

М. Подгаецкий, К. Щербина, Л. Копосова

Хонингование отверстий больших диаметров

В статье рассматривается исследование хонингования отверстий больших диаметров с использованием эластичных алмазных хонинговальных брусков в сравнении с другими хонинговальными брусками. Рассмотрена система регулирования радиального размера на основе упругого винтового хона для обработки отверстий больших диаметров. Приведены зависимости между снимаемым припуском и продолжительностью обработки различными хонинговальными брусками.

M. Podgaetski., K. Scherbina, L. Kuposova

Honing of apertures of big diameters

In article research honing apertures big with use elastic diamond honing whetstones in comparison with others honing whetstones is considered in diameter. The system of regulation of the radial size on the basis of elastic screw honing for processing of apertures of big diameters is considered. Dependences between a removed allowance and duration of processing various honing whetstones are resulted.

Одержано 22.02.12

УДК 621.9.048.4

В.М. Боков, проф., канд. техн. наук, О. Ф. Сіса, викл., М.І. Попова, доц. канд. техн. наук

Кіровоградський національний технічний університет

Гідродинаміка процесу біполярної обробки електричною дугою двох твердосплавних валків

Запропоновано принцип активного керування гідродинамічним режимом потоку в торцевому зазорі при біполярної обробки дугою двох твердосплавних валків.
електрична дуга, гідродинамічний потік, торцевий міжелектродний зазор, статичний тиск робочої рідини на вході потоку в зазор, сумарний гідравлічний опір, номограма «зазор – витрата - тиск»

Із роботи [1] відомо, що при реалізації процесу розмірної обробки металів електричною дугою динамічний тиск робочої рідини в торцевому МЕЗ є основним параметром взаємодії дуги з поперечним потоком. Він визначається за формулою, Па:

$$P_{\partial} = \frac{\rho \cdot V_m^2(\text{вх})}{2}, \quad (1)$$

де ρ - густина робочої рідини, кг/м³;

$V_m(\text{вх})$ – швидкість потоку, яка, наприклад, на вході потоку в торцевий зазор (рис. 1.1) визначається формулою, м/с:

$$V_m(\text{вх}) = \frac{Q}{F} = \frac{Q}{\pi D \delta \frac{m(\text{вх})}{m(\text{вх})}}, \quad (2)$$

де Q – витрата робочої рідини крізь МЕП, м³/с;

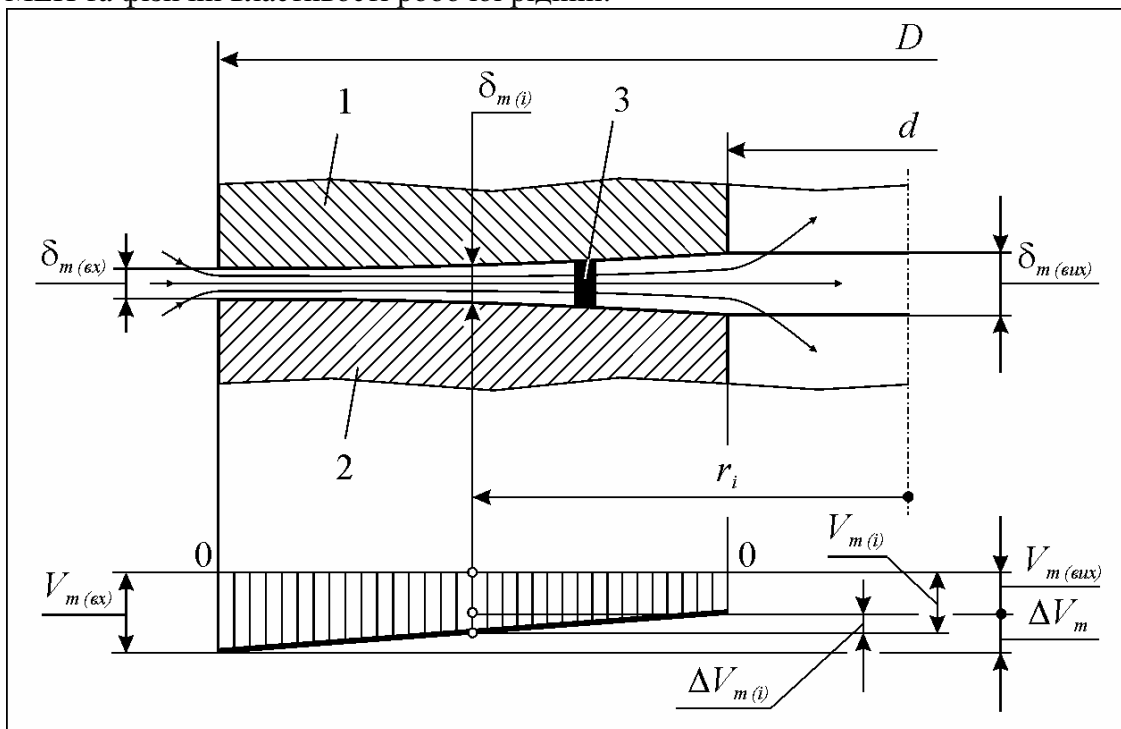
D – зовнішній діаметр зразка, м;

