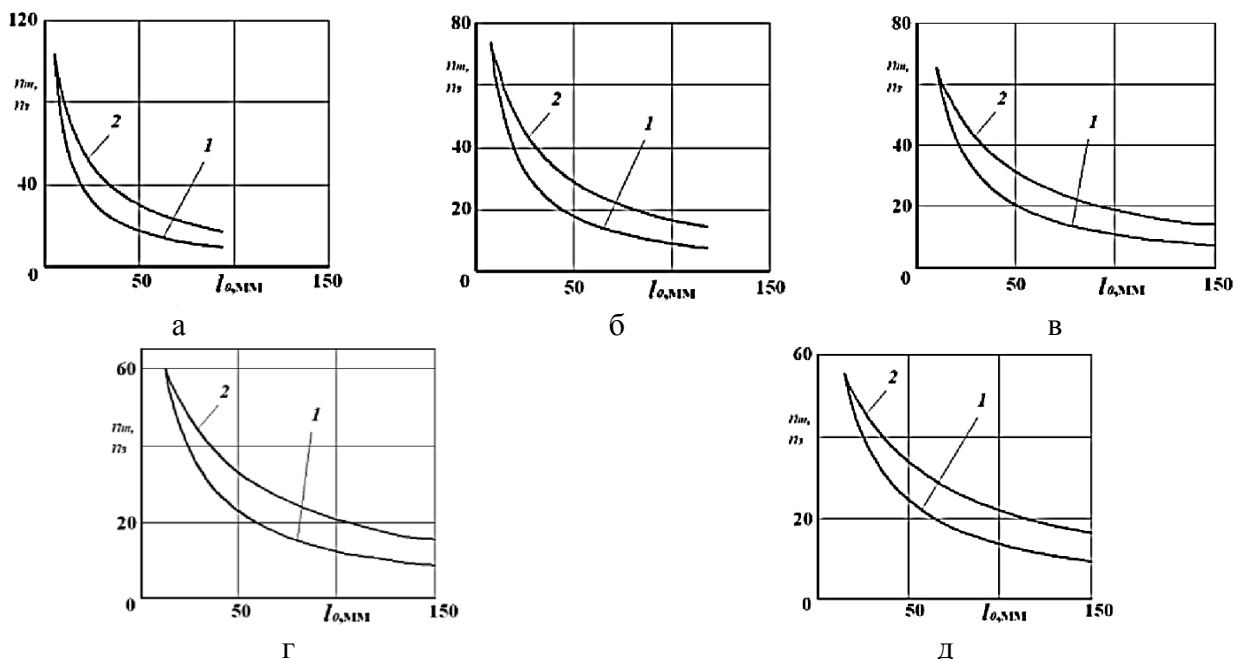


Рис. 4. Графіки залежності кількості просвердлених наскрізних отворів від глибини l_0 за період стійкості T :

1 – за традиційною технологією $n_m = f(l_0)$; 2 – за запропонованою технологією $n_3 = \phi(l_0)$; а, б, в, г, д – відповідно при свердлінні отворів свердлами з діаметрами – 10; 15; 20; 25; 30 мм

Аналіз графічних залежностей поданих на рис. 4 показує наступне. При певних значеннях l_0 має місце істотне збільшення кількості можливих просвердлених отворів при свердлінні за запропонованою технологією, тобто. Необхідно відзначити, що на кривих 1 та 2 (рис. 4) існують точки їх перетину, яким відповідає певна глибина просвердленого отвору, при якій досягається однакова кількість просвердлених отворів як за традиційною так і запропонованою технологіями. При умові, коли глибина наскрізного отвору менша від, кількість просвердлених отворів за традиційною технологією буде більша від кількості отворів просвердлених за запропонованою технологією. Це обумовлено тим, що на етапах врізання інструменту в тіло заготовки та виходу його з неї має місце менша подача ніж в процесі усталеного різання.

На рис. 5 подано графіки залежностей збільшення кількості просвердлених отворів Δn від l_0 за період стійкості T при свердлінні за запропонованою технологією.

Аналізуючи графіки подані на рис. 5 (криві 1 – 5) можна відзначити, що максимальне значення Δn_{\max} для всіх кривих знаходиться в діапазоні $l_0 = 15\text{--}55$ мм. А далі значення Δn дещо зменшується та стабілізується при подальшому зростанні l_0 .

Дослідивши функцію $n_3 = \phi(l_0)$ на екстремум встановлено, що максимальне значення при свердлінні свердлами діаметрами 10; 15; 20; 25; 30 мм досягається при $l_{0\text{ опт}}$, яке відповідно становить близько 18, 27, 36, 45, 54 мм.

