

УДК 626.81/84: 626.83

ВПЛИВ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ НАСОСНОГО УСТАТКУВАННЯ НА ЕКОНОМІЧНУ ЕФЕКТИВНОСТЬ ЗРОШУВАНОВОГО ЗЕМЛЕРОБСТВА

Бохон І.М., аспірант*

*Якимівське міжрайонне управління водного господарства
Запорізького облводресурсів Держводагентства України.
Тел.: (06131) 9-19-72*

Анотація - у статті розглянуто питання впливу експлуатаційних та технологічних дефектів насосного устаткування на його енергоефективність і відповідно собівартість водоподачі для зрошення сільськогосподарських культур. Виконано аналіз багаторічних даних економічних показників при вирощуванні вологоємких культур на зрошуваних землях в умовах півдня України. Визначено вплив рівня питомої норми витрати електроенергії на складову вартості послуг з подачі води та повну собівартість продукції рослинництва. Виконаний аналіз гідравлічних процесів в проточній частині відцентрових насосів, наведено порівняльні дані енергетичних обстежень насосно-силового обладнання.

Ключові слова: зрошуване землеробство, економічна ефективність, відцентрові насоси, питома норма витрати електроенергії, технічний стан, енергоаудит.

Постановка проблеми. Стратегічною лінією державної політики розвитку економіки України є енергозбереження. Основним нормативним документом, який визначає правові, економічно-соціальні і екологічні основи енергозбереження в державі, є Закон України "Про енергозбереження", прийнятий 1 липня 1994 року.

На меліоративних системах України більшість НС експлуатуються від 25 до 35 років. Близько 55% насосних агрегатів, що перебувають в експлуатації, мають ККД нижчі від 5 до 30% за паспортні значення, що призводить до марнотратного споживання електроенергії на перекачування ними води.

Аналіз останніх досліджень. За результатами енергетичних обстежень (енергоаудит), проведених ІГіМ УААН на багатьох об'єктах

водорозподільних систем України технічно доступний потенціал енергозбереження становить від 25 до 40% [1].

Згідно даним інвентаризації меліоративних фондів за 2009 і 2011рр., основними чинниками зниження затребуваності існуючих зрошувальних систем з тривалим терміном експлуатації є:

- низька експлуатаційна надійність;
- висока собівартість водоподачі, внаслідок значних експлуатаційних витрат і зайвого енергоспоживання насосним устаткуванням.

Гідравлічний привод машини "Фрегат" через неможливість забезпечити швидкий рух візків спонукає установлювати на водопровідному поясі середньострумінні дощувальні апарати, а не короткострумінні насадки, що викликає підвищені витрати енергії на створення більш високих напорів води [2].

Формулювання цілей статті. Метою статті є обґрунтування принципів відновлення та технічного вдосконалення складних та енергоємних елементів насосних станцій – насосно-силового устаткування, з метою підвищення його енергоефективності і відповідно зниження собівартості водоподачі

Основна частина. До узагальнюючих додаткових показників економічної ефективності зрошувального землеробства відносяться: загальний рівень рентабельності як відношення чистого доходу до виробничих витрат, виражене у відсотках, або рівень рентабельності додаткових витрат на зрошення як відношення додаткового чистого доходу до додаткових витрат [3, 4, 5].

$$P = \frac{\Pi}{C} \cdot 100\% \quad (1)$$

де Π - прибуток від реалізації продукції;

C - повна собівартість продукції (валові витрати на виробництво).

Аналіз багаторічних даних валових витрат при вирощуванні вологоємких культур на зрошуваних землях в умовах півдня України показав, що складова вартості послуг з подачі води C^B становить до 43% від повної собівартості продукції рослинництва C (табл. 1).

Відповідно до [6], собівартість подачі води розраховується за формулою

$$C^B = C^0 + C^E, \text{ грн/ м}^3 \quad (2)$$

де C^0 - собівартість подачі води за постійними витратами додатковим до бюджетного фінансування водогосподарських організацій (без урахування електроенергії), грн/ м³;

C^E - собівартість подачі води за фактичними витратами електроенергії на подання води, грн/ м³.

$$C^E = e \cdot T \cdot 1000, \text{ грн/м}^3 \quad (3)$$

де e - питома норма витрати електроенергії на перекачування води, кВт · год/1000м³;

T - тариф на електроенергію для споживачів I (II) класу, грн/кВт · год.