$\delta_{m(вх)}$ – значення МЕЗ на вході потоку в торцевий міжелектродний зазор, м.

Таким чином, для керування динамічним тиском необхідно контролювати витрату робочої рідини крізь МЕП та мати інформацію про величину МЕЗ. Керування витратою робочої рідини можна здійснювати витратоміром [38], але інформація про величину МЕЗ під час обробки не відома.

Мета роботи – активне керування гідродинамічним фактором.

В роботі [2] показана можливість керування гідродинамічним фактором шляхом зміни статичного тиску робочої рідини на вході потоку в МЕП $P_{ст}$. Тиск є більш зручним на практиці параметром, так як легко контролюється манометром. Для активного керування процесом одночасної біполярної РОД двох твердосплавних валків, зокрема гідродинамічним фактором режиму обробки, визначимо теоретичну залежність статичного тиску робочої рідини на вході в МЕП $P_{ст}$ від факторів, що визначають геометричні параметри МЕП, гідродинамічні характеристики потоку в МЕП та фізичні властивості робочої рідини.



1 - верхній (рухомий) валок;
2 - нижній (нерухомий) валок; 3 - електрична дуга

Рисунок 1 - Розрахункова схема міжелектродного проміжку як елемента гідравлічного опору для реалізації одночасної біполярної РОД двох твердосплавних валків

Чорнова одночасна біполярна РОД двох твердосплавних валків здійснюється за умовою досягання максимально можливої продуктивності обробки ($M = M_{max}$), а отже обробка ведеться на підвищених технологічних струмах та на зменшених швидкостях прокачування робочої рідини крізь МЕП. Такий режим РОД називається жорсткий. Процес РОД реалізується при використанні схеми формоутворення (рис. 4.1), що характеризується наявністю нерухомого нижнього валка, поступального руху верхнього валка та однозонного способу зворотного прокачування робочої рідини крізь торцевий МЕЗ під технологічним тиском.

За даними роботи [2] при реалізації жорсткого режиму із підвищенням сили технологічного струму швидкість потоку на виході із торцевого МЕЗ $V_{m(вих)}$, порівняно із швидкістю потоку на вході в торцевий МЕЗ $V_{m(вх)}$, зменшується у зв'язку із

