

Міністерство освіти і науки України



Харківський національний технічний університет  
сільського господарства імені Петра Василенка

Методичні вказівки  
до виконання розділу

## **РОЗРАХУНОК ВІДЦЕНТРОВОГО НАСОСА**

випускної кваліфікаційної роботи РВО «Бакалавр»

Для студентів стаціонару та заочної форми навчання

Затверджено  
на засіданні кафедри обладнання та  
інжинірингу переробних і харчових  
виробництв  
Протокол № 7 від 23. 02.2021р.

Затверджено  
на засіданні методичної ради  
ННІ ПХВ ХНТУСГ  
Протокол № 6 від 25.02.2021р.

Харків – 2021

**П.В.Гурський, О.В.Богомолов, С.А.Денисенко, С.Г.Івашенко,  
В.С.Шерстюк**

**Розрахунок відцентрового насоса:** Методичні вказівки до виконання розділу випускної кваліфікаційної роботи рівня вищої освіти «Бакалавр» студентам денної та заочної форми навчання. - Х.: ХНТУСГ, 2021. - 20 с.

**Рецензенти:**

Михайлов В.М., доктор технічних наук, професор, проректор з наукової роботи (Харківський державний університет харчування та торгівлі )

Артёмов М.П., доктор технічних наук, професор, зав.кафедри оптимізації технологічних систем ім. Т.П. Євсюкова (Харківський національний технічний університет сільського господарства імені Петра Василенка)

Метою методичних вказівок є сприяння швидкому та якісному виконанню розділу випускної кваліфікаційної роботи РВО «Бакалавр» студентами денної та заочної форми навчання з галузі знань 13 «Механічна інженерія» спеціальності 133 «Галузеве машинобудування» в межах освітньої програми «Інженерія переробних і харчових виробництв».

У методичних вказівках запропоновано структуру випускної кваліфікаційної роботи, вихідні дані, методику розрахунку технологічного обладнання та список літератури для виконання інших розділів.

© Гурський П.В., Богомолов О.В., Денисенко С.А., Івашенко С.Г., Шерстюк В.С.,2021

© Харківський національний технічний університет сільського господарства імені Петра Василенка.,2021

## ПЕРЕДМОВА

Випускна кваліфікаційна робота РВО «Бакалавр» з обладнання харчових виробництв є самостійною узагальненою роботою студента після опанування дисциплін циклу загальної підготовки та циклу дисциплін професійної та практичної підготовки.

Завдання до кваліфікаційної роботи полягає в систематизації та закріпленні знань студентів, які отримані на лекціях, лабораторних і практичних заняттях, у формуванні умінь самостійно вирішувати питання оцінювання технічних даних технологічного обладнання, його розрахунку, прийняття конкретних конструктивних рішень, у формуванні творчої ініціативи, при компонуванні окремих вузлів та машини в цілому.

В процесі виконання випускної кваліфікаційної роботи студенти набувають практичного досвіду опрацювання науково-технічної і нормативної документації опанування методик виконання інженерних розрахунків, набувають початкових навиків виконання науково-дослідної роботи.

Під час виконання завдань випускної кваліфікаційної роботи з галузі знань 13 «Механічна інженерія» спеціальності 133 «Галузеве машинобудування» в межах освітньої програми «Інженерія переробних і харчових виробництв» у студентів розвивається креативне мислення, формуються:

### Загальні компетентності:

ЗК1 Здатність застосовувати інформаційні та комунікаційні технології.

ЗК2 Здатність використовувати знання у практичних ситуаціях.

ЗК3 Здатність навчатися та оволодівати сучасними знаннями.

ЗК4 Здатність працювати самостійно та у складі команди, мотивуючи на досягнення спільної мети.

ЗК5 Здатність шукати та опрацьовувати інформацію з різних джерел.

ЗК6 Здатність спілкуватися державною фаховою мовою як усно, так і письмово.

ЗК7 Здатність ухвалювати обґрунтовані рішення.

ЗК8 Здатність працювати з іншомовною технічною документацією та спілкуватись іноземною мовою.

Фахові компетентності спеціальності:

ФК 1. Здатність застосовувати знання фундаментальних і прикладних наук в теорії і практиці обслуговування та експлуатації обладнання переробних і харчових виробництв.

ФК 2. Здатність виявляти, оцінювати і реалізовувати раціональні технології в контексті обслуговування та експлуатації обладнання переробних і харчових виробництв.