Таблиця 1 – Фактичні затрати та складові собівартості при вирощуванні сільськогосподарських культур на зрошенні

Найменування культури	Площа яка поливається, га	Марка дощувальних машин	Подано води на полив, тис. м ³	Витрати на електроенергію, грн	Витрати на послуги з подачі води, грн	Фактична собівартість, грн./га	Відсоток витрат на послуги з подачі води до фактичної собівартості, %
2013 рік							
Соя	365	«Фрегат»	1642,5	596786	1030406	7800	36
Кукурудза на зерно	114	«Фрегат»	462,8	176453	331861	7606	34
2014 рік							
Соя	310	«Фрегат»	1395	582910	1003503	7567	43
Ячмінь ярий	66,5	«Фрегат»	86,5	36145	62224	3980	23

Для створення необхідного напору на гідранті дощувальної машини (0,47...0,70 МПа) максимальний напір на виході з насосного агрегату повинен складати – 0,7...1,2 МПа. Для обладнання з такими характеристиками планова питома норма витрати електроенергії на перекачування води, в окремих випадках, доходить до 550 кВт · год/1000 м³ (табл. 2).

Таблиця 2 – Планові питомі норми витрати електроенергії найбільш поширених типів насосних агрегатів.

Марка насосного агрегату	Планова питома норма витрати електроенергії, кВт год/1000 м ³
250QVD 570-45	352,0
250QVD 570-50	354,7
Д630-90(8 НДВ)	347,2
Д630-120в	494,3
220Д90	325,5
350Д40 (200Д70)	519,0

Аналіз тарифів на послуги з подачі води на закритих зрошувальних масивах Каховської ЗС та Приазовської ЗС за 2011...2015 рр. показав, що складова собівартість подачі води за фактичними витратами електроенергії C^E становить 65...85% від повної собівартості водо-

подачі C^B . Таким чином складова собівартість подачі води за фактичними витратами електроенергії C^E становить до 37% від повної собівартості продукції рослинництва C .

В процесі експлуатації, внаслідок природного зносу та старіння насосно-силового обладнання, відбувається збільшення питомих норм витрати електроенергії. Досвід експлуатації найбільш поширених у системі водного господарства відцентрових насосів типу Д показав, що основний вплив на енергоефективність устаткування справляють об'ємні та гідравлічні втрати енергії.

Об'ємні втрати енергії є наслідком перетікання води з полоти високого тиску через щілинне ущільнення у всмоктувальну полоть. Для кожного типу насосів виробники встановлюють необхідну величину щілинних зазорів під час експлуатації - у найбільш поширених в галузі меліорації насосів 250 QVD 570-50 (виробництва ЧССР) - 0,35 мм, 300 Д 90 (болгарського виробництва) - 0,40 мм. Під час експлуатації устаткування зазор між робочим колесом і корпусом насоса збільшується внаслідок абразивно-кавітаційного руйнування поверхонь ущільнення, що призводить до зростання внутрішнього кругообігу води. За результатами обстеження насосного устаткування після тривалого терміну експлуатації та порівняльного енергоаудиту встановлено, що стан щілинного ущільнення суттєво впливає на енергоефективність устаткування (табл. 3).

Таблиця 3 – Порівняльні дані енергетичних обстежень насосно-силового обладнання НС 61 МК КЗС, НС 3 Р8 КЗС і НС 4 ЗМК ПЗС.

Марка НСА	Витрата Q , м ³ /ч	Напір H , атм.	Струм I , а	Потужність P , кВт	Питома норма ви- трати ел. енергії. кВт·год/1000м ³	Зазори щілинних ущільнень, мм	Відсоток відхилен- ня %
250 QVD-570-50	650	9,5	34,5	297	456,9	0,3	100
	650	9,5	36	302	464,6	0,5	101,6
250 QVD-570-45	920	7,8	35	301	327,2	0,4	100
	916	7,8	36	307	335,2	0,6	102,4
250 QVD-500-54	810	6	375	202	249,4	0,3	100
	806	6	387	207	256,8	0,6	102,9

Гідравлічні втрати енергії виникають внаслідок втрат напору в процесі руху води в проточній частині насоса. Велика швидкість руху рідини в проточній частині насоса визначає турбулентний режим її руху, що пов'язано з утворенням пограничного шару і можливістю його спотворення. При ідеальному стані проточної частини гідравлічні

втрати будуть визначатися тертям рідини об її внутрішні поверхні. При наявності дефектів проточної частини формуються місцеві вихрові спотворення потоку, що викликають додаткові гідравлічні втрати напору.