збільшенням торцевого МЕЗ у напрямку евакуації продуктів ерозії. Показано, що до певної величини сили струму спостерігається рівновага між об'ємами зруйнованого та вилученого за межі МЕП матеріалу електродів. Режим, при якому сила струму I дорівнює силі струму короткого замикання $I_{кз}$, відповідає максимально можливій продуктивності обробки та характеризується критичним значенням коефіцієнта відносної швидкості потоку на виході з торцевого МЕЗ, який, як показали чисельні експерименти, дорівнює

$$\left[\frac{V_{m(вих)}}{V_{m(вх)}} \right]_к = 0,5. \quad (3)$$

Встановлено, що коли $V_{m(вих)}/V_{m(вх)} < 0,5$, швидкість потоку на виході із торцевого МЕЗ $V_{m(вих)}$ недостатня для вилучення великих за масою часток продуктів ерозії, тому вони залишаються в торцевому зазорі, вторинно диспергуються, внаслідок чого продуктивність обробки зменшується. Крім того, спостерігаються короткі замикання, процес дестабілізується, а при подальшому підвищенні сили струму припиняється.

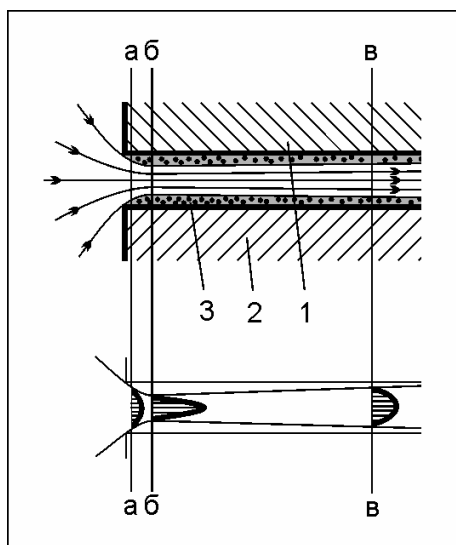
Таким чином для гідродинамічних розрахунків доцільно прийняти таку схему течії робочої рідини в торцевому МЕЗ, яка відповідає умові (3).

Приймаємо закон зміни швидкості робочої рідини у радіальному напрямку торцевого МЕЗ лінійний. Можливість прийняття такої умови підтверджується роботою [2], яка стосується теж жорсткого режиму РОД, але для іншої технологічної схеми формоутворення.

За роботою [3] розрізняють два види втрат повного тиску: втрати на тертя (опір тертя) та місцеві втрати (місцеві опори). Для зручності обидва види втрат сумують за принципом їх накладання (принцип суперпозиції). Втрату повного тиску $P_{ст}$, або сумарний гідравлічний опір МЕП $P_{сум}$, для вибраної технологічної схеми формоутворення можна представити у наступному вигляді

$$P_{ст} = \sum_{i=1}^n \Delta P_i = \Delta P_{вх} + \Delta P_t + \Delta P_{вих}, \quad (4)$$

де $\Delta P_{вх}$, ΔP_t , $\Delta P_{вих}$ - втрати тиску, відповідно, на вході потоку в МЕП, в



1 - верхній валок,
2 - нижній валок

Рисунок 2 - Динаміка зміни профілей швидкостей потоку на вході в зазор

торцевому МЕП, на виході потоку з МЕП, Па.

Підвищення кінетичної енергії робочої рідини на вході в МЕП відбувається за рахунок зменшення її потенціальної енергії. Перш ніж увійти в МЕП, робоча рідина проходить простір, що частково обмежено поверхнями, які прилягають до вхідних відносно гострих кромek електродів (валків), і відривається поблизу входу від поверхонь електродів (рис. 2). Цей відрив та викликане ним вихроутворення є основними джерелами місцевих втрат тиску на вході потоку в МЕП $\Delta P_{вх}$. Втрати тиску на вході потоку в МЕП $\Delta P_{вх}$ (Па) можна розрахувати за формулою

$$\Delta P_{вх} = \xi_{вх} \frac{\rho V_{m(вх)}^2}{2} = \xi_{вх} \frac{\rho Q^2}{2\pi^2 D^2 \delta^2 m(вх)}, \quad (5)$$

де $V_{m(вх)}$ - швидкість потоку на вході в торцевий МЕЗ, м/с; див. вираз (2).