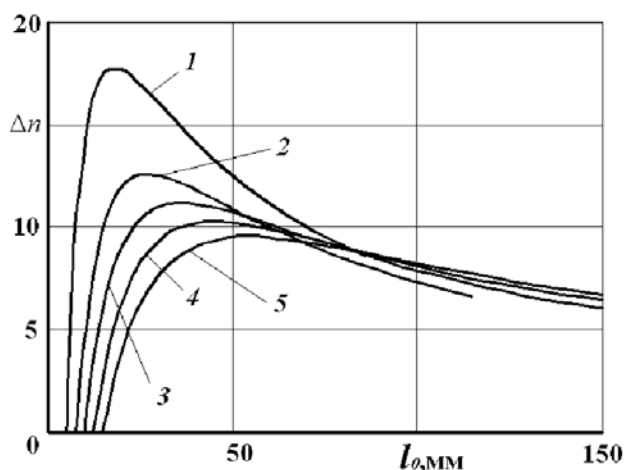


Рис. 5. Графіки залежностей збільшення кількості просвердлених отворів Δn від l_0 за період стійкості T при свердлінні за запропонованою технологією: 1, 2, 3, 4, 5 – відповідно при свердлінні отворів свердлами з діаметрами – 10; 15; 20; 25; 30 мм.

Економічний ефект E від використання керованого процесу свердління наскрізних отворів шляхом забезпечення зміни подачі у випадку, коли капітальні затрати залишаються практично незмінними, формується двома основними складовими: від зменшення витрат при свердлінні безпосередньо самого наскрізного отвору за запропонованою технологією та від зменшення витрат на зрізання утворюваних на виході свердла із тіла заготовки задирок та визначається за формулою:

$$E = E_{om} + E_{zd}, \quad (6)$$

де E_{om} и E_{zd} – ефекти від свердління наскрізних отворів і від зрізання утворених задирок, відповідно.

Визначимо ефект від підвищення продуктивності при свердлінні наскрізних отворів.

Нехай відома кількість отворів одного діаметра в деталі – n_0 і задана річна програма випуску деталей $N_{дет}$. Тоді всього отворів, які потрібно просвердлити буде $N_{отв\ заг.} = N_{дет} * n_0$.

Що стосується економічного ефекту, який може бути отриманий від зрізання утворюваних задилок, треба відзначити, що при свердлінні за запропонованою технологією їх висота значно менша ніж при свердлінні за традиційною. Тому основний час витрачений на зрізання задилок свердлінням при запропонованій технології менший від основного часу $t_{оз.зд}$ при традиційній технології. На основі цього для визначення економічного ефекту від зростання продуктивності праці при зрізанні задилок скориставшись по аналогії вище поданою методикою, зменшення витрат за рахунок: економії електроенергії, зменшення необхідної кількості інструменту для зрізання задилок при заданій кількості, зменшення витрат на заробітну платню отримаємо визначитися залежністю:

$$E_{зд} = N_{дет} \cdot n_0 \cdot (t_{ом.зд} - t_{оз.зд}) \cdot \left(\frac{M_{зд} \cdot n_{шп.зд} \cdot C_{ел}}{974032 \cdot \eta} + \frac{C_{св}}{K_{пер.зд} \cdot T_{зд}} + C_{хв} \cdot K_p \right). \quad (7)$$

де $N_{дет}$ – кількість деталей; $M_{зд}$ – крутний момент при зрізанні задилок, мм; $n_{шп.зд}$ – частота обертання шпинделя при зрізанні задилок, об/хв.; $K_{пер.зд}$ – кількість переточок свердла; $T_{зд}$ – стійкість свердла, хв.; $C_{св.зд}$ – вартість одного свердла, грн.

В кінцевому результаті, використавши (7) та здійснивши певні математичні перетворення, для випадку, коли капітальні затрати залишаються практично незмінними, отримаємо залежність для визначення економічного ефекту від використання керованого процесу свердління заданої кількості наскрізних отворів шляхом забезпечення зміни подачі у вигляді

$$E = N_{дет} \cdot n_0 \cdot \left((t_{ом} - t_{оз}) \cdot \left(\frac{M \cdot n_{шп} \cdot C_{ел}}{974032 \cdot \eta} + \frac{C_{св}}{K_{пер} \cdot T} + C_{хв} \cdot K_p \right) + (t_{ом.зд} - t_{оз.зд}) \cdot \left(\frac{M_{зд} \cdot n_{шп.зд} \cdot C_{ел}}{974032 \cdot \eta} + \frac{C_{св}}{K_{пер.зд} \cdot T_{зд}} + C_{хв} \cdot K_p \right) \right). \quad (8)$$

ВИСНОВКИ

1. Отримано залежність для визначення основного часу при свердлінні наскрізних отворів за запропонованою технологією, з врахуванням зміни подачі при врізанні та виході свердла з тіла заготовки.