Дефекти проточної частини робочих коліс насосів мають експлуатаційне та технологічне походження.

В процесі експлуатації відцентрових насосів найбільш поширеною причиною виникнення дефектів робочого колеса є кавітаційні пошкодження лопатей і дисків у вигляді каверн.

Найбільш поширеними технологічними дефектами при виготовленні робочих коліс є:

- взаємне зміщення ливарних напівформ, при яких на лопатях утворюється характерна «сходинка» (рис. 1а);

- не прилягання або руйнування кромки ливарних напівформ, в результаті чого на лопатях утворюються напливи («гребені») (рис. 1б);

- відкриті раковини і тріщини що виникають у процесі лиття (рис. 1с);

- в умови масового виробництва насосів вихідні кромки лопатей робочого колеса, в результаті його обробки, набувають явно виражену характерну "сходинку" (рис. 1д).

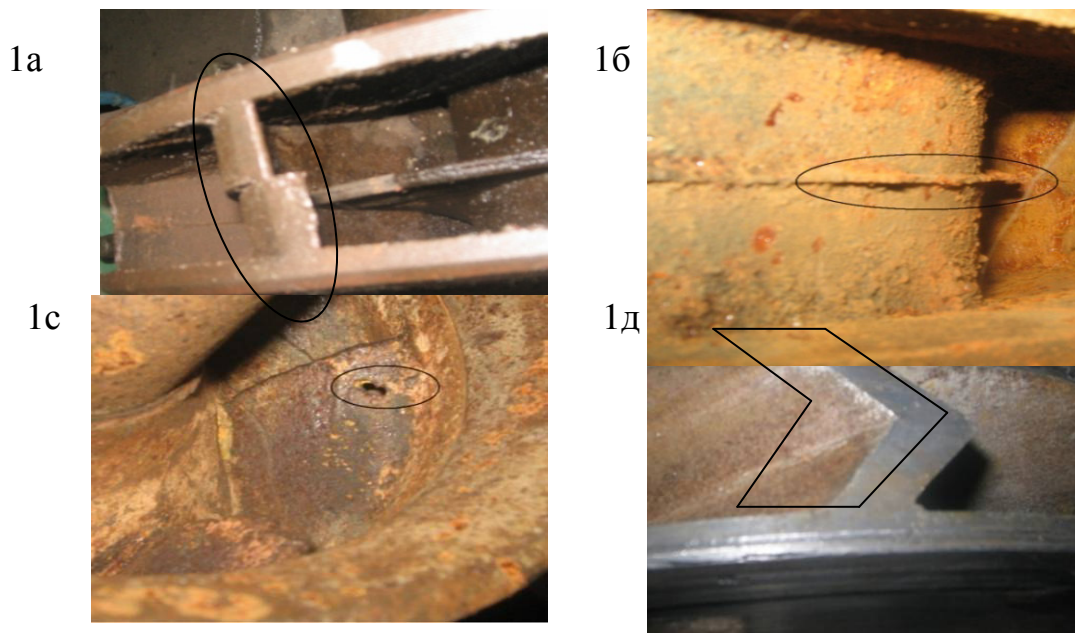


Рис. 1. Технологічні дефекти робочих коліс відцентрових насосів.

Описані вище експлуатаційні та технологічні дефекти проточної частини робочих коліс безпосередньо впливають на пограничний шар потоку, який за рахунок пульсацій швидкості і тиску збільшує свою товщину в зоні місцевих опорів [7, 8]. Наявність спотворень в пограничному шарі, за рахунок огинання дефектів, викликає деформацію

ядра потоку, що безпосередньо позначається на втратах енергії в насосі (рис. 2).