Втрати тиску в торцевому МЕП ΔP_m визначаються наступним інтегралом, (Па)

$$\begin{aligned} \Delta P_m &= \int_{a=\sqrt{2D\delta_{m(вх)}}}^{b=0,5D} \Delta P_{m(i)} dr = \int_{a=\sqrt{2D\delta_{m(вх)}}}^{b=0,5D} \xi_{m(i)} \frac{\rho V_{m(i)}^2}{2} dr = \\ &= \frac{48\nu\rho Q}{\pi D^3 \delta_{m(вх)}^3} \int_{a=\sqrt{2D\delta_{m(вх)}}}^{b=0,5D} \left(r_i - \sqrt{2D\delta_{m(вх)}} \right) \cdot \left(0,5 + \frac{r_i - \sqrt{2D\delta_{m(вх)}}}{D - 2\sqrt{2D\delta_{m(вх)}}} \right)^3 r_i dr; \end{aligned} \quad (6)$$

де $\xi_{m(i)}$ - змінне значення коефіцієнта гідравлічного опору в торцевому МЕЗ

$$\xi_{m(i)} = \frac{\lambda_{m(i)} \cdot l_{m(i)}}{D_{z(m)} i}; \quad (7)$$

ρ - густина органічного середовища, кг/м³;

$l_{m(i)}$ - змінне значення довжини каналу, м;

$\lambda_{m(i)}$ - змінне значення лінійного коефіцієнта гідравлічного тертя у торцевому

МЕЗ. Для визначення закону зміни даного коефіцієнта оцінимо режим течії робочої рідини в торцевому МЕЗ. Введемо поняття коефіцієнта k_m , що показує у скільки разів число Рейнольда на виході потоку із торцевого МЕЗ $Re_{m(вих)}$ більше числа Рейнольда на вході потоку в торцевий МЕЗ $Re_{m(вх)}$:

$$k_m = \frac{Re_{m(вих)}}{Re_{m(вх)}} = \frac{D}{2\sqrt{2D\delta_{m(вх)}}}. \quad (8)$$

Вираз (8) отримано з використанням умови (3). В діапазоні зміни діаметрів ЕЗ $26 \cdot 10^{-3} < D < 215 \cdot 10^{-3}$ м та зазорів ($\delta_{m(вх)} = \delta_{\delta}$) на вході потоку в торцевий МЕЗ $0,03 \cdot 10^{-3} < \delta_{m(вх)} < 0,1 \cdot 10^{-3}$ м, коефіцієнт k_m змінюється у межах $1,9 < k_m < 10,0$. Тоді можливі діапазони зміни чисел Re при швидкостях потоку $V_{m(вх)} = 1 \dots 4$ м/с [2] будуть: на вході потоку у торцевий МЕЗ – $6,7 < Re_{m(вх)} < 89$; на виході потоку із торцевого МЕЗ – $13,3 < Re_{m(вих)} < 164$. Таким чином, у торцевому МЕЗ спостерігається ламінарний режим течії робочої рідини. Це означає, що в торцевому лінійний коефіцієнт гідравлічного тертя $\lambda_{m(i)}$ не залежить від відносної шорсткості стінок (поверхонь) електродів, а повністю визначається числом $Re_{m(i)}$ за законом Гагена-Пуазейля [4, с. 141], і, з урахуванням поправочного коефіцієнта для щілиноподібного перерізу каналу [3, с. 55], визначається за формулою

$$\lambda_{m(i)} = \frac{96}{Re_{m(i)}} = \frac{96\nu}{V_{m(i)} \cdot D_{z(m)} i}, \quad (9)$$

де $Re_{m(i)}$ – змінне значення числа Рейнольда в торцевому МЕЗ;

$V_{m(i)}$ – змінне значення швидкості потоку в торцевому МЕЗ, м/с;