ФК 3. Здатність застосовувати та вдосконалювати наявні кількісні математичні, наукові й технічні методи, а також комп'ютерні програмні засоби для розв'язування інженерних завдань галузевого машинобудування.

ФК 4. Здатність використання інформаційних технологій та програмного забезпечення для теорії і практики обслуговування та експлуатації обладнання переробних і харчових виробництв.

ФК 5. Здатність втілювати передові інженерні розробки для отримання практичних результатів.

ФК 6. Здатність до просторового графічного представлення технічних систем.

ФК 7. Здатність використовувати інженерні навички для перетворення місцевих природних ресурсів в продукти або послуги

ФК 8. Здатність вирішувати перспективні завдання сучасного виробництва, спрямовані на задоволення потреб споживачів.

ФК 9. Здатність визначати техніко-економічну ефективність машин, процесів, технологічного обладнання переробних і харчових виробництв й організації галузевого машинобудування та їхніх складників на основі застосовування аналітичних методів і методів комп'ютерного проектування.

ФК 10. Здатність розуміти і враховувати правові, соціальні, екологічні, етичні, економічні й комерційні обмеження та ризики, реалізуючи технічні рішення.

ФК 11. Здатність демонструвати творчий та інноваційний потенціал у проектних розробках.

ФК 12. Здатність використовувати знання на засадах комерційної та економічної діяльності.

ФК 13. Здатність розробляти плани й проекти, спрямовані на досягнення поставленої мети і зорієнтовані на наявні ресурси.

ФК 14. Здатність застосовувати норми галузевих стандартів з експлуатації і обслуговування обладнання.

ФК 15. Здатність використовувати знання в розв'язуванні завдань з підвищення надійності технологічного обладнання, якості продукції та її контролю.

ФК 16. Здатність використовувати знання для вибору конструкційних матеріалів, технологічного обладнання, технологічного процесу.

Методичні рекомендації містять необхідні розрахункові формули та систематизовані дані основних розрахунків технологічного обладнання за 10-варіантною схемою і забезпечують виконання розділу 3 «Розрахунок і підбір обладнання» випускної кваліфікаційної роботи. Виконання інших розділів слід виконувати, дотримуючись в основному рекомендацій, викладених в посібниках [1, 2, 3, 5, 8, 10].

## **Обсяг випускної кваліфікаційної роботи**

Випускна кваліфікаційна робота РВО «Бакалавр» складається з пояснювальної записки обсягом 50...60 сторінок тексту в комп'ютерному наборі на аркушах формату А4 (210×297 мм) і графічної частини у форматі комп'ютерної презентації обсягом 5...6 слайдів.

## **Зміст пояснювальної записки кваліфікаційної роботи**

Найменування розділів	К-ть стор.
Вступ	5-6
1 Аналіз технологічного процесу виробництва продукту	8-10
2 Характеристика апаратурно-технологічної схеми	8-10
3 Розрахунок і підбір обладнання	8-10
4 Будова і принцип дії обладнання	8-10
5 Експлуатація та технічне обслуговування обладнання	8-10
6 Охорона та безпека праці	5-6
Висновки	1-2
Список використаних джерел	2-3
Додатки	

Для виконання розрахунків даного обладнання студент повинен творчо попрацювати з технічною та спеціальною літературою для знаходження окремих коефіцієнтів, привести усі одиниці у відповідність з системою СІ.

Титульний лист випускної кваліфікаційної роботи оформлюється згідно з додатком А.

Завдання до випускної кваліфікаційної роботи оформлюється згідно з додатком Б.

Слайди презентації роздруковуються та розміщуються в пояснювальній записці в розділі Додатки.

## Розрахунок відцентрового насоса

Напор, що створюється ( $H$ , м.вод.ст) відцентровими насосами, приблизно визначається за формулою:

$$H = \varphi \cdot \frac{v^2}{2g}, \quad (1)$$

де  $\varphi$  – коефіцієнт напору ( $\varphi = 0,8 \dots 0,9$ );

$g$  – прискорення вільного падіння, м/с<sup>2</sup>;

$v$  – колова швидкість робочого колеса (м/с), визначається за формулою:

$$v = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{60}, \quad (2)$$

де  $D$  – діаметр робочого колеса (рис.1), м;

$n$  – частота обертання, об/хв.

