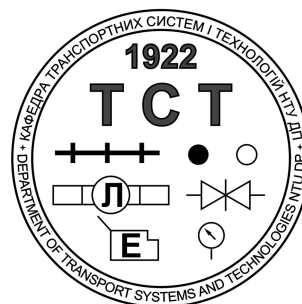


МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
«ДНІПРОВСЬКА ПОЛІТЕХНІКА»



## ТРАНСПОРТНІ СИСТЕМИ ТА ТЕХНОЛОГІЇ

**Методичні рекомендації бакалаврам  
спеціальності 185 «Нафтогазова інженерія та  
технології» до виконання практичних робіт  
з дисципліни «Транспортні системи та технології»**

Дніпро  
НТУ «ДП»  
2018

Коровяка Є.А. Транспортні системи та технології. Методичні рекомендації бакалаврам спеціальності 185 «Нафтогазова інженерія та технології» до виконання практичних робіт з дисципліни / Є.А. Коровяка, О.В. Денищенко, В.О. Расцветаєв ; нац. гірн. ун-т, каф. трансп. сист. і техн. – Д., : НГУ, 2018. – 58 с.

Автори:

Є.А. Коровяка, канд. техн. наук, доцент;  
О.В. Денищенко, канд. техн. наук, доцент;  
В.О. Расцветаєв, канд. техн. наук, доцент

Затверджено до видання редакційною радою Державного ВНЗ «НГУ» (протокол № 5 від 03.05.2018) за поданням науково-методичної комісії спеціальності 185 «Нафтогазова інженерія та технології» (протокол № 2 від 07.11.2017).

Подано методичні вказівки до виконання практичних робіт з дисципліни «Транспортні системи та технології». Викладено матеріал, який допоможе активізувати виконавчий етап пізнавальної діяльності студентів під час виконання практичних робіт та самостійного вивчення дисципліни.

Призначено для студентів спеціальності 185 «Нафтогазова інженерія та технології».

## Зміст

<b>Передмова</b> .....	4
1 Насипні вантажі промислових підприємств.....	6
1.1. Кускуватість.....	6
1.2. Щільність. Вологість.....	8
2 Показники надійності.....	11
3 Вантажопотік. Продуктивність. Коефіцієнт нерівномірності вантажопотоку.....	14
4 Сила тяги для переміщення зосереджених і розподілених вантажів. Натяг гнучкого тягового органа.....	22
5 Потужність двигуна.....	28
6 Еквівалентний діаметр для складної ділянки газопроводу.....	32
<b>Додаток А. Довідкові матеріали</b>	
1 Основні позначення.....	35
2 Утворення кратних і часткових одиниць.....	36
3 Співвідношення між одиницями роботи й енергії.....	37
4 Співвідношення між одиницями потужності.....	37
5 Основні фізичні величини та їх розмірність.....	37
6 Характеристики вантажів, що транспортуються.....	38
<b>Додаток Б. Індивідуальні завдання</b>	
1.1. Гранулометричний склад насипних вантажів.....	39
1.2. Щільність і вологість насипних вантажів.....	40
2. Надійність транспортної машини і послідовного ланцюга машин.....	41
3.1. Продуктивність транспортних засобів безперервної дії.....	42
3.2. Продуктивність транспортних засобів періодичної дії.....	43
3.3. Резерв продуктивності транспортних засобів.....	44
4.1. Сила тяги для переміщення зосереджених вантажів.....	45
4.2. Сила тяги для переміщення розподілених вантажів на криволінійних ділянках.....	46
5. Розрахункова потужність двигуна.....	47
6. Еквівалентний діаметр для складної ділянки газопроводу.....	48
<b>Додаток В. Приклади рішення індивідуальних завдань</b> .....	49
<b>Додаток Г. Критерії та процедури оцінювання</b> .....	56
<b>Бібліографічний список</b> .....	57

## ПЕРЕДМОВА

Практичне заняття – форма навчальної роботи, де викладач організує для студентів детальний розгляд окремих теоретичних положень навчальної дисципліни.

Результати навчання відповідно до робочої програми дисципліни «Транспортні системи та технології» полягають у вирішенні ситуативних навчальних задач, подібні до тих, які фахівець може зустріти в своїй діяльності:

СР<sub>3</sub>-1 – характеризувати фізико-хімічні властивості нафти, конденсату і природного газу в процесах їх видобування, буріння свердловин, транспортування та зберігання;

СР<sub>3</sub>-3 – визначати пропускну здатність стаціонарних та самохідних засобів транспортування,

СР<sub>9</sub>-2 – розраховувати силу тяги для переміщення вантажів;

СР<sub>9</sub>-3 – розраховувати потужність двигунів;

СР<sub>9</sub>-6 – розробляти технологічні системи переміщення вантажів нафтогазових підприємств.

Тематика практичних занять відповідає запланованим результатам навчання. Рекомендації містять приклади вирішення перелічених завдань та відповідні індивідуальні завдання для студентів.

Теми практичних занять:

### **1. Гранулометричний склад насипних вантажів. Щільність і вологість насипних вантажів**

Перелік основних параметрів, що характеризують властивості вантажу: кускуватість, щільність у насипці, кут природного укусу й кут укусу в русі, відносна вологість, абразивність, липкість, пилоутворення, вибухонебезпечність, здатність до самозаймання.

### **2. Надійність транспортної машини і послідовного ланцюга машин**

Показники надійності, як критерії оцінки, використовуються для вибору й порівняння засобів транспорту.

### **3. Продуктивність транспортних засобів безперервної та періодичної дії. Резерв продуктивності транспортних засобів**

Поняття продуктивності вантажопотоку хоча й має загальне визначення (кількість переміщеного вантажу за одиницю часу), однак для засобів безперервної й періодичної дії відрізняється за змістом.

### **4. Сила тяги для переміщення зосереджених та розподілених вантажів на прямолінійних ділянках**

Зосереджений вантаж (наприклад, вагонетка) має розміри в напрямку трьох взаємоперпендикулярних осей (довжина, ширина, висота) одного порядку, у розрахунках масу його можна прийняти зосередженою в одній точці, а навантажені елементи його можуть сприймати як стискальну, так і розтягальну силу.

Розподілений вантаж (наприклад, скребковий ланцюг із приєднаними до нього елементами й переміщуваним вантажем; стрічка з вантажем і підтримуючими її роликоопорами – вони приєднані до неї силами тертя) відрізняється від зосередженого тим, що він: має на кілька порядків більший

розмір по довжині, чим по ширині й висоті, може переміщатися як у прямому, так і у вигнутому вигляді й головне – він завжди розтягнутий (стискальні сили не сприймаються). Із цієї причини далі термін «натяг» варто розуміти як силу розтягання, що приходить на весь поперечний переріз ланцюга, стрічки, каната в даному конкретному місці по довжині (не плутати з терміном «напруження»).

### **5. Розрахункова потужність двигуна й розрахунковий коефіцієнт переважувальної здатності**

Для кожної машини потужність електричного двигуна розраховується й вибирається по нагріванню, тобто по потребі реалізувати необхідне навантаження й не перегріватися. Оскільки різні машини вимагають реалізації різної змінної в часі потужності, а отже, і навантаження, при розрахунках і виборі двигуна користуються таким поняттям, як навантажувальний режим роботи. Для транспортних машин найчастіше користуються в розрахунках двома режимами: перший – із тривалим постійним або таким, що мало змінюється, навантаженням, наприклад, конвеєри, елеватори, гідротранспортні установки та ін., а другий – із тривалим змінним (циклічним) навантаженням, наприклад, кінцеві канатні відкатки, електровози та ін.

### **6. Визначення еквівалентного діаметра для складної ділянки газопроводу**

До складних газопроводів відносяться газопроводи з відводами, лупінгами, паралельні газопроводи з перемичками, газопроводи з різними діаметрами.

При проведенні спрощених розрахунків складний газопровід замінюють еквівалентним простим, до якого застосовні звичайні формули гідравлічних розрахунків. Така заміна здійснюється методами еквівалентних діаметрів або еквівалентних довжин, відомими з курсу гідравліки.

Практичні заняття оцінюються якістю виконання контрольної роботи або індивідуального завдання експертним методом з використанням загальних критеріїв стосовно оцінювання рівня сформованості знань та умінь.

Якщо індивідуальне завдання не передбачено робочою програмою, то практичне заняття оцінюється якістю виконання контрольної роботи.

Заняття готується викладачем таким чином, щоб студент чітко розумів, що задано, а що потрібно визначити, що потрібно шукати в довідковій літературі, а що треба знати напам'ять.

Бажаною є умова, щоб на практичні заняття студенти приходили з заздалегідь опрацьованим лекційним матеріалом по темі. Для цього на кожному практичному занятті повідомляється тема наступного.

На кожному занятті студент отримує індивідуальне завдання додому по темі цього заняття, розраховане на витрати часу до однієї години. Завдання виконується на окремих підписаних листках, які здаються викладачеві на початку кожного заняття і є звітом про попередні практичні заняття. В кінці семестру викладач повертає студентові його виконані та оцінені завдання.

Подані можливі варіанти рішення задач дозволяють використовувати дані методичні вказівки для самостійного засвоєння курсу шляхом детального вивчення умов завдань, їх рішень, а також самостійного складання й рішення аналогічних задач.

## Практичне заняття 1. Насипні вантажі промислових підприємств

Перелік основних параметрів, що характеризують властивості вантажу:  
кускуватість, щільність у насипці, кут природного укоосу й кут укоосу в русі, відносна вологість, абразивність, липкість, пилоутворення, вибухонебезпечність, здатність до самозаймання.