$D_{z(m)} i$ – змінне значення гідравлічного діаметру каналу торцевого МЕЗ, м

$$D_{z(m)} i = 2\delta_{m(i)}; \quad (10)$$

$\delta_{m(i)}$ – змінне значення торцевого МЕЗ, м

$$\delta_{m(i)} = \frac{D\delta_{m(вх)}}{2r_i \left(0,5 + \frac{r_i - \sqrt{2D\delta_{m(вх)}}}{D - 2\sqrt{2D\delta_{m(вх)}}} \right)}; \quad (11)$$

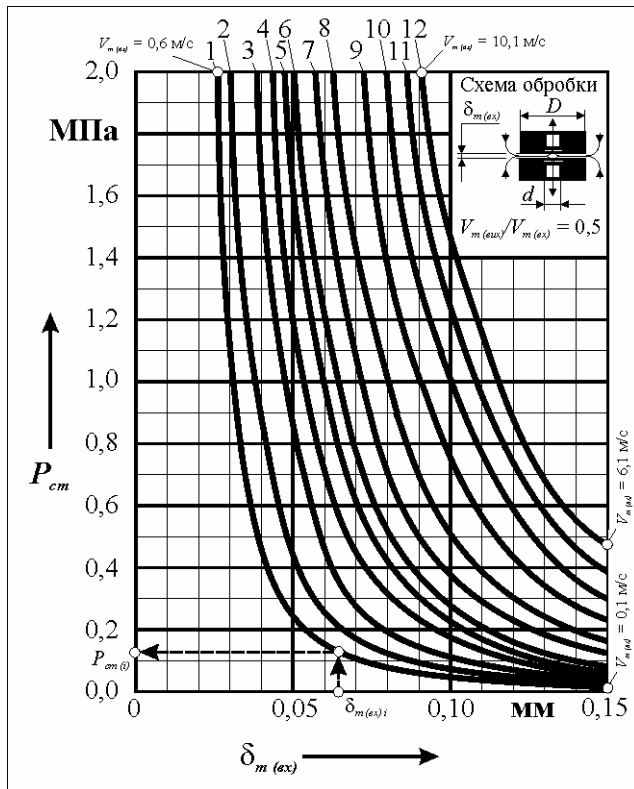
$\Delta P_{вих}$ – місцеві втрати тиску на «удар» при раптовому розширенні потоку на виході із торцевого МЕЗ, Па

$$\Delta P_{вих} = \xi_p \frac{\rho V_{m(вих)}^2}{2} = \xi_p \frac{\rho Q^2}{8\pi^2 \delta_{m(вх)}^2 D^2}. \quad (12)$$

Після підстановки виразів (5), (6) та (12) у формулу (4) та подальших перетворень отримаємо у загальному вигляді інтегральну теоретичну залежність (13) статичного тиску органічної робочої рідини в герметичній камері верстата від групи факторів, що характеризують геометричні параметри МЕП ($\delta_{m(вх)}$, D), кількісні та якісні параметри робочої рідини (Q , ρ , v), а також гідравлічний опір на різних ділянках МЕП ($\xi_{вх}$, ξ_p)

$$P_{ст} = \frac{\rho Q}{\pi D \delta_{m(вх)}^2} \left\{ \frac{Q}{2\pi D} (\xi_{вх} + 0,25\xi_p) + \frac{48v}{D^2 \delta_{m(вх)}^2} \int_{a=\sqrt{2D\delta_{m(вх)}}}^{b=0,5D} \left(r_i - \sqrt{2D\delta_{m(вх)}} \right) \cdot \left(0,5 + \frac{r_i - \sqrt{2D\delta_{m(вх)}}}{D - 2\sqrt{2D\delta_{m(вх)}}} \right)^3 r_i dr \right\} \quad (13)$$