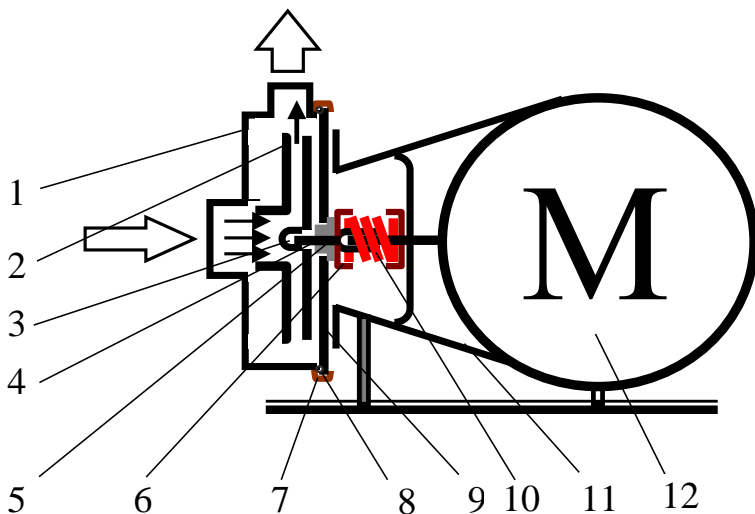


Рисунок 1 – Насос відцентровий 36 1Ц 2,8 – 20:

- 1 – робоча камера;
- 2 – робоче колесо;
- 3 – гайка;
- 4 – хвостовик;
- 5 – сальник;
- 6 – обойма;
- 7 – зажим хомутовий;
- 8 – гумове кільце;
- 9 – корпус;
- 10 – пружина;
- 11 – кронштейн;
- 12 – електродвигун

Продуктивність ( $Q$ , м<sup>3</sup>/с) відцентрових насосів приблизно визначається за формулою:

$$Q = k \cdot d^2, \quad (3)$$

де  $k$  – емпіричний коефіцієнт, що враховує швидкість руху рідини у нагнітальному патрубку; якщо  $d < 100$ м, то  $k = 1 \dots 1,5$ ;

$d$  – діаметр патрубка, м.

Потужність ( $N$ , кВт), що необхідна для роботи насоса визначається за формулою:

$$N = \frac{Q \cdot H}{3600 \cdot \eta \cdot \rho}, \quad (4)$$

де  $\rho$  – густина рідини, кг/м<sup>3</sup>;

$\eta$  – к.к.д. насоса.

Найбільш важливою деталлю відцентрового насоса є робоче колесо, конструкція якого у значній мірі, залежить від коефіцієнта швидкохідності ( $n_g$ ), який визначається за формулою:

$$n_g = 3,65 \cdot \frac{n \sqrt{Q}}{H^{0,75}}, \quad (5)$$

де  $n$  – частота обертання, об/хв;

$Q$  – продуктивність насоса, м<sup>3</sup>/с;

$H$  – напор насоса, м. вод. ст.

Загальний к.к.д насоса ( $\eta_{заг}$ ) залежить від трьох малих коефіцієнтів корисної дії, що входять до нього: звичайного –  $\eta_0$ , гідравлічного –  $\eta_m$  та механічного –  $\eta_{м.}$

Об'ємні втрати у відцентрових насосах обумовлені протіканням рідини через переднє ущільнення колеса втулки вала.

Об'ємний к.к.д. ( $\eta_0$ ) визначають за формулою:



$$\eta_o = \frac{1}{1 + a \cdot n_g^{-0,66}}, \quad (6)$$

де  $a$  – коефіцієнт, що залежить від співвідношення між діаметрами входу та виходу, і складає близько 0,68.

Гідравлічні втрати у відцентрових насосах обумовлені гідравлічним тертям, ударами та вихроутворенням у проточній частині. Для сучасних насосів під час ретельного виготовлення лопатей гідравлічний к.к.д. ( $\eta_z$ ) визначають за формулою:

$$\eta_z = 1 - \frac{0,42}{(\ell g D_{1n} - 0,172)^2}, \quad (7)$$

де  $D_{1n}$  – умовний діаметр живого перетину входу в робоче колесо, який називається приведеним діаметром на вході визначається за формулою:

$$D_{1n} \approx 4,25 \cdot \sqrt[3]{\frac{Q}{n}}. \quad (8)$$

Механічні втрати обумовлені тертям в ущільненнях та підшипниках, а також гідравлічним тертям об поверхню робочих коліс і розвантажувальних дисків.