### 1.1. Кускуватість

У транспорті поняття “кускуватість” використовується при виборі ширини стрічки конвеєра, визначенні розмірів випускних отворів бункерів і рудоспусків, проектуванні завантажувальних воронки і вагонних перекивачів у пунктах завантаження вагонеток, проектуванні транспортних жолобів на збагачувальних фабриках, поверхневих комплексах шахт та ін.

Розміром куска (мм) незалежно від форми вважається його максимальний розмір. Самі куски вимірюються рідко, а розміри одержують за результатами просівання (грохочення). Оскільки будь-яка насипка (проба, порція) сипучого вантажу має куски різного розміру, при виборі й розрахунках засобів транспорту для характеристики кускуватості таких вантажів приймається один (характерний, розрахунковий) розмір куска (кускуватість) –  $a_{\max}$  або  $0,8a_{\max}$  для рядового й  $a_{\text{ср}}$  для сортованого вантажів.

Кускуватість сортованого вантажу ( $d_{\max} / d_{\min} \leq 2,5$ ) характеризують середнім (характерним) розміром

$$d = \frac{d_{\max} + d_{\min}}{2},$$

де  $d_{\max}$  і  $d_{\min}$  – відповідно найбільший і найменший розмір кусків. Рядовий вантаж ( $d_{\max} / d_{\min} > 2,5$ ) характеризують розміром  $d = d_{\max}$ , якщо вага шматків з розмірами від  $0,8d_{\max}$  до  $d_{\max}$  більш 10% ваги проби, у протилежному випадку  $d = 0,8d_{\max}$ .

За величиною характерного розміру вантажі поділяють на крупнокускові ( $d \gg 160$  мм), середньокускові ( $d = 60 - 160$  мм), дрібнокускові ( $d = 10 - 60$  мм), зернисті ( $d = 0,5 - 10$  мм) і пилоподібні ( $d < 0,5$  мм).

**Задача 1.1.** Визначити необхідні для рішення транспортних завдань розміри кусків (кускуватість) за результатами класифікації (грохочення), що наведено у таблиці 1.1.

Таблиця 1.1

Розміри класів по крупності в пробі, мм		Маса кожного класу, кг (по варіантах)									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Вся проба	150-140	20	3	35	–	32	-	25	10	8	10
	141-130	30	2	45	25	28	42	59	17	23	–
	129-100	50	10	50	13	-	2	32	8	14	40
	99-50	20	100	–	2	15	–	56	10	–	50
	49-1	5	20	–	–	25	–	18	2	–	–

Пояснення до рішення.

Спочатку визначається категорія вантажу – рядовий чи сортований, з умови:

$$\frac{a_{\max}}{a_{\min}} \leq 2,5 \text{ – сортований;}$$

$$\frac{a_{\max}}{a_{\min}} > 2,5 \text{ – рядовий;}$$

де  $a_{\max}$  і  $a_{\min}$  – максимальні розміри відповідно найбільшого й найменшого кусків у пробі.

Для рядових вантажів:

– визначається маса кусків розміром від  $a_{\max}$  до  $0,8a_{\max}$ ;

– по співвідношенню цієї маси до загальної маси проби встановлюється характерний розмір куска. Він дорівнює  $a_{\max}$ , якщо маса кусків від  $a_{\max}$  до  $0,8a_{\max}$  дорівнює або більше 10% маси проби, або  $0,8a_{\max}$ , якщо ця маса менше 10%.

Для сортованих вантажів розміром куска (кускуватістю) вважається середнє арифметичне значення максимальних розмірів найбільшого й найменшого кусків у пробі, незалежно від кількості тих або інших.

У розрахунках часто індекси біля розміру  $a$  не ставлять, а говорять: рядовий кускуватістю  $a$ , сортований кускуватістю  $a$ .

### Рішення.

Проба, що містить всі 5 класів (від 150 до 1 мм) – рядовий вантаж, а та, що включає перші 3 класи (150-100 мм) – сортований, тому що

$$\frac{150}{1} = 150 > 2,5, \text{ а } \frac{150}{100} = 1,5 \leq 2,5.$$

Проба за вар. 1 (табл. 1.1) – рядовий вантаж. Його кускуватість визначається так: маса кусків розміром від 150 мм до  $0,8 \times 150$ , тобто від 150 мм до 120 мм, дорівнює не менш 50 кг (клас 150-130). При загальній масі проби 125 кг великих кусків від  $a_{\max}$  до  $0,8 a_{\max}$  – не менш 40%, що набагато більше нормативних 10%. Таким чином, проба за вар. 1 має кускуватість 150 мм, тобто розмір найбільшого куска  $a_{\max} = 150$  мм.

Аналогічно за вар. 2 – вантаж рядовий, характерний розмір куска  $a_{\text{хар}} = 0,8 a_{\max} = 150 \times 0,8 = 120$  мм.

За вар. 3 – вантаж сортований, середній розмір куска  $\frac{150+100}{2} = 125$  мм.

Аналогічно за вар. 4 – вантаж рядовий з  $a_{\max} = 141$  мм, а за вар. 6 – вантаж сортований, середній розмір куска  $a_{\text{ср}} = \frac{141+100}{2} = 120,5$  мм.

## 1.2. Щільність. Вологість

Щільність  $\rho$  – маса в одиниці об'єму, звичайно  $\text{т/м}^3$ . Її величина визначена властивостями самої породи та її вологістю. Розрізняють щільність у масиві й у розпушеному стані.

Щільність у цілику  $\rho_{ц}$ ,  $\text{т/м}^3$  – це маса  $1 \text{ м}^3$  монолітної породи. Щільність у насипці  $\rho$ ,  $\text{т/м}^3$  – це маса  $1 \text{ м}^3$  насипного (розпушеного) вантажу (табл. 2.1). Коефіцієнт розпушення

$$k_{роз} = \rho_{ц} / \rho$$

Для м'яких порід (земля, глина)  $k_{роз}$  дорівнює 1,1 – 1,3, для скельних порід середньої міцності (вугілля, сланець) – 1,4 – 1,6, для дуже міцних скельних порід – 1,5 – 1,8.

Відносна вологість  $W$  визначається як відношення різниці щільності вологого й сухого вантажу до щільності вологого –  $W = \frac{\rho_{вл} - \rho_{с}}{\rho_{с}}$ .

**1.2.1.** Визначити масу й вагу вантажу на ділянці горизонтального конвеєра довжиною  $l$ , середню на довжині 1 м (лінійну) масу вантажу, а також масу води у всьому вантажі, якщо задано вихідні дані, що наведені в таблиці 1.2.

Таблиця 1.2

№	Вихідні дані	Варіанти								
		70	80	90	110	85	120	130	140	150
1	Довжина ділянки $l$ , м	70	80	90	110	85	120	130	140	150
2	Форма жолоба*	1	2	3	4	1	2	3	4	4
3	Розміри жолоба, м	0,25	0,45	0,3 і 0,5	$h=0,3$ 0,5 і 0,7	0,2	0,4	0,2 і 0,5	$h=0,25$ 0,4 і 0,6	$h=0,2$ 0,5 і 0,3
4	Коефіцієнт заповнення перерізу жолоба $\psi$	0,7	0,9	0,7	1	0,6	1,1	1,2	1	0,7
5	Щільність сухого вантажу $\rho_{с}$ , $\text{т/м}^3$	0,85	1,5	1,0	0,85	1,5	1,5	1,0	0,85	1,5
6	Вологість $W$ , %	5	10	7	5	10	10	7	5	5

\* Форма жолоба: 1 – квадрат, сторона  $a$ ; 2 – півколо, радіус  $R$ ; 3 – прямокутник, сторони  $a$  і  $b$ ; 4 – трапеція, висота  $h$ , паралельні сторони  $a$  і  $b$ .

### **Рішення.** (Вар. 1):

– площа перерізу жолоба  $S_{жс} = 0,25 \times 0,25 = 0,0625 \text{ м}^2$ ;

– площа перерізу вантажу  $S_{вл} = S_{жс} \cdot \psi = 0,0625 \times 0,7 = 0,044 \text{ м}^2$ .

Тут теоретична (максимальна) площа перерізу вантажу прийнята рівною геометричній площі перерізу жолоба.

Визначається:

– щільність вологого вантажу  $\rho_{вл} = \rho_{с} / (1 + W) = 0,85 / (1 + 0,05) = 0,895 \text{ т/м}^3$ ;

– лінійна (погонна) маса вологого вантажу  $q_{вл} = S_{жс} \cdot \psi \cdot \rho_{вл} = 0,0625 \cdot 0,7 \cdot 0,895 \cdot 1000 = 39,4 \text{ кг/м}$ ;

– лінійна (погонна) маса сухого вантажу  $q_{с} = S_{жс} \cdot \psi \cdot \rho_{с} =$



- $= 0,25^2 \cdot 0,7 \cdot 0,85 \cdot 1000 = 37,2$  кг/м;  
 – лінійна маса води у вантажі  $q_{\text{в}} = q_{\text{вл}} - q_{\text{с}} = 39,4 - 37,2 = 2,2$  кг/м;  
 – маса вологого вантажу на ділянці  $l$   $G_{\text{вл}} = q_{\text{вл}} \cdot l = 39,4 \cdot 70 = 2758$  кг;  
 – вага вологого вантажу  $P_{\text{вл}} = G_{\text{вл}} \cdot g = 2758 \cdot 9,81 = 27056$  Н;  
 – маса сухого вантажу на ділянці  $l$   $G_{\text{с}} = q_{\text{с}} \cdot l = 37,2 \cdot 70 = 2604$  кг;  
 – вага сухого вантажу  $P_{\text{с}} = G_{\text{с}} \cdot g = 2604 \cdot 9,81 = 25545$  Н;  
 – маса води у вантажі  $G_{\text{в}} = q_{\text{в}} \cdot l = 2,2 \cdot 70 = 154$  кг;  
 – вага води у вантажі  $P_{\text{в}} = G_{\text{в}} \cdot g = 154 \cdot 9,81 = 1511$  Н.