З метою активного керування схованим від безпосереднього спостереження торцевим МЕЗ $\delta_{m(вх)}$ в процесі одночасної біполярної РОД торцевих поверхонь пари твердосплавних валків, на підставі отриманої залежності (13) розроблено номограму (рис. 3), що дозволяє підтримувати технологічний зазор $\delta_{m(вх)}$, а отже і швидкість потоку на вході в торцевий МЕЗ (див. вираз 2), на необхідному рівні шляхом керування такими зручними факторами, як витрата робочої рідини крізь МЕП Q та статичний тиск $P_{ст}$ в герметичній камері верстата. Слід відмітити, що на $\delta_{m(вх)}$ впливають і інші фактори, наприклад напруга на електродах, але їх зміна приводить до зміни параметрів $P_{ст}$ та Q . Тому координати даної номограми $P_{ст} - Q$ однозначно визначають певний гідравлічний опір МЕП, а отже і певний МЕЗ $\delta_{m(вх)}$.



- 1 - $Q = 0,5 \text{ л/хв} = 0,83 \cdot 10^{-5} \text{ м}^3/\text{с}$;
- 2 - $Q = 1,0 \text{ л/хв} = 1,66 \cdot 10^{-5} \text{ м}^3/\text{с}$;
- 3 - $Q = 2,0 \text{ л/хв} = 3,32 \cdot 10^{-5} \text{ м}^3/\text{с}$;
- 4 - $Q = 3,0 \text{ л/хв} = 4,98 \cdot 10^{-5} \text{ м}^3/\text{с}$;
- 5 - $Q = 4,0 \text{ л/хв} = 6,64 \cdot 10^{-5} \text{ м}^3/\text{с}$;
- 6 - $Q = 5,0 \text{ л/хв} = 8,30 \cdot 10^{-5} \text{ м}^3/\text{с}$;
- 7 - $Q = 7,0 \text{ л/хв} = 11,6 \cdot 10^{-5} \text{ м}^3/\text{с}$;
- 8 - $Q = 10 \text{ л/хв} = 16,2 \cdot 10^{-5} \text{ м}^3/\text{с}$;
- 9 - $Q = 15 \text{ л/хв} = 24,3 \cdot 10^{-5} \text{ м}^3/\text{с}$;
- 10 - $Q = 20 \text{ л/хв} = 32,4 \cdot 10^{-5} \text{ м}^3/\text{с}$;
- 11 - $Q = 25 \text{ л/хв} = 40,5 \cdot 10^{-5} \text{ м}^3/\text{с}$;
- 12 - $Q = 30 \text{ л/хв} = 48,6 \cdot 10^{-5} \text{ м}^3/\text{с}$;

Рисунок 3 - Номограма для визначення статичного тиску органічної робочої рідини $P_{ст}$ в герметичній камері верстата при заданих значеннях $\delta_{m(вх)}$ та Q для одночасної біполярної РОД торцевих поверхонь пари твердосплавних валків ($\rho = 875 \text{ кг/м}^3$; $\nu = 9 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$; $D = 0,17 \text{ м}$; $\xi_{вх} = 0,25$; $\xi_{п} = 1,8$). Ключ: $\delta_{m(вх) i} \rightarrow Q_i \rightarrow P_{ст i}$

ПРИКЛАД. Визначити статичний тиск $P_{ст}$ органічної робочої рідини в герметичній камері верстата при одночасній біполярній РОД торцевих поверхонь пари твердосплавних валків зовнішнім діаметром 0,17 м, якщо швидкість потоку на вході в торцевий МЕЗ $V_{m(вх)}$ дорівнює 2 м/с, а торцевий МЕЗ на вході потоку $\delta_{m(вх)} = 0,06 \cdot 10^{-3}$ м.

РІШЕННЯ. За формулою (2) визначаємо потрібну для заданих умов витрату робочої рідини Q

$$Q = V_{m(вх)} \cdot \pi D \delta_{m(вх)} = 2 \cdot 3,14 \cdot 0,17 \cdot 0,06 \cdot 10^{-3} = 6,4 \cdot 10^{-5} \text{ м}^3/\text{с}.$$

За номограмою (рис. 3) методом інтерполяції для відомих значень $\delta_{m(вх)}$ та Q знаходимо значення для $P_{ст} = 0,95$ МПа.