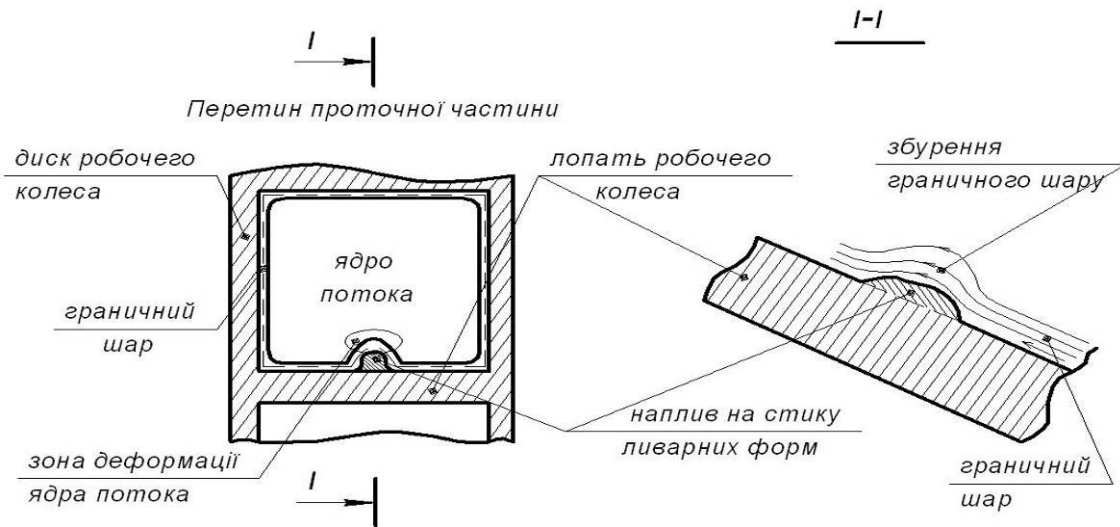


Рис. 2. Схема зміни пограничного шару при наявності напливу на лопаті робочого колеса.

Результати обстеження та порівняльного енергоаудиту, проведених з метою визначення впливу дефектів робочих коліс відцентрових насосів на енергоємність водоподачі, наведено в таблиці 4.

Таблиця 4 – Порівняльні дані енергетичних обстежень насосно-силового обладнання НСП 5 ПЗС (насос Д 800-57, робоче колесо \varnothing 432 мм).

№ НСА	Стан Р/К	Витрата $Q_{\text{стац.}}$, м ³ /ч	Потужність Р, кВт	Тиск у трубопроводі, м.в.ст.	Питома норма витрати електроенергії, кВт год/1000м ³	Відсоток Відхилення %
1	напливи на лопатях Р.К.	740	160,5	53	216,9	108,2
2	норма	788	158	56	200,5	100
3	незначні кавітаційні пошкодження крайок лопатей (до 0,5 мм)	775	156	55,5	201,2	100,3
5	взаємний зсув ливарних напівформ	750	157	53,5	209,3	104,3

Наявність технологічного дефекту - "сходинки" на вихідній частині лопаті, утворює зону завихрення в місці "зриву" потоку з лопаті робочого колеса за рахунок пульсацій швидкості і тиску, що викликає спотворення і пульсацію потоку рідини в точці відриву від лопаті і переходу в спіральний відвід (рис. 3).