**1.2.2.** Визначити щільність вантажу в насипці за даними таблиці 1.2.2.

Таблиця 1.2.2

Варіанти	1	2	3	4	5	6
Розміри вийнятої гірської маси в масиві (прямокутн. паралелепіпед), м	5×2×1,5	8×0,8×2	20×0,6×1,5	10×2×2	40×0,6×1	30×2×2
Коефіцієнт розпушення	2	1,8	1,6	1,5	1,9	2
Маса вийнятої гірської маси, т	30	20	40	50	40	300

**Рішення (Вар. 1)**

– Щільність у цілику  $\rho_{\text{ц}} = \frac{m}{V} = \frac{30}{5 \cdot 2 \cdot 1,5} = 2$  т/м<sup>3</sup>;

– щільність у насипці  $\rho_{\text{нас}} = \frac{\rho_{\text{ц}}}{k_p} = \frac{2}{2} = 1$  т/м<sup>3</sup>,

де  $k_p$  – коефіцієнт розпушення.

**1.2.3.** У жолоб довжиною 3 м (у формі трапеції висотою 15 і сторонами 60 і 50 см) рівномірно насипаний вантаж вагою  $G = 2000$  Н і вологістю 10 %. Визначити: а) щільність вологого й сухого вантажу; б) лінійну масу вологого вантажу у жолобі; в) вагу сухого вантажу; г) масу води у вантажі.

Аналогічну задачу вирішити, якщо вихідні дані будуть мати значення, наведені в таблиці 1.2.3.

Таблиця 1.2.3

Вихідні дані	Варіант											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Довжина жолоба, м	3	6	8	6	7	8	12	13	10	8	9	10
Вага вантажу, Н	2000	2500	3000	2000	7000	7000	2500	2000	2000	9000	10000	10000
Розміри жолоба, см	50×60	60×40	40×30	35×15	42×28	55×30	60×20	40×15	55×25	45×25	55×20	60×15
Вологість, %	10	10	12	8	10	7	5	6	7	4	3	2

### Рішення (Вар. 1)

– Вантаж в цілику масою  $m = \frac{G}{g} = \frac{2000}{9,81} = 204 \text{ кг};$

– площа перерізу жолоба  $S = \frac{a+b}{2} \cdot h = \frac{0,50+0,60}{2} \cdot 0,15 = 0,0825 \text{ м}^2;$

– обсяг ємності з вантажем  $V_{\text{ж}} = L \cdot S = 3 \cdot 0,0825 = 0,2475 \text{ м}^3;$

– щільність вологого вантажу  $\rho_{\text{вл.вм}} = \frac{m}{V_{\text{ж}}} = \frac{0,204}{0,2475} = 0,85 \text{ т/м}^3;$

– з вологості вантажу визначимо щільність сухого вантажу:

$$W = \frac{q_{\text{вл.вм}} - q_{\text{с.вм}}}{q_{\text{с.вм}}} \Rightarrow q_{\text{с.вм}} = \frac{q_{\text{вл.вм}}}{(W-1)} = \frac{0,85}{1,1} = 0,77 \text{ т/м}^3;$$

– лінійна маса вологого вантажу в жолобі  $q = \frac{m}{L} = \frac{204}{3} = 68 \text{ кг/м};$

– вага сухого вантажу  $G_c = V_{\text{ж}} \cdot q_{\text{с.вм}} \cdot g = 0,2475 \cdot 0,77 \cdot 9,81 = 1,876 \text{ кН};$

– маса води у вантажі  $m_g = m_{\text{вм}} \cdot m_{\text{с.вм.}} = 204 - 191 = 13 \text{ кг}.$

## Практичне заняття 2. Показники надійності

Надійність – властивість (здатність) машини виконувати функції в часі без відмов, (збереження працездатності в часі). Для характеристики цієї властивості єдиного критерію немає. Часто надійність засобів транспорту характеризується такими критеріями:

– **безвідмовність** – вимірюють частотою (інтенсивністю) відмов за годину

$$\lambda = \frac{1}{t_{\text{відм}}}, \text{ Відм/Г,} \quad (2.1)$$

де  $t_{\text{відм}}$  – середній час напрацювання на одну відмову, г

$$t_{\text{відм}} = \frac{t_{\text{відм}1} + t_{\text{відм}2} + \dots + t_{\text{відм}n}}{n}, \text{ Г.} \quad (2.2)$$

Тут  $t_{\text{відм}1}, t_{\text{відм}2} \dots$  – час напрацювання (безвідмовної роботи) між відмовами.

Аналогічно  $t_{\text{відн}}$  – середній час ліквідації відмови (час ремонту, відновлення).

– **імовірність безвідмовної роботи** протягом заданого часу  $t$ , год

$$P(t) = e^{-\lambda t}. \quad (2.3)$$

Частота відмов послідовного ланцюга машин (без резерву)

$$\lambda = \lambda_1 + \lambda_2 + \dots + \lambda_n, \frac{\text{Відм}}{\text{Г}}. \quad (2.4)$$

Якщо засоби однакові та інтенсивність відмов кожної  $\lambda_0$ , то

$$P(t) = e^{-\lambda_0 n t}, \quad (2.5)$$

з (2.4) та (2.5) видно, що безвідмовність системи із зростанням  $n$  знижується: чим ланцюг складніший, тим він менш надійний.

– **готовність** характеризується коефіцієнтом готовності

$$k_2 = \frac{t_{\text{відм}}}{t_{\text{відм}} + t_{\text{відн}}}; \quad (2.6)$$

– **ремонтпридатність** характеризується  $t_{\text{відн}}$  – середньою тривалістю відновлення (час ліквідації поломок) та коефіцієнтом ремонтпридатності

$$k_{\text{рем}} = \frac{t_{\text{відн}}}{t_{\text{відм}} + t_{\text{відн}}}; \quad (2.7)$$

Значення  $k_2$  можна розглядати як імовірність застати установку в працездатному стані в довільний момент часу.

Для послідовного ланцюга (системи) засобів транспорту  $k_2 = k_{21} k_{22} \dots k_{2n}$ , а якщо  $k_{20}$  – однаковий коефіцієнт готовності кожної з  $n$  установок, то для такого ланцюга  $k_2 = k_{20}^n$ , тобто із зростанням  $n$  готовність знижується.

Коефіцієнти готовності та ремонтпридатності зв'язані:  $k_2 + k_{\text{рем}} = 1$ .

**2.1.** Виконаний хронометраж роботи транспортної установки, у результаті якого зафіксовані  $n$  відрізків часу роботи від відмови до відмови й витрати часу на кожне відновлення (у годинах).

Визначити основні параметри, що характеризують надійність цього транспортного засобу шляхом обчислення значень:

- середнього часу напрацювання на одну відмову  $t_{відм}$  і на одне відновлення  $t_{рем}$  год;
- середньої частоти (інтенсивності) відмов  $\lambda$ , відм/год;
- імовірності безвідмовної роботи протягом заданого часу  $t$ , год;
- коефіцієнтів готовності й ремонтпридатності  $k_2$  і  $k_{рем}$ .

Значення  $t_{відм1}, t_{відм2}, \dots$  і  $t_{рем1}, t_{рем2}, \dots$  (у годинах) задаються викладачем.

### **Рішення.**

Визначається:

– середнє напрацювання на одну відмову й середній час одного відновлення в годинах

$$t_{відм} = \frac{\left(\sum_{i=1}^n t_{відм}\right)}{n} \text{ ГОД,} \quad t_{рем} = \frac{\left(\sum_{i=1}^n t_{рем}\right)}{n} \text{ ГОД,}$$

де  $n$  – кількість послідовних вимірів;

- середня частота відмов  $\lambda = \frac{1}{t_{відм}}$  відм/год;
- імовірність безвідмовної роботи протягом заданого часу  $t$   $P(t) = e^{-\lambda t}$ ;
- коефіцієнт готовності й ремонтпридатності

$$k_2 = \frac{t_{відм}}{(t_{відм} + t_{рем})}; \quad k_{рем} = \frac{t_{рем}}{(t_{рем} + t_{відм})}.$$

**2.2.** Бригада експлуатує й усуває відмови (ремонтує транспортну машину) протягом 3-х місяців. За цей час зафіксовано 10 зупинок на ремонт після відмови із сумарним часом відновлення 30 годин. Час планованих зупинок – 15 хв. за зміну. Робочий тиждень – п'ятиденка, у добу одна робоча зміна тривалістю 8 годин, 22 робочі дні на місяць. Визначити  $t_{відм}$ ,  $t_{рем}$ ,  $\lambda$ ,  $k_2$  і  $k_p$ , а також імовірність  $P(t)$  безвідмовної роботи машини за час  $t$ , рівний 8, 20, 40, 50 і 100 годинам. Побудувати графік  $P = f(t)$ .

### **Рішення.**

Кількість змінних годин за 3 місяці  $t_{зм} = 3 \times 22 \times 8 = 528$  год.