Значення механічного к.к.д. ( $\eta_m$ ) в сучасних великих і середніх відцентрових насосів досягає 0,92...0,96. Для відцентрового насосу значення механічного к.к.д. приймається 0,93.

Загальний к.к.д. ( $\eta_{заг}$ ) насоса дорівнює добутку всіх трьох складових:

$$\eta_{заг} = \eta_o \cdot \eta_z \cdot \eta_m. \quad (9)$$

Потужність ( $N_b$ , кВт) на валу насоса визначається за формулою:

$$N_{\epsilon} = \frac{\rho \cdot Q \cdot g \cdot H}{1000 \cdot \eta}, \quad (10)$$

де  $Q$  – продуктивність, м<sup>3</sup>/с;  
 $\rho$  – густина рідини, що перекачується, кг/м<sup>3</sup>;  
 $H$  – напор, м.вод.ст.;  
 $\eta$  – к.к.д. насоса.

Обертальний момент ( $M_{\epsilon}$ , Н·см) на валу насоса визначається за формулою:

$$M_{\epsilon} = 9600 \cdot \frac{N_{\epsilon}}{n}. \quad (11)$$

Діаметр вала ( $d_{\epsilon}$ , см) визначаємо за формулою:

$$d_{\epsilon} = \sqrt{\frac{M_{\epsilon}}{0,2 \cdot [\tau_{np}]}}}, \quad (12)$$

де  $[\tau_{np}]$  – припустиме напруження кручення приймається в межах 1200...2800 Н/см<sup>2</sup>.

Діаметр маточини ( $d_m$ , мм) робочого колеса приймають в межах:

$$d_m = (1,2 \dots 1,4) \cdot d_{\epsilon}. \quad (13)$$

Діаметр ( $D_1$ , мм) входу рідини на робочі лопаті насоса визначають за формулою:

$$D_1 = D_0 + 20, \quad (14)$$

де  $D_0$  – діаметр входу рідини на колесо визначають за формулою:

$$D_0 = \sqrt{D_{1n}^2 + d_m^2}. \quad (15)$$

У формулі (14) збільшення  $D_1$  відносно  $D_0$  на 20 мм виконується з метою винесення вхідної крайки робочої лопаті з області повороту потоку в область плоского перетину.

Довжина маточини ( $l_m$ , мм) конструктивно приймається:

$$l_m = 1,4 \cdot d_m. \quad (16)$$

Колова швидкість ( $v_l$ , м/с) на вході в канали робочого колеса визначається за формулою:

$$v_l = \frac{\pi \cdot D_l \cdot n}{60}. \quad (17)$$

Швидкість ( $C_0$ , м/с) входу рідини в робоче колесо визначають за формулою:

$$C_0 = \frac{4 \cdot Q}{\eta_0 \cdot \pi \cdot (D_0^2 - d_m^2)}. \quad (18)$$

З вихідного паралелограма швидкостей, вважаючи що його складові  $C_l = C_{lr} = C_0$  одержимо значення  $\beta_l$  – кута між напрямком колової швидкості на вході  $v_l$  та зворотним обертанням  $i$  – вектором відносної швидкості, що характеризує кут атаки ( $\beta_l$ ) під час натікання рідини на лопать, який визначається за формулою:

$$\operatorname{tg} \beta_l = \frac{C_l}{v_l}. \quad (19)$$

Звідки  $\beta_l = 0$ .

Прийнявши кут атаки при натіканні рідини на лопать, рівним  $i = 5^0$ , одержимо кут лопаті ( $\beta_{1л}$ , град) на вході за формулою:

$$\beta_{1л} = \beta_l + i.$$

Якщо коефіцієнт стискування вхідного перетину міжлопатевого каналів  $\mu_l = 0,9$ , то ширину ( $b_l$ , мм) лопаті на вході визначаємо за формулою:

$$b_1 = \frac{Q}{\eta_0 \cdot \pi \cdot D_1 \cdot C_1 \cdot \mu_i}. \quad (20)$$

Прийнявши кут лопаті  $\beta_2 = 12^\circ$  на виході визначаємо колову швидкість ( $v_2$ , м/с) на виході з колеса:

$$v_2 = 0,5 \cdot C_{1r} \cdot \text{ctg} \beta_{2л} + \sqrt{\left(\frac{C_{1r} \cdot \text{ctg} \beta_{2л}}{2}\right)^2 + \frac{g \cdot H}{\eta_2}}. \quad (21)$$