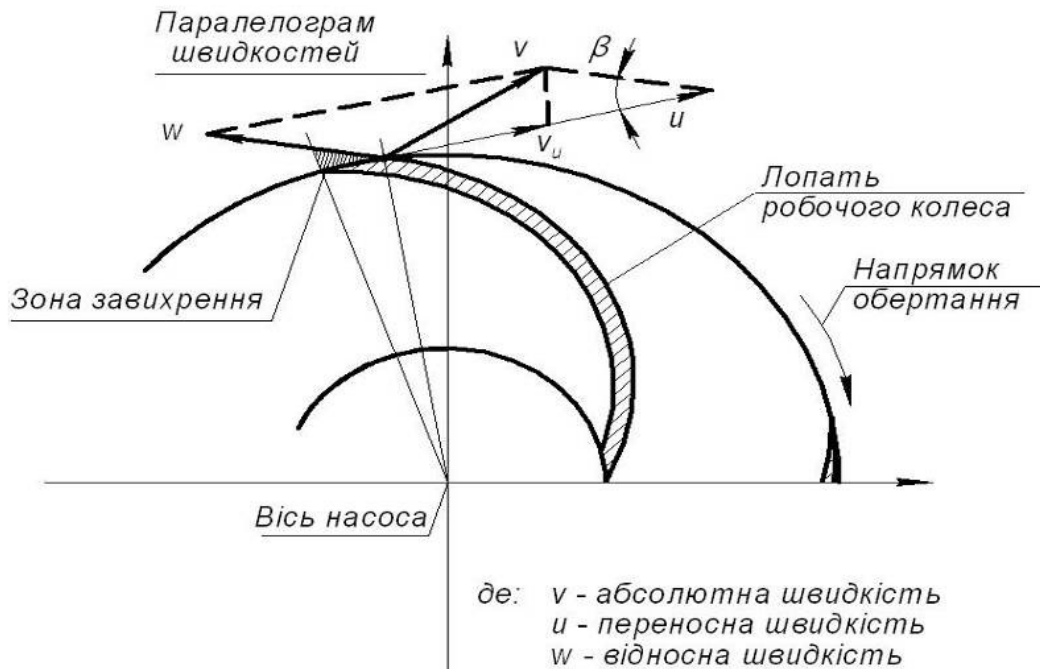


Рис. 3 Схематичне зображення робочого колеса відцентрового насоса з діаграмою векторів швидкостей.

З метою підвищення енергоефективності наявного насосного устаткування розроблена та впроваджена технологія модернізації існуючих відцентрових насосів методом надання (зміни геометрії) вихідним кромкам лопатей робочих коліс гідравлічно вигідного профілю.

Для визначення ефективності запропонованої технології усунення технологічного дефекту відцентрових насосів проведено порівняльний енергоаудит (табл. 5).

Оскільки основний вплив на енергоефективність насосного устаткування справляють різні види втрати енергії, які не змінюють умов підходу рідини до кожного подальшого місцевого опору, повна втрата енергії системи визначається як сума втрат усіх видів. Відповідно, природна деградація і старіння насосного устаткування в процесі роботи, при неналежному рівні експлуатації призводить до погіршення його технічного стану і як наслідок суттєвого підвищення енергоємності водоподачі. Результати енергоаудиту ряду об'єктів Запорізької та Херсонської областей показали, що за рахунок незадовільного технічного стану насосного устаткування наднормативне енергоспоживання може становити до 40%, що в свою чергу викликає збільшення складової вартості послуг з подачі води C^B понад 50% від повній собівартості продукції рослинництва C .

Таблиця 5 – Порівняльні дані енергетичних обстежень насосно-силового обладнання НС 60 МК і НС 4 ЗМК (насоси 250 QVD 570-50, робоче колесо $\varnothing 560$ мм)

№ НСА	Миттєва витрата по стаціонарному витратоміру, $Q_{\text{станц}}, \text{м}^3/\text{год}$	Миттєва витрата по портативному витратоміру, $Q_{\text{порт}}, \text{м}^3/\text{год}$	Напір Н, м.в.ст.	Струм ЕД I, А	Напруга U, В	$\cos \varphi$	Споживана потужність по лічильнику $P_{\text{с}}, \text{кВт}$	Розрахункова споживана потужність $P_{\text{р}}, \text{кВт}$	Питома норма витрати електроенергії, $\text{кВт год}/1000\text{м}^3$	Відсоток відхилення
При роботі трьох дощувальних машин ДМУ-Б434-90 «Фрегат»										
1*	970	969	8	41	6000	0,81	350,4	345	361	100
4	930	923	8	42	6000	0,81	354	353	380	105,3
При роботі двох дощувальних машин ДМУ-Б434-90 «Фрегат»										
1*	650	650	9	34	6000	0,7	262	247	403	100
4	630	620	9	35	6000	0,7	269	255	426	105,7
При роботі трьох дощувальних машин ДМУ-Д463-90 «Фрегат»										
1*	970	959	8	37	6000	0,8	305	307	314	100
3	958	954	7,7	38	6000	0,81	317	319	331	105,4
При роботі двох дощувальних машин ДМУ-Д463-90 «Фрегат»										
1*	631	637	9	32	6000	0,79	258	262	409	100
3	620	612	8,5	34	6000	0,79	275	279	444	108,5

* - насосне обладнання з модернізованими робочими колесами.

Висновки.

1. Проведеними дослідженнями доведено, що наявність експлуатаційних та технологічних дефектів насосного устаткування негативно впливає на його енергоефективність і призводить до збільшення енергоємності водоподачі, що відповідно збільшує складову вартості послуг з подачі води від повної собівартості продукції рослинництва, з 37% для справного насосного обладнання до 50%, при наявності дефектів ущільнень та робочих коліс .