Час планованих зупинок машини за 3 місяці

$$t_{пл.зуп} = 15 \text{ хв} \times 3 \text{ міс.} \times 22 \text{ дні} = 0,25 \times 3 \times 22 = 16,5 \text{ год.}$$

Сумарний час роботи й відновлення без планованих зупинок

$$t_{рв} = t_{зм} - t_{пл.зуп} = 528 - 16,5 = 511,5 \text{ год.}$$

Середній час відновлення  $t_{рем} = \frac{30}{10} = 3$  год, тому що зупинок 10, а сумарний

час ремонту – 30 год.

Середній час напрацювання на відмову

$$t_{відм} = \frac{(t_{рв} - t_{рем})}{n} = \frac{(511,5 - 30)}{10} = \frac{481,5}{10} = 48,15 \text{ год.}$$

Частота відмов  $\lambda = \frac{1}{t_{відм}} = \frac{1}{48,15} = 0,021$  відм/год.

$$\text{Коефіцієнт готовності } k_2 = \frac{t_{\text{вiдм}}}{(t_{\text{вiдм}} + t_{\text{рем}})} = \frac{48,15}{(48,15+3)} = 0,94.$$

$$\text{Коефіцієнт ремонтпридатності } k_{\text{рем}} = \frac{t_{\text{рем}}}{(t_{\text{вiдм}} + t_{\text{рем}})} = \frac{3}{(48,15+3)} = 0,06.$$

Імовірність безвідмовної роботи за заданий час:  $t = 8$  год –  $P(8) = e^{-0.021 \times 8} = 0,845$ ;

$t = 20$  год –  $P(20) = e^{-0.021 \times 20} = 0,657$ ;  $t = 40$  год –  $P(40) = e^{-0.021 \times 40} = 0,432$ ;  $t = 50$  год –  $P(50) = e^{-0.021 \times 50} = 0,35$ ;  $t = 100$  год –  $P(100) = e^{-0.021 \times 100} = 0,122$ .

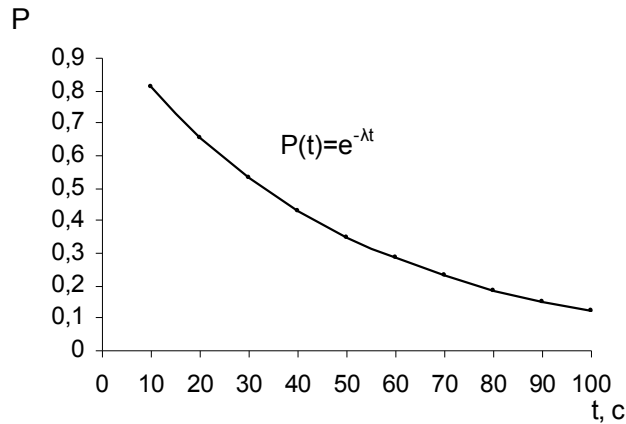


Рисунок. 2.1 – Графік до задачі 2.2

### Практичне заняття 3. Вантажопотік. Продуктивність. Коефіцієнт нерівномірності вантажопотоку

Вантажопотоки: безперервний нерівномірний або рівномірний; періодичний; одиночний (від одного джерела) або збіжний (від декількох джерел); зустрічний, попутний. Основна одиниця виміру вантажопотоку – продуктивність.

Продуктивність – кількість переміщеного вантажу за одиницю часу, вимірюється найчастіше в т/год, т/зм, рідше – у м<sup>3</sup>/год, локомотивний транспорт – іноді тонно-кілометри (ткм/зм).

Коефіцієнт нерівномірності вантажопотоку  $k$  – відношення  $Q_{\max} / Q_{\text{cp}}$  за машинний  $t_m$  або робочий час  $t_p^*$ .

Коефіцієнт машинного часу  $k_m = t_m / t_{zm}$  або робочого –  $k_p = t_p / t_{zm}$ , де  $t_{zm}$  – загальний час робочої зміни.

Види продуктивності. Використовується багато назв продуктивності, що мають своє окреме розуміння:

– миттєва  $Q_{\text{mt}} = \frac{dm}{dt}$ , т/год – тільки для безперервного потоку (засобів безперервного транспорту аналогічно миттєвій швидкості по спідометру автомобіля);

– середня  $Q_{\text{cp}} = \frac{\Delta m}{\Delta t_m}$ , т/год – за машинний час  $\Delta t_m$  (засоби безперервної дії) або за робочий  $\Delta t_p$  час (засоби періодичної дії). Тут  $\Delta m$  – кількість перевезеного вантажу, т;

– експлуатаційна  $Q_e$ , т/зм – змінна  $Q_{zm}$  за увесь час зміни або середня годинна за той же час  $Q_{e.\text{год}} = \frac{Q_e}{t_{zm}}$ , т/год. Тут  $t_{zm}$  – повний час зміни з урахуванням усіх випадків нульової продуктивності, у т.ч. й незалежних від роботи транспортних засобів;

– теоретична  $Q_T$ , т/год – максимальна для даного транспортного засобу, що обмежується його технічними можливостями;

– технічна  $Q_{\text{tex}}$ , т/год – максимальна при роботі машини в конкретних умовах, що обмежується й цими умовами;

– розрахункова  $Q_p$ , т/год – максимальна, прийнята для розрахунку транспортного засобу – розрахунковий вантажопотік  $Q_p = Q_T$  ;

– нормативна  $Q_{zm}^H$ , т/зм – розрахункова продуктивність із прийнятими при розрахунку (нормативними) значеннями коефіцієнтів нерівномірності вантажопотоку  $k^H$  і машинного часу  $k_m^H$ . Використовується при визначенні коефіцієнта резерву продуктивності;

\*  $t_m$  – для засобу безперервної, а  $t_p$  – періодичної дії, оскільки в останньому випадку робочий час включає й час зупинок, що входять до циклу (причіплювання, відчеплення та ін.).

– фактична змінна,  $Q_{зм}^{\phi}$  – продуктивність, що має місце в дійсності, часто відрізняється від розрахункової (нормативної), має, як правило, відмінні від нормативних (фактично сталі) значення  $k$  і  $k_m$ , а також свій ступінь використання теоретичної продуктивності засобу транспорту. Цей ступінь характеризується коефіцієнтом інтенсивності  $k_i = \frac{Q_{зм}^{\max}}{Q_{зм}^H}$ , де  $Q_{зм}^{\max}$ , т/год – максимальна, фактично досягнута в даних умовах;

– паспортна  $Q_n$ , т/год – гранична, зазначена в паспорті (характеристиці) машини.

Поняття продуктивності вантажопотоку хоча й має загальне визначення (кількість переміщеного вантажу за одиницю часу), однак для засобів безперервної й періодичної дії відрізняється за змістом.

Засоби безперервної дії здатні забезпечити дійсно безперервний або близький до нього потік (конвеєри, елеватори), для якого, наприклад, хвилинна, секундна й навіть миттєва продуктивність мають не тільки фізичний зміст, але й можуть бути застосовані під час рішення різних практичних задач. Тут коефіцієнт нерівномірності  $k = \frac{Q_{\max}}{Q_{cp}}$ , де  $Q_{\max}$  й  $Q_{cp}$  відповідно максимальна

(найчастіше за самий короткий проміжок часу – хвилина, секунда й навіть мить) і середня продуктивність за машинний час.

Продуктивність засобів періодичної дії  $Q_T$ , т/год – це середня продуктивність за час циклу  $T_{ц}$ , до якої, крім руху, входять всі відрізки часу, пов'язані з технологією роботи самого засобу транспорту: навантаження, розвантаження, рух, причеплення-відчеплення та ін. Поняття “миттєва продуктивність” тут не має розуміння. Швидкість висипання вантажу з ємності (ємностей) у кінцевому пункті транспортування не відображає продуктивності цього засобу транспорту, а лише впливає на неї так само, як і швидкість руху, швидкість причеплення й відчеплення та ін.

Нерівномірність роботи засобів періодичної дії, як і безперервної, зумовлена, по-перше, нерівномірністю реального потоку (нерівномірністю роботи навантажувального пункту) і, по-друге, відмінностями реального часу циклів від середнього (розрахункового) його значення.

Від величини нерівномірності вантажопотоку у всіх випадках залежить величина “непродуктивних” запасів потужності, міцності, витрати енергії засобами транспорту, тому що вони розраховані на максимальну продуктивність, а працюють із таким навантаженням порівняно рідко.

**3.1.** Для вивчення перерахованих вище визначень на графіках рис. 3.1 зображені теоретично можливі варіанти змін залежності кількості  $m$ , т/год перевезеного вантажу (а, в, д, ж, і) і відповідно продуктивності  $Q$  т/год (б, г, е, з, к) у часі. Останні – результат графічного диференціювання відповідних графіків  $m(t)$ .