2. Запропоновано залежності для визначення зменшення витрат на свердління наскрізних отворів та зрізання задилок за запропонованою технологією у порівнянні з традиційною, за рахунок збільшення продуктивності праці, економії електроенергії, зменшення потрібної кількості свердел для свердління заданої кількості отворів.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. А.с. 831411 СССР, МКИ В23 В47/00. Автоматическое сверлильное устройство / С. Г. Нагорняк, П. Д. Кривый (СССР). – № 2696642/25-08; заявлено 13.12.78; опубл. 23.05.81, Бюл. № 19.
2. А.с. 709274 СССР, МКИ В23 В47/00. Устройство для сверления / С. Г. Нагорняк (СССР). – № 2615202/25-08; заявлено 11.05.78; опубл. 15.01.1980, Бюл. № 2.
3. Вульф А. М. Резание металлов / А. М. Вульф. – Л. : Машиностроение, Ленинградское отделение, 1973. – 320 с.
4. Гарина Т. И. Выбор режимов резания при сверлении отверстий малых размеров / Т. И. Гарина, А. К. Синельников // Станки и инструмент. – 1971. – № 2. – С. 31–32.
5. Гуревич Я. Л. Режимы резания труднообрабатываемых материалов: справочник / Я. Л. Гуревич, М. В. Горохов. – М. : Машиностроение, 1986. – 240 с.
6. Долматовский Г. А. Справочник технолога по обработке металлов резанием / Г. А. Долматовский. – 2-е изд. перераб. М. : Машигиз, 1962. – 1236 с.

7. Егоров М. Е. Технология машиностроения. Учебник для вузов / М. Е. Егоров, В. И. Дементьева, В. Л. Дмитриев. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Высшая школа, 1976. – 534 с.
8. Зеленцов В. В. Влияние жесткости настольно-сверлильных станков на точность обработки отверстий / В. В. Зеленцов // Металлорежущие станки. – К. : Техника, 1978. – № 6. – С. 50–54.
9. Кобельник В. Р. Жорсткість вертикально-сверлильних верстатів / В. Р. Кобельник, П. Д. Кривий // Вісник ЖДТУ (технічні науки). – Житомир. – Вип. I (40). – 2007. – С. 34–40.
10. Кривий П. Д. Величина пружно-пластичної зони при виході інструмента в процесі наскрізного свердління на основі ортогонального композиційного планування [Текст] / В. Р. Кобельник, П. Д. Кривий // Матеріали четвертої міжнародної науково-практичної конференції «Сучасні інформаційні та інноваційні технології на транспорті». – Херсон, ХДМА. – 2012. – С. 145–146.
11. Кривий П. Д. Конструкторсько-технологічне забезпечення зміни подачі інструменту при свердлінні наскрізних отворів / П. Д. Кривий, В. Р. Кобельник // Надійність інструменту та оптимізація технологічних систем : збірник наукових праць. – Київ – Краматорськ. – Вип. 28. – 2011. – С. 77 – 85.
12. Нагорняк С. Г. Синтез инструментально-станочной оснастки на основе анализа кинематики лезвийной обработки : автореф. дисерт. на соискание наук, степени докт. техн. наук: спец. 05.03.01 «Процессы механической обработки, станки и инструменты» / С. Г. Нагорняк. – К., 1991. – 37 с.
13. Общемашиностроительные нормативы режимов резания для технического нормирования работ на металлорежущих станках. Часть I. Токарные, карусельные, токарно-револьверные, алмазно-розточные, сверлильные, строгальные, долбежные и фрезерные станки Изд. 2-е. – М. : Машиностроение, 1974. – 406 с.
14. Пат. 33445 Україна: МПК В23 В47/00. Механізм подач сверлильного верстату / Кривий П. Д., Кобельник В. Р., Кузьмін М. І.; заявник та патентовласник Терн. нац. техн. універ. ім. І. Пулюя. – № u200801364; заявл. 04.02.2008; опубл. 25.06.2008, Бюл. № 8.
15. Прогресивные технологические процессы в автостроении: Механическая обработка, сборка; под ред. проф. С. М. Степашина. – М. : Машиностроение, 1980. – 320 с.
16. Расчеты экономической эффективности новой техники. Справочник; под ред. Великанова К. М. – 2-е изд., перераб. и доп. – Л. : Машиностроение, 1990. – 448 с.
17. Современные методы повышения эффективности и качества механической обработки: сборник научных трудов / ред. А. Б. Кравченко. – Куйбышев : КПИИ, 1989. – 137 с.
18. Райзберг Б. А. Современный экономический словарь / Б. А. Райзберг, Л. Ш. Лозовский, Е. Б. Стародубцева. – 5-е изд., перераб. и доп. – М. : ИНФРА-М, 2006. – 495 с.
19. Справочник технолога машиностроителя. В 2-х т. Т. 2; под ред. А. Н. Малова. – М. : Госнаучтехиздат машиностроительной литературы, 1959. – 584 с.
20. Технология машиностроения / под общей редакцией проф. Картавова С. А. – К. : Техника, 1965. – 528 с.
21. Ertunc, H.M. A Decision fusion algorithm for tool wear condition monitoring in Drilling / H. M. Ertunc, K. A. Loparo // International Journal of Machine Tools & Manufacture, 2001, vol.41. – P. 1347 – 1362. 145 – 146.