2. У зв'язку з тим, що зрошувальні системи систем побудовані в 70-ті роки ХХ століття вже на стадії проектування мали досить високу енергоємність водоподачі, в окремих випадках до 550 кВт·год/1000 м³, додаткове її підвищення, за рахунок фізичного зносу та старіння насосного обладнання, негативно впливає на економічну ефективність зрошеного землеробства, що суттєво впливає на ефективність використання та затребуваність зрошуваних земель.

3. Експлуатаційним організаціям необхідно особливу увагу приділяти стану щільних ущільнень та проточних частин робочих коліс відцентрових насосів, оскільки ці вузли найбільш схильні до зносу і деградації, при цьому істотно впливають на енергоефективність насосного обладнання. Запроваджена технологія надання вихідним кромкам лопатей робочих коліс гідравлічно вигідного профілю

забезпечує зниження питомих норм витрати електроенергії на 3...5% (залежно від коефіцієнта швидкохідності відцентрових насосів), що забезпечує зниження собівартості подачі води по фактичним затратам електроенергії на 1 насосний агрегат до 16 тис. грн./рік.

Список використаних джерел.

1. Програма підвищення енергоефективності водогосподарських систем України на 2010 – 2014 роки // Державний комітет України по водному господарству – К., 2009 – 38 с

2. *Ромащенко М. І.* Зрошення земель в Україні. Стан і шляхи поліпшення / *М. І. Ромащенко, С. А. Балюк* – К.: Світ, 2000. – 114 с.

3. Справочник экономиста сельского хозяйства / Под редакцией кандидатов экономических наук *Н.П. Кононенко, Н.Я. Кушвида* – К.: Урожай, 1985. – 528 с.

4. *Жминько В. И.* Себестоимость продукции растениеводства на орошаемых землях / *В. И. Жминько, В. П. Мацкевич, Л. Н. Куринная.* - Днепропетровск : Проминь, 1980. - 61 с.

5. *Randall A.* Property entitlements and pricing policies for a maturing water economy / *A. Randall* // *The Australian Journal of Agricultural Economics*, 25(3), 1981. - pp. 195-220.

6. Методика формування ціни на подачу води на зрошення, промислові та комунальні потреби / [*Ромащенко М.І., Ковальчук П.І., Михальська Т.О., Матяш Т.В., Шевчук С.А., Волошин М.М., Пендак Н.В.*] – К., 2006. – 33с.

7. *Лезнов Б.С.* Экономия электроэнергии в насосных установках / *Б. С. Лезнов* – М: Энергоатомиздат, 1991 - 144 с.

8. *Шендрик В. В.* Физическая модель рабочего процесса в проточных частях насосов с полуоткрытыми и открытыми рабочими колесами / *В. В. Шендрик* // «Вісник Сум ДУ Технічні науки». №.1 2007.

**ВЛИЯНИЕ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ
НАСОСНОГО ОБОРУДОВАНИЯ НА ЭКОНОМИЧЕСКУЮ
ЭФФЕКТИВНОСТЬ ОРОШАЕМОГО ЗЕМЛЕДЕЛИЯ**

И.Н. Бохон

Аннотация - в статье рассмотрены вопросы влияния эксплуатационных и технологических дефектов насосного оборудования на его энергоэффективность и соответственно себестоимость водоподачи для орошения сельскохозяйственных культур. Выполнен анализ многолетних данных экономических показателей при выращивании влагоемких культур на орошаемых землях в условиях юга Украины. Определено влияние удельной нормы

расхода электроэнергии на составляющую стоимости услуг по подаче воды и полную себестоимость продукции растениеводства. Выполнен анализ гидравлических процессов в проточной части центробежных насосов, приведены сравнительные данные энергетических обследований насосно-силового оборудования.

INFLUENCE OF TECHNICAL PUMPING EQUIPMENT ON THE ECONOMIC PERFORMANCE OF IRRIGATED AGRICULTURE

I. Bokhon

Summary

The article discusses the impact of operational and technological defects of pumping equipment on the energy efficiency and therefore the cost of water supply for irrigation of agricultural crops. The analysis of long-term data of economic indicators in growing moisture-loving crops on irrigated lands in southern Ukraine. The effect of the level of specific norms of consumption for a component of cost of services for water supply and total cost of crop production. The analysis of hydraulic processes in the flow path of centrifugal pumps, comparative data on energy audit of pumping equipment.