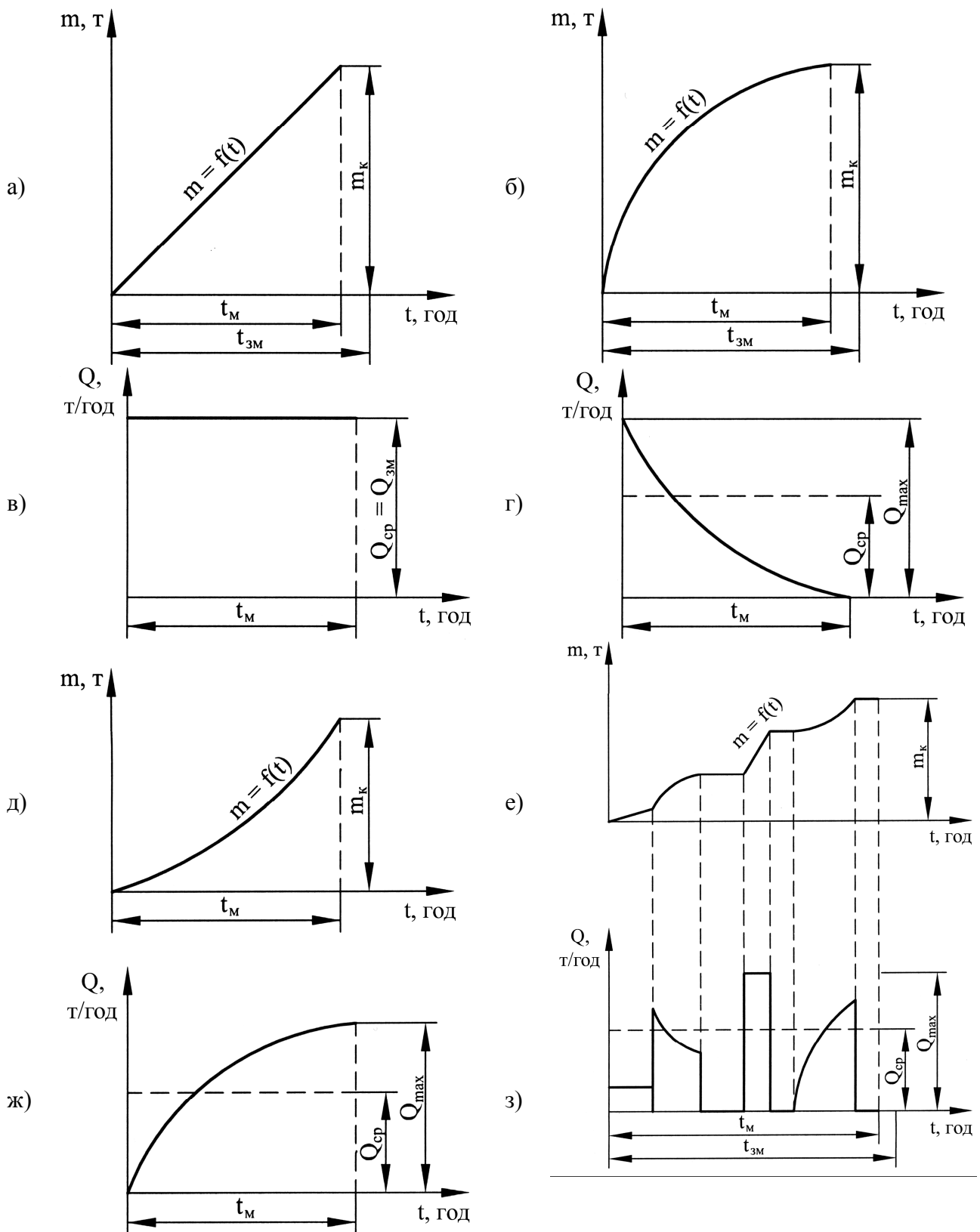


Рисунок 3.1, а – Графіки можливих варіантів накопичування вантажу в часі  $m(t)$  у кінцевому пункті транспортування засобами безперервної дії (а, б, д, е) і відповідні кожному з них графіки продуктивності  $Q(t)$  (в, г, ж, з)



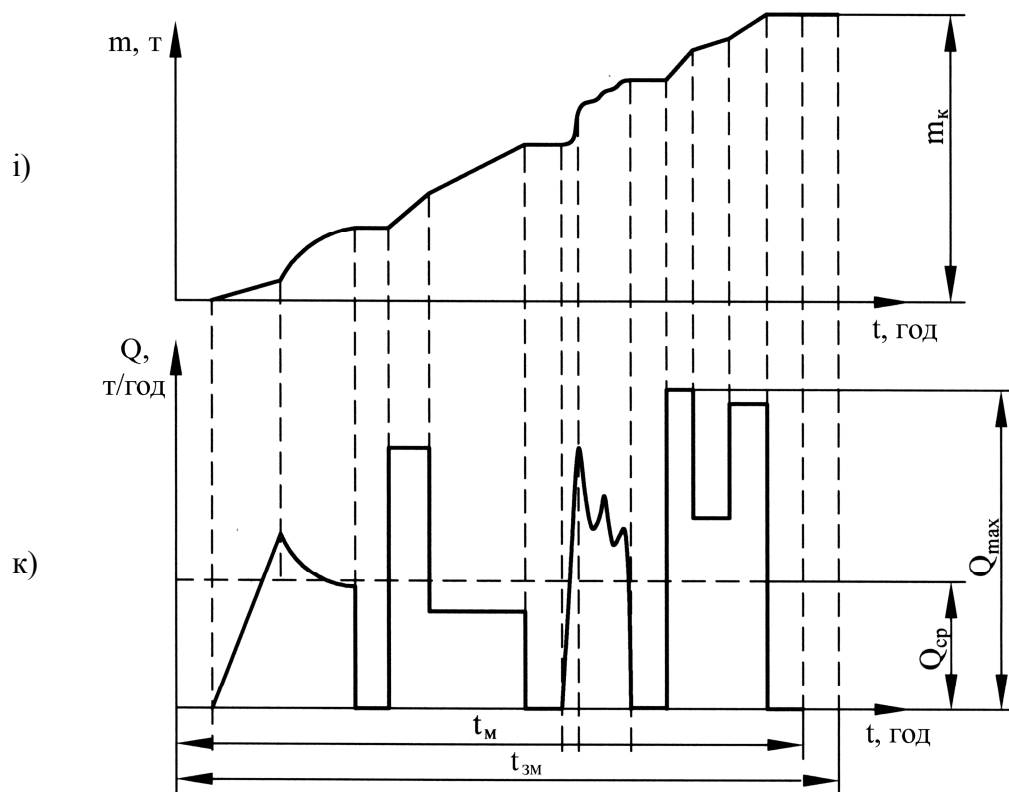


Рис. 3.1, б – Графіки можливих варіантів накопичування вантажу в часі  $m(t)$  у кінцевому пункті транспортування засобами безперервної дії (i) і відповідні кожному з них графіки продуктивності  $Q(t)$  (к)

**3.2.** Зобразити графіки надходження вантажу в кінцевий пункт транспортування  $m(t)$  і графіки продуктивності  $Q(t)$ , а також визначити  $Q_{max}$ ,  $Q_{cp}$  і  $k$  для наступних випадків:

а) безперервний нерівномірний потік, у якому за шестигодинну робочу зміну є 2 відрізки часу роботи (5 і 10 хвилин) з нульовою продуктивністю (машина працює вхолосту) і 3 відрізки часу з іншими зупинками (15, 20 і 10 хвилин не з вини транспорту). Кількість перевезеного вантажу за шестигодинну зміну  $Q_e = 600$  т/зм; фактична максимальна продуктивність  $Q_{max} = 220$  т/год.

б) та ж, що й в (а) змінна продуктивність із тими ж відрізками часу роботи з нульовою продуктивністю й часом зупинок, але потік безперервний рівномірний;

в) циклічний потік, вантажопідйомність вагонетки  $m_{вм} = 2000$  кг, час зміни – 7 годин. Визначити  $Q_{cp}$  т/зм, якщо вантаж протягом зміни транспортується составом у складі  $z = 25$  шт, час руху за цикл  $t_{рх} = 15$  хв, час маневрів, (завантаження й розвантаження) за цикл  $t_{ман} = 30$  хв.

На графіках показати максимальну, середню за робочий час і змінну (експлуатаційну) продуктивність, час зміни й машинний час.

**Рішення, а.**

Будуються графіки  $m(t)$  і  $Q(t)$  (рис. 3.4) із вказівкою відрізків часу з нульовою продуктивністю та з зупинками не з вини машини (на рис. 3.3 підсумовано наприкінці зміни).