Прийнявши кут атаки при натіканні рідини на лопать, рівним  $i = 5^\circ$ , одержимо кут лопаті ( $\beta_{2л}$ , град) на виході:

$$\beta_{2л} = \beta_2 + i.$$

Діаметр робочого колеса ( $D_2$ , м) визначається за формулою:

$$D_2 = \frac{60 \cdot v_2}{\pi \cdot n}. \quad (22)$$

Визначається відношення діаметрів входу і виходу:

$$m = D_2 / D_1. \quad (23)$$

Ширина лопаті ( $b_2$ , мм) на виході визначається за умови  $C_{1r} = C_{2r}$  за формулою:

$$b_2 = b_1 \cdot \frac{D_1}{D_2}. \quad (24)$$

Кількість лопатей ( $Z$ ) робочого колеса визначається за формулою:

$$Z = 6,5 \cdot \frac{m+1}{m-1} \cdot \sin \frac{\beta_{1л} + \beta_{2л}}{2}. \quad (25)$$

Після отриманих даних профілюється повздовжній перетин робочого колеса і лопатей.

Таблиця 1 – Варіанти вихідних даних для розрахунку

Вар.	Продукт	$M \cdot 10^{-3}$ , м <sup>3</sup> /с	$n$ , об/хв	$D$ , м	$d$ , м	$H \cdot 10^4$ , Н/м <sup>2</sup>	$\rho$ , кг/м <sup>3</sup>	$t$ , °С
1	Молоко	1,1	2815	0,112	0,036	12,5	1028	20
2	Знежирене молоко	3,6	2900	0,135	0,05	20	1031	15
3	Сироватка	3,3	2835	0,124	0,05	31,5	1022	20
4	Вершки 15%	0,08	2812	0,105	0,036	12,5	998	25
5	Суміш морозива	4,2	2860	0,144	0,05	20	1020	8
6	Молоко	2,7	2880	0,121	0,05	31,5	1030	15
7	Знежирене молоко	1,75	2950	0,116	0,036	12,5	1032	12
8	Сироватка	1,9	2910	0,114	0,036	20	1024	15
9	Вершки 15%	2,2	3000	0,120	0,05	31,5	997	30
10	Суміш морозива	3,8	2800	0,142	0,036	12,5	1020	10

## Література

1. Богомоллов О.В., Гурський П.В., Богомоллова В.П. Курсове та дипломне проектування обладнання харчових і переробних підприємств. Х.:—Еспада, 2004. 432с.

2. Монтаж, ремонт, наладка обладнання молочної промисловості / Гурський П.В., Перцевий Ф.В., Тіщенко Л.М., Богомоллов О.В. та ін. За ред. Перцевого Ф.В., Гурського П.В. – Харків: ХДУХТ – 2001.– 230 с.

3. Курсове та дипломне проектування: Оформлення записки та графічної частини згідно з ЄСКД. Навчальний посібник. / Богомоллов О.В., Гурський П.В., Денисенко С.А., Токолов Ю.І., Шерстюк В.С., Маніло В.Л. ХНТУСГ. –Харків: 2010. –150 с.

4. Обладнання підприємств переробної і харчової промисловості / В.Г.Мирончук, І.С. Гулий, М.М. Пушанко, Л.О. Орлов та ін. За ред. доктора технічних наук, професора Мирончука В.Г. – Вінниця : Нова книга, 2007 – 648 с.

5. Експлуатація обладнання та машин переробних і харчових виробництв. Навчальний посібник. / Богомоллов О.В., Гурський П.В., Денисенко С.А., Токолов Ю.І., Шерстюк В.С., Маніло В.Л. Харків: «Міська друкарня», 2014–253 с.

6. Красов Б.В. Эксплуатация, ремонт и наладка технологического оборудования молочной промышленности, М.: –Легкая и пищевая промышленность, 1981.

7. Аболмасов Г.Ф., Тарасов Ф.М., Шестов Р.Н. Примеры и задачи по курсу технологического оборудования предприятий молочной промышленности, М.: – Машиностроение, 1966.

8. Кондиціювання та холодозабезпечення переробних і харчових виробництв. Навчальний посібник. / Гурський П.В., Богомоллов О.В., Бредихін В.В., Денисенко С.А. та ін. Харків: Х.: ТОВ «Діса плюс», 2019. – 256 с.