Список літератури

1. Носуленко В. І. Розмірна обробка металів електричною дугою: Дис... д-ра техн.. наук: 05.03.07. – Кіровоград, 1998. – 389 с.
2. Боков В. М. Розмірне формування поверхонь електричною дугою. – Кіровоград: Поліграфічно-видавничий центр ТОВ «Імекс-ЛТД», 2002. – 300 с.
3. Идельчик И. Е. Справочник по гидравлическим сопротивлениям / Идельчик И. Е. – М.: Машиностроение, 1975. – 559 с.
4. Чугаев Р. Р. Гидравлика / Чугаев Р. Р. – Л.: Энергоиздат, 1980. – 672 с.

В. Боков, О. Сиса, М. Попова

Гидродинамика процесса биполярной обработки электрической дугой двух твёрдосплавных валков

Предложен принцип активного управления гидродинамическим режимом потока в торцевом зазоре при биполярной обработке дугой двух твёрдосплавных валков.

V. Bokov, O. Sysa, M. Popova

Hydrodynamics of process of bipolar treatment by electric arc of two hard-alloyed rolls

The principle of active control hydrodynamic mode of the flow in the end clearance under the conditions of bipolar treatment by electric arc of two hard-alloyed rolls was proposed.

Одержано 23.01.12

УДК 621.311.26

Т.Г. Сабірзянов, проф., д-р. техн. наук, П.Г. Плешков, доц., канд. техн. наук, М.В. Кубкін, асист., В.П. Солдатенко, асист., В.В. Мартиненко, студ.

Кіровоградський національний технічний університет

Шляхи удосконалення систем енергопостачання

В статті розглянута проблема переходу від традиційних систем енергопостачання, що базуються на використанні переважно невідновлюваних джерел енергії, до комплексних систем з відновлюваними джерелами енергії, а також шляхи удосконалення останніх
енергопостачання, системи, удосконалення

Потреби людства в енергії задовольняються в наш час, головним чином, шляхом використання звичайного палива (в основному природного газу, нафти і кам'яного вугілля), ядерного палива (наприклад, радіоактивного урану) та потенційної енергії води на гідроелектростанціях. Вказані джерела енергії, крім останнього, є невідновлюваними. Обсяги використання звичайного і ядерного палива з кожним роком зростають, отже їх запаси стрімко скорочуються. За розрахунками фахівців через декілька десятиліть постане проблема гострої нестачі природного газу і нафти, а далі – і ядерного палива.

Спалювання звичайних видів палива призводить до забруднення довкілля. Атомна енергетика ще більш небезпечна. Глобальні техногенні катастрофи, що сталися на атомних електростанціях у 1986 р. у Чорнобилі (Україна) та у 2011 р. у Фукусімі (Японія), є дуже серйозним попередженням про те, що ядерна енергетика являє собою реальну смертельну загрозу для нашої цивілізації.

Гідроенергія річок хоча і є відновлюваною, але її використання, особливо на рівнинних ріках, супроводжується величезними безповоротними втратами земель сільськогосподарського призначення (в Україні – це прекрасні чорноземи).

Виходом із цього загрозливого становища є поступова відмова від традиційних невідновлюваних джерел енергії на користь відновлюваних джерел – енергії сонячного випромінювання, вітрової енергії, хімічної енергії відновлюваних вуглеводневих матеріалів, таких як деревина, опале листя, промислові та побутові відходи, які містять в собі горючі складові і якими можна скористатись як сировиною для виробництва, наприклад, біогазу.

Надзвичайно важливим чинником при вирішенні проблеми енергопостачання є скорочення абсолютної і відносної потреби в енергії.

Перший напрямок економії енергії полягає у поступовому зменшенні загальної