9. Гальперин Д.М. Оборудование молочных предприятий: монтаж, наладка ремонт. М.:– Пищевая промышленность, 1990.

10. Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях в дипломному проектуванні переробних і харчових виробництв/ Богомоллов О.В., Гурський П.В., Денисенко С.А., Токолов Ю.І., Шерстюк В.С., Маніло В.Л. ХНТУСГ. –Харків: 2013. –185 с.

Додаток А

Харківський національний технічний університет сільського  
господарства імені Петра Василенка

(повне найменування вищого навчального закладу)

Навчально-науковий інститут переробних і харчових виробництв

(повне найменування інституту, назва факультету (відділення))

Кафедра обладнання та інжинірингу переробних і харчових  
виробництв

(повна назва кафедри (предметної, циклової комісії))

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА  
до випускної кваліфікаційної роботи

РВО Бакалавр

(рівень вищої освіти)

на тему: Аналіз процесу ...

Виконав: студент 4 курсу, групи П17-26  
зі спеціальності

133 – Галузеве машинобудування

(шифр і назва спеціальності)

за освітньою програмою

Інженерія переробних і харчових виробництв

(назва освітньої програми)

Іванов І. О.

(прізвище та ініціали)

Керівник

\_\_\_\_\_ (прізвище та ініціали)

Рецензент

\_\_\_\_\_ (прізвище та ініціали)

«10» червня 2021 року

Додаток Б

Харківський національний технічний університет сільського  
господарства імені Петра Василенка  
(повне найменування вищого навчального закладу)

---

---

Інститут, факультет \_\_\_\_\_ Переробних і харчових виробництв  
Кафедра \_\_\_\_\_ Обладнання та інжинірингу переробних і харчових  
виробництв  
Рівень вищої освіти \_\_\_\_\_ Магістр  
Спеціальність \_\_\_\_\_ 133 «Галузеве машинобудування»  
(шифр і назва)  
Освітня програма \_\_\_\_\_ Обладнання переробних харчових виробництв  
(шифр і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ  
Завідувач кафедри  
Богомолов О.В.

“ \_\_\_ ” \_\_\_ 20\_\_ року

**ЗАВДАННЯ**  
на випускню кваліфікаційну роботу студенту  
Іванов Іван Олександрович

---

1. Тема \_\_\_\_\_ Аналіз процесу ...

---

---

керівник роботи \_\_\_\_\_  
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджена наказом вищого \_\_\_\_\_  
навчального закладу від “ \_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 20\_\_ року

2. Строк подання роботи \_\_\_\_\_ № \_\_\_\_\_  
10 червня 20\_\_ року

3. Вихідні дані до роботи \_\_\_\_\_

---

---

---

---

---





### 6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв

7. Дата видачі завдання «01» січня 20   року

### КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Термін	Прим.
1	Вступ		
2	Аналіз технологічного процесу виробництва продукту		
3	Характеристика апаратурно-технологічної схеми		
4	Розрахунок і підбір обладнання		
5	Будова і принцип дії обладнання		
6	Експлуатація та технічне обслуговування обладнання		
7	Охорона та безпека праці		
	Висновки		
	Список літератури		

Бакалавр

\_\_\_\_\_

( підпис )

Іванов І.О.

\_\_\_\_\_

(прізвище та ініціали)

Керівник

\_\_\_\_\_

( підпис )

\_\_\_\_\_

(прізвище та ініціали)

**Навчальне видання**

Гурський П.В.  
Богомолов О.В.  
Денисенко С.А.  
Іващенко С.Г.  
Шерстюк В.С.

Методичні вказівки  
до виконання розділу

**РОЗРАХУНОК ВІДЦЕНТРОВОГО НАСОСА**  
випускної кваліфікаційної роботи РВО «Бакалавр»

Для студентів стаціонару та заочної форми навчання

Комп'ютерний набір та верстка: П.В.Гурський

Підп. до друку

Зам. № 64

Формат паперу 60x84 1/16 Обл. - вид. арк. 1,5

Тираж 100

Ризограф TR 1510 № 80654645

---

ХНТУСГ, 61023, м. Харків, вул. Мироносицька 92, кім.204

---

Підготовлено та надруковано кафедрою «Обладнання та інжинірингу переробних і харчових виробництв» Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка