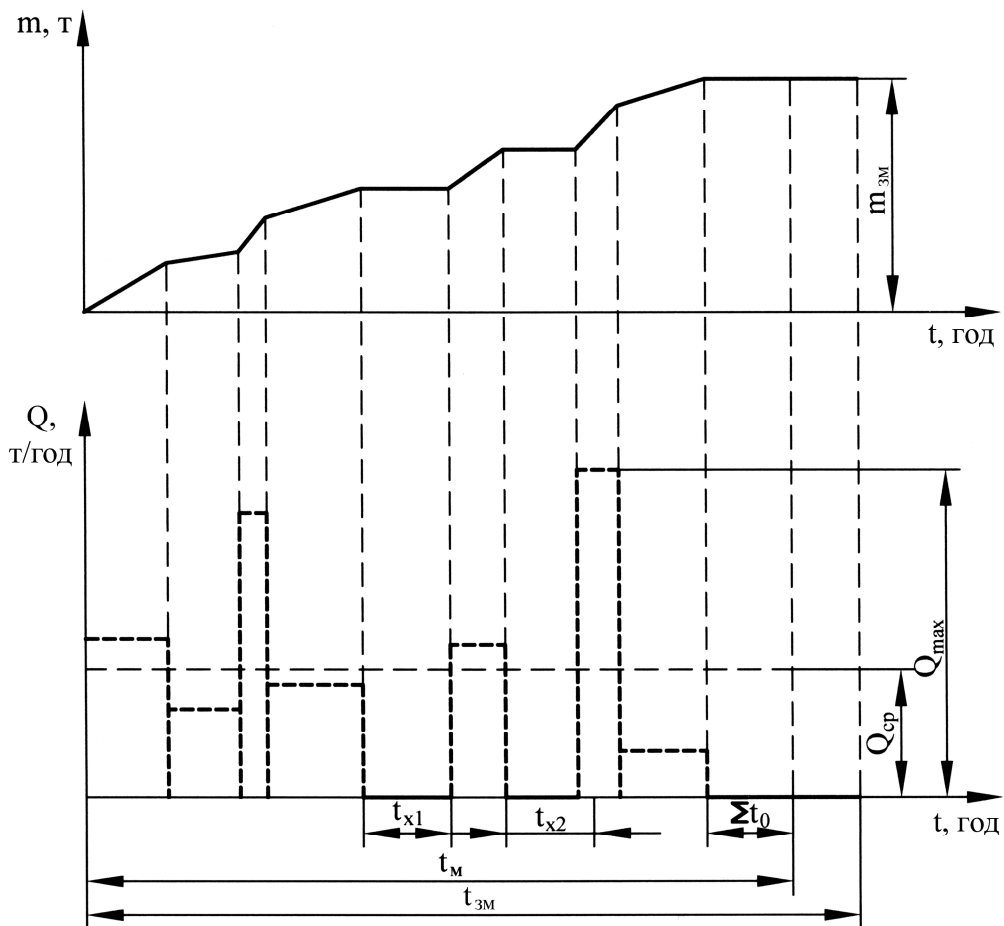


Рисунок 3.4 – Графіки  $m(t)$  і  $Q(t)$  до задачі 3.3, а:  $t_{x1}$  і  $t_{x2}$  – відрізки часу з нульовою продуктивністю, входять до часу  $t_p$ ;  $(t_{o1}+t_{o2}+t_{o3})$  – відрізки простоїв не з вини машини (підсумовані наприкінці осі  $t$ )

Визначається:

– час роботи машини (машинний час  $t_m$ )  $6 \text{ год} - 45 \text{ хв} = 5,15 \text{ год}$ ;

– середня продуктивність за машинний час  $Q_{cp} = \frac{600}{5,25} = 114 \text{ т/год}$ ;

– середня продуктивність за зміну  $Q_{cp}^{3M} = \frac{600}{6} = 100 \text{ т/год}$ ;

– коефіцієнт машинного часу  $k_m = \frac{t_m}{t_{3M}} = \frac{5,25}{6} = 0,875$ ;

– коефіцієнт нерівномірності вантажопотоку  $k = \frac{Q_{max}}{Q_{cp}^{3M}} = \frac{220}{114} = 1,9$ .

**Рішення, б.**

Цей варіант задачі відрізняється від 3.2, а тим, що потік рівномірний. Час роботи вхолосту віднесемо до часу зупинок за різними, не пов'язаним із транспортом причинами. Тоді час транспортування дорівнює:  $t_m = t_p - t_x$ , тобто робочому часу за винятком роботи вхолосту (рис. 3.5).

Загальний час зміни:  $t_{3M} = t_m + t_x + t_o$ , звідки:  $t_m = t_{3M} - t_x - t_o = 6 - \frac{1}{4} - \frac{3}{4} = 5$  год.

За цей час кількість вантажу, що транспортується рівномірно, дорівнює 600 т (за умовою).

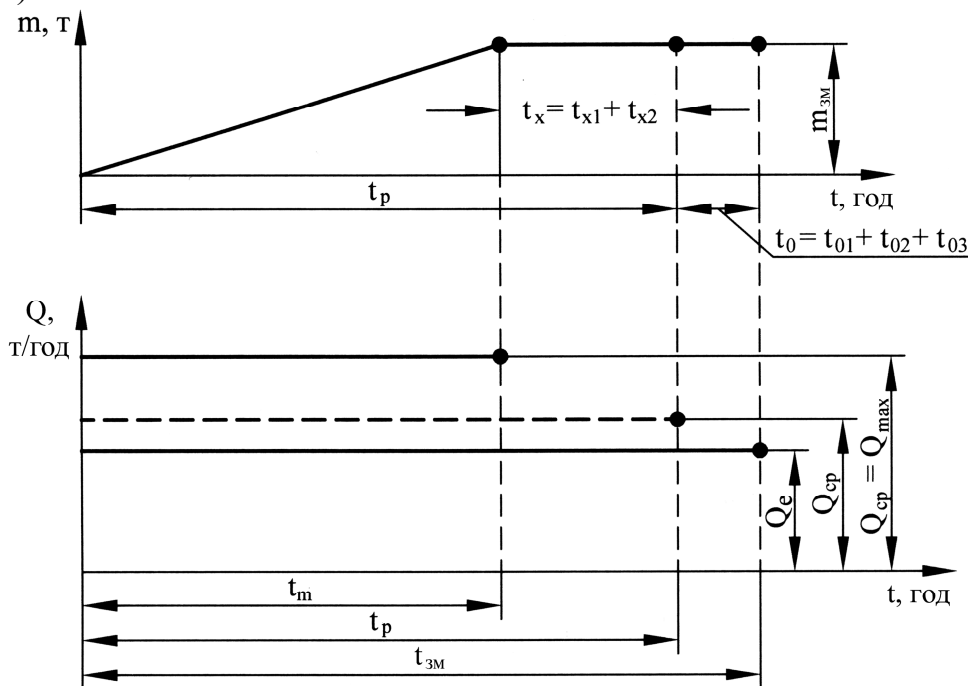


Рисунок 3.5 – Графіки  $m(t)$  і  $Q(t)$  до рішення задачі 3.3, б: ( $t_o$  – сумарний час нульової продуктивності;  $t_x$  – сумарний час роботи вхолосту перенесено по осі  $t$  вправо, у кінець графіків)

Визначається:

– середня (вона ж максимальна) продуктивність за час транспортування  $t_m$ :

$$Q'_{cp} = Q_{\max} = \frac{600}{t_m} = \frac{600}{5} = 120 \text{ т/год};$$

– коефіцієнт нерівномірності вантажопотоку за час  $t_m$   $k = 1$ ;

Якщо врахувати час роботи вхолосту до робочого (машинного) часу, то:

– середня продуктивність за машинний час  $Q_{cp} = \frac{600}{5,25} = 114 \text{ т/год}$ .

– коефіцієнт нерівномірності вантажопотоку за машинний час  $k = \frac{120}{114} = 1,05$ .

З порівняння значень  $k$  у варіантах а) і б) випливає, що у випадку згладжування нерівномірності максимальна й теоретична продуктивність засобів транспорту за варіантом б) може бути майже вдвічі менше, ніж у варіанті а). Останнє дозволяє значно зменшити витрати на транспортування, якщо витрати на згладжування будуть незначними.

### Рішення, в.

Графік надходження вантажу в кінцевий пункт транспортування й графік продуктивності для кожного варіанта будуть аналогічні рис. 2 (суцільна лінія).

Визначається:

– вантажопідйомність состава  $m_c = G_{см} \cdot z = 2 \cdot 25 = 50$  т;

– час одного рейсу (циклу)  $t_{\text{ц}} = t_{\text{рх}} + t_{\text{ман}} = 15 + 30 = 45$  хв;

– кількість повних циклів (рейсів)  $n_{\text{ц}} = \frac{t_{\text{зм}} \cdot 60}{t_{\text{ц}}} = \frac{420}{45} = 9$ ;

– час роботи транспортного засобу  $t_p = n_{\text{ц}} t_{\text{ц}} = 9 \cdot 45 = 405$  хв = 6,75 год;

– час інших операцій за зміну (залишок)  $t_{\text{ін.оп.}} = t_{\text{зм}} - t_p = 420 - 405 = 15$  хв;

– коефіцієнт робочого часу  $k_p = \frac{t_p}{t_{\text{зм}}} = \frac{405}{420} = 0,96$ ;

– змінна продуктивність за 9 рейсів (робочий час)  
 $Q_{\text{зм}} = m_c n_{\text{ц}} = 50 \cdot 9 = 450$  т/зм;

– середня годинна продуктивність за робочий час (вона ж і максимальна)

$$Q_{\text{сп}} = Q_{\text{max}} = \frac{Q_{\text{зм}}}{t_p} = \frac{450}{6,75} = 66,6 \text{ т/год};$$

– розрахунковий коефіцієнт нерівномірності вантажопотоку

$$k = \frac{Q_{\text{max}}}{Q_{\text{зм}}} = \frac{66,6}{66,6} = 1.$$

Результат рішення задачі 3.2, в показує, що безперервний нерівномірний вантажопотік засобів транспорту, що завантажує состави вагонеток, може й не вплинути на рівномірність потоку засобу періодичної дії при забезпеченні необхідного запасу порожняка.

**3.3.** Визначити всі види продуктивності (теоретичну, т/год, експлуатаційну, т/зм, середню, т/год, максимальну миттєву, т/год) транспортної установки безперервної дії, якщо теоретична площа струменя матеріалу  $S_{\text{м.см}} = 0,15 \text{ м}^2$ , швидкість руху  $v = 1,0 \text{ м/с}$ , щільність вантажу  $\rho = 1,1 \text{ т/м}^3$ , коефіцієнт заповнення теоретичного перерізу  $\psi = 0,9$ , коефіцієнт кута нахилу  $c = 0,7$ , час зміни  $t_{\text{зм}} = 7$  год, коефіцієнт машинного часу  $k_{\text{м}} = 0,7$ , коефіцієнт нерівномірності вантажопотоку  $k = 1,3$ .

### Рішення.

– Теоретична продуктивність конвеєра:

$$Q_T = 3600 \cdot S_{\text{м.см}} \cdot \psi \cdot \rho \cdot v \cdot c = 3600 \cdot 0,15 \cdot 0,9 \cdot 1,0 \cdot 1,1 \cdot 0,7 = 374,2 \text{ т/год};$$

– експлуатаційна продуктивність:  $Q_e = \frac{Q_T \cdot t_{\text{зм}} \cdot k_{\text{м}}}{k} = \frac{374,2 \cdot 7 \cdot 0,7}{1,3} = 1410,5 \text{ т/зм};$

– машинний час:  $t_{\text{м}} = t_{\text{зм}} \cdot k_{\text{м}} = 7 \cdot 0,7 = 4,9$  год;

– продуктивність за час зміни:  $Q_{\text{сп}}^{\text{зм}} = \frac{Q_e}{t_{\text{зм}}} = \frac{1410,5}{7} = 202 \text{ т/год};$

– максимальна миттєва продуктивність:  $Q_{\text{max}} = \frac{Q_e \cdot k}{t_{\text{м}}} = \frac{1410,5 \cdot 1,3}{4,9} = 375 \text{ т/год}.$

**3.4.** Визначити теоретичну продуктивність транспортної установки періодичної дії ( $Q_T$ , т/год), а також середню ( $Q_{cp}$ , т/год) за робочий час  $t_m = 4,5$  год і експлуатаційну ( $Q_e$ , т/зм) за час зміни  $t_{зм} = 6$  год, якщо кількість вагонів у составі  $z = 10$  шт., геометрична ємність вагонетки  $V = 3,3$  м<sup>3</sup>, довжина транспортування  $L = 1500$  м, технічна швидкість руху без вантажу  $v_x = 4$  м/с, робочого, з вантажем  $v_p = 3$  м/с, тривалість паузи за цикл  $\Theta = 900$  с, щільність вантажу  $\rho = 1,1$  т/м<sup>3</sup>, коефіцієнт заповнення  $\varphi = 0,8$ , коефіцієнт зменшення швидкості руху  $k_c = 0,9$ .

**Рішення.**

– Вантажопідйомність одного вагона:  $m = V \cdot \rho_{вуг} \cdot \varphi \cdot 1000 = 1000 \cdot 3,3 \cdot 1,1 \cdot 0,8 = 2904$  кг;

– час рейсу (циклу):  $T_p = \frac{L}{k_c \cdot v_x} + \frac{L}{k_c \cdot v_p} + \Theta = \frac{1500}{0,9 \cdot 4} + \frac{1500}{0,9 \cdot 3} + 900 = 1873$  с;

– теоретична продуктивність (вона ж і середня за робочий час):

$$Q_T = 3,6 \cdot z \cdot \frac{m}{T_p} = \frac{3,6 \cdot 10 \cdot 2904}{1873} = 56 \text{ т/год};$$

– експлуатаційна продуктивність:  $Q_e = 56 \cdot 4,5 = 252$  т/зм;

– середня продуктивність за час зміни:  $Q_{cp}^{зм} = \frac{252}{6} = 42$  т/год.

**3.5.** Визначити нормативну продуктивність  $Q_{зм}^н$  і резерв продуктивності  $r$ , указавши джерело резерву, якщо дано: теоретичну продуктивність транспортної машини  $Q_T = 300$  т/год, час зміни  $t_{зм} = 6$  год, коефіцієнти інтенсивності  $k_i = 0,8$ , коефіцієнт нерівномірності й машинного часу відповідно  $k = 1,5$ ,  $k_m = 0,6$ , їхні нормативні значення  $k^н = 1,3$  і  $k_m^н = 0,8$ .

**Рішення.**

– Коефіцієнт резерву:  $r = \frac{Q_{зм}^н}{Q_{зм}^ф}$  або

$$r = \frac{1}{k_s} \cdot \frac{k^i}{k} \cdot \frac{k_i^i}{k_i} = \frac{1}{0,8} \cdot \frac{1,5}{1,3} \cdot \frac{0,8}{0,6} = 1,25 \cdot 1,15 \cdot 1,33 = 1,92;$$

де  $Q_{зм}^ф$  – фактична продуктивність, т/зм,  $Q_{зм}^н$ , – нормативна, т/зм;

– максимальна досягнута (фактична) продуктивність:

$$Q_{зм}^{\max} = Q_T \cdot k_i = 300 \cdot 0,8 = 240 \text{ т/год};$$

– середня змінна продуктивність за машинний час:

$$Q_{cp.зм}^ф = \frac{Q_{зм}^{\max}}{k} = \frac{240}{1,5} = 160 \text{ т/год або } Q_{зм}^ф = Q_{cp.зм}^ф \cdot t_{зм} \cdot k_m = 160 \cdot 6 \cdot 0,6 = 576 \text{ т/зм};$$

– нормативна продуктивність:  $Q_{зм}^н = Q_{зм}^ф \cdot r = 576 \cdot 1,92 = 1066$  т/зм.

## Практичне заняття 4. Сила тяги для переміщення зосереджених і розподілених вантажів. Натяг гнучкого тягового органа

### Сила тяги для переміщення зосереджених вантажів

Зосереджений вантаж (наприклад, вагонетка) має розміри в напрямку трьох взаємоперпендикулярних осей (довжина, ширина, висота) одного порядку, у розрахунках масу його можна прийняти зосередженою в одній точці, а навантажені елементи його можуть сприймати як стискуючу, так і розтягуючу силу, .

При переміщенні вантажу вагою  $G_{\text{бп}}$  (рис. 4.1, а) ковзанням по горизонтальній площині з постійною швидкістю сила тяги  $F$  дорівнює силі тертя  $W$ , тобто добутку нормальної реакції  $N$  на коефіцієнт тертя ковзання  $f$ . При переміщенні вантажу будь-яким способом на колесах (рис. 4.1, б), на катках, по роликах – сила тяги  $F$  також дорівнює силі тертя  $W$ , що, як встановлено дослідями, може вважатися рівною

$$W = Nw = G_{\text{бп}} w ,$$

де  $w$  – коефіцієнт опору руху.

Формально  $w$  аналогічний  $f$ , тому, що він також дорівнює відношенню сили тертя до нормальної реакції, суть же цих коефіцієнтів різна.

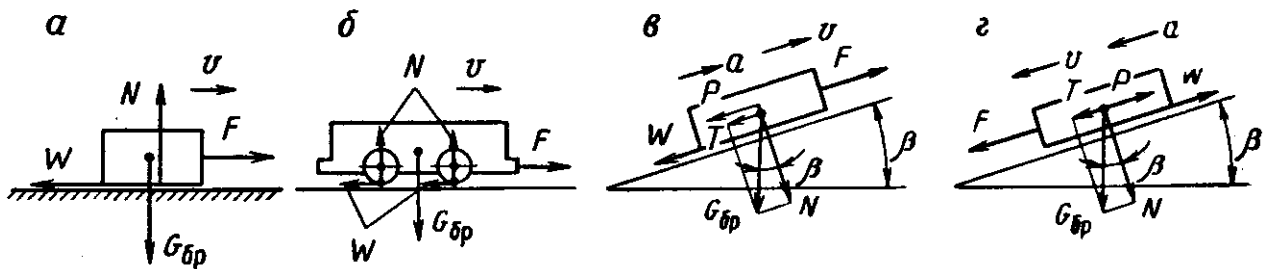


Рисунок 4.1 – До розрахунку сили тяги для переміщення зосереджених вантажів

Нехай вантаж довільним способом (на колесах, ковзанах і т.д.) переміщається по похилій площині. Дано  $m_{\text{бп}}$  – загальна маса вантажу (корисний вантаж і тара), кг;  $\beta$  – кут нахилу площини;  $a$  – прискорення,  $\text{м/с}^2$ ; напрямок руху (нагору чи вниз). Визначити  $F$  – силу тяги,  $N$ .

Нехай вантаж рухається нагору (рис. 4.1, в). На нього діють такі сили:  $F$ ,  $G_{\text{бп}}$ ,  $W$  і сила інерції  $P$ . Розкладемо вагу  $G_{\text{бп}}$  на складові – подовжню (що скочує)  $T$  і нормальну  $N$ :

$$T = G_{\text{бп}} \sin \beta ;$$

$$N = G_{\text{бп}} \cos \beta .$$

Сила тертя

$$W = Nw = wG_{\text{бп}} \cos \beta . \quad (4.1)$$

Сила інерції

$$P = m_{\text{op}} a \delta ,$$

де  $\delta$  – коефіцієнт інерції обертових мас (коліс і т.п.), який враховує те, що колеса рухаються не тільки поступально, але й обертаються, що збільшує інерційність системи. Рівняння рівноваги

$$F - T - W - P = 0 , \quad (4.2)$$

відкіля

$$F = W + T + P .$$

Якби вантаж рухався вниз (рис. 4.1, з), то

$$F = W - T + P .$$

Поєднуючи обидва випадки в один, одержимо

$$F = W \pm T + P .$$

Підставляючи значення величин і маючи на увазі, що  $G_{\text{op}} = m_{\text{op}} g$ , одержимо

$$F = m_{\text{op}} g \left( w \cos \beta \pm \sin \beta + \frac{\delta a}{g} \right) , \text{ Н} \quad (4.3)$$

**Сила тяги для переміщення розподілених вантажів**

Розподілений вантаж – це гнучкий тяговий орган (стрічка, ланцюг, канат) із приєднаними до нього вантажонесучими пристроями, що характеризується можливістю переміщення по кривій траєкторії, значною довжиною і тим, що в будь-якому перетині тяговий орган завжди розтягнутий.

Вирізаємо перетинами А-А і Б-Б (рис. 4.2, а) відрізок 1–2 тягового органа. Замінімо дії відрізнаних частин силами  $F_1$  і  $F_2$ , що назвемо натягами в перетинах (надалі для стислості «натягами»). Натяг відрізняється від напруги тим, що він має розмірність сили (Н), що прикладена до всього перетину, а напруга –  $(\text{Н}/\text{м}^2)$  – сила, що приходить на одиницю площі. Натяг діє «від перетину», оскільки тяговий орган завжди розтягнутий. Нехай крім сил  $F_1$  і  $F_2$  на відрізок діє одна зовнішня сила  $P$  (їх може бути скільки завгодно), яку розкладаємо на дві складові: тангенціальну  $P_t$  і нормальну  $P_n$ . За вісь відліку сил приймають траєкторію тягового органа (пунктир) з позитивним напрямком у бік руху (4.7). Рівняння рівноваги відрізка 1–2

$$F_2 - F_1 - P_t = 0 .$$

Замінімо  $F_1$  і  $F_2$  їх рівнодіючою  $F_{1-2}$ , (рис. 4.2, б) – силою тяги, що рівна різниці натягів по кінцях відрізка,

$$F_{1-2} = F_2 - F_1 = P_t . \quad (4.4)$$

У (4.4) підставляють абсолютну величину сил  $F_1$  і  $F_2$ , оскільки їхній знак уже ураховано.  $F_{1-2}$  може бути як позитивною, так і негативною.

Траєкторія руху тягового органа (траса) у загальному випадку являє собою комбінацію прямолінійних і криволінійних ділянок. Криволінійні ділянки, у свою чергу, поділяються на власне криволінійні ділянки і на поворотні пункти. Поворотний пункт – криволінійна ділянка порівняно невеликої довжини, на якій не враховують масу тягового органа.

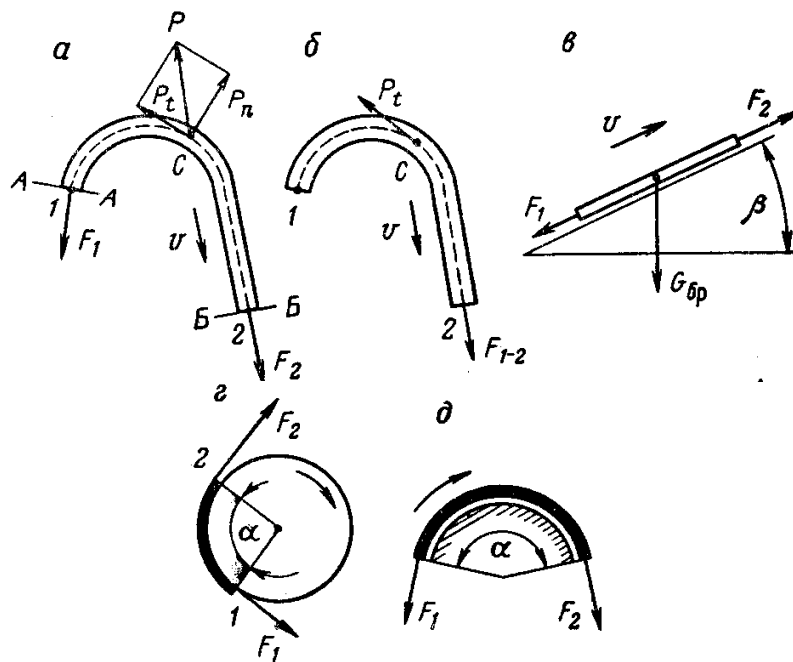


Рисунок 4.2 – До розрахунку сили тяги і натягу в перетинах гнучкого тягового органа

### Сила тяги для переміщення прямолінійного відрізка

Постановка задачі. Дано (рис. 4.2, в):  $l$  – довжина відрізка, м;  $q$  – лінійна маса корисного вантажу, кг/м;  $q_0$  – те ж для "мертвих" мас (тяговий орган із приєднаними до нього частинами), кг/м;  $w$  і  $w_0$  – коефіцієнти опору руху відповідно для корисних і мертвих мас;  $\beta$  – кут нахилу. Визначити  $F_{1-2} = F_2 - F_1$  – силу тяги для переміщення відрізка, Н.

Сила тяги в цьому випадку нічим не відрізняється від сили тяги для переміщення зосереджених вантажів (4.3)

$$F_{1-2} = l g q (w \cos \beta \pm \sin \beta) + l g q_0 (w_0 \cos \beta \pm \sin \beta), \text{ Н} \quad (4.5)$$

Якщо корисний і "мертвий" вантажі переміщуються як одне ціле (наприклад, у пластинчастому конвеєрі), то

$$F_{1-2} = l g q_{\text{бр}} (w \cos \beta \pm \sin \beta), \text{ Н}, \quad (4.6)$$

де  $q_{\text{бр}}$  – сумарна лінійна маса корисного і мертвого вантажів, кг/м,

$g$  – прискорення сили тяжіння,  $\text{м/с}^2$ .

### Сила тяги на поворотних пунктах

Постановка задачі. Дано (рис. 4.2, з, д);  $F_1$  – натяг до поворотного пункту;  $\alpha$  – кут повороту, рад. Визначити  $F_2$  – натяг після поворотного пункту і  $F_{1-2}$  – силу тяги.

З дослідів встановлено, що

$$F_2 = F_1 k_n, \quad (4.7)$$

де  $k_n$  – дослідний коефіцієнт опору поворотного пункту. Для нерухомої направляючої (рис. 4.2, д) за формулою Ейлера

$$k_n = e^{w'' \alpha}, \quad (4.8)$$

де  $w''$  – коефіцієнт опору переміщенню по криволінійній направляючій.



Для блоків з підшипниками кочення, що відхиляють (рис. 4.2, з) на  $\alpha = 180^\circ$ :  $k_n = 1,01 - 1,02$  для стрічок і канатів; для ланцюгів  $k_n = 1,1 - 1,15$ .

Опір блоків складається з тертя в підшипниках і опору вигину. Для ланцюгів останнє викликається тертям у шарнірах ланцюга, що виникає при відносному повороті ланок ланцюга при набіганні і збіганні з блоку. Для стрічок і канатів опір вигину (жорсткості) пояснюється тим, що енергія, яка йде на згинання при набіганні, не віддається цілком при випрямленні органа в точці збігання. Сила тяги поворотного пункту

$$F_{1-2} = F_2 - F_1 = F_1(k_n - 1), \quad (4.9).$$

тобто сила тяги пропорційна натягу  $F_1$  для будь-яких типів поворотних пунктів, що є характерною відмінністю від прямолінійних ділянок тягового органа.

**4.1.** Визначити силу тяги для переміщення зосередженого вантажу нагору (і вниз) по похилій площині з постійною швидкістю, якщо його маса становить  $m = 100$  кг, коефіцієнт опору руху  $w = 0,1$ , кут нахилу площини до горизонту  $\beta = 10^\circ$ .

**Рішення.**

Загальне рівняння руху зосередженого вантажу по похилій площині:

$$F = W \pm T + P_i,$$

де  $F$  – сила тяги, спрямована у бік руху;  $W = m \cdot g \cdot w \cdot \cos \beta$  – сила опору від тертя, спрямована завжди у бік, протилежний руху;  $T = m \cdot g \cdot \sin \beta$  – сила – поздовжня складова сили тяжіння (ваги), спрямована завжди донизу по траєкторії руху; плюс ставиться при русі нагору, мінус – при русі вниз;  $P_i = m \cdot a$  – сила інерції при прискоренні ( $a$  “+”) позитивна, спрямована проти руху (як і сила від тертя) і при вповільненні ( $a$  “-”) негативна, спрямована за напрямком руху.

При  $v = const, (a = 0)$  сила тяги вгору:

$$F' = m \cdot g \cdot (w \cdot \cos \beta + \sin \beta) = 100 \cdot 9,81 \cdot (0,1 \cdot \cos 10^\circ + \sin 10^\circ) = 263 \text{ Н.}$$

Сила тяги вниз:

$$F'' = m \cdot g \cdot (w \cdot \cos \beta - \sin \beta) = 100 \cdot 9,81 \cdot (0,1 \cdot \cos 10^\circ - \sin 10^\circ) = -71 \text{ Н.}$$

Мінус біля сили  $F$  указує на напрямок її, протилежний руху, тобто щоб зберігати постійну швидкість руху вниз, потрібна сила, рівна 71 Н, спрямована нагору.

**4.2.** Визначити силу гальмування (в канаті), необхідну для зупинки вантажу, що рухається вниз по похилій площині, через  $t_2 = 10$  с після її прикладення, якщо швидкість руху вантажу становила  $v_{n_0} = 3$  м/с,  $m = 200$  кг, коефіцієнт опору руху  $w = 0,1$ , кут нахилу площини  $\beta = 15^\circ$ .

**Рішення.**

Рівняння руху вантажу вниз при постійній швидкості:  $T - W - F_k = 0$ , звідки натяг каната  $F_k = T - W$ ; де поздовжня складова ваги

$$T = m \cdot g \cdot \sin \beta = 200 \cdot 9,81 \cdot 0,26 = 510 \text{ Н}; \quad \text{сила опору руху:}$$

$$W = m \cdot g \cdot w \cdot \cos \beta = 100 \cdot 9,81 \cdot 0,1 \cdot 0,966 = 190; \quad \text{сила інерції при вповільненні:}$$

$$P_i = m \cdot a = 200 \cdot 0,3 = 60 \text{ Н}, \quad \text{де } a = \frac{v_H}{t_T} = \frac{3}{10} = 0,3 \text{ м/с}^2 - \text{уповільнення.}$$

Натяг каната перед початком гальмування ( $P_i = 0$ ):  $F = T - W = 510 - 190 = 320 \text{ Н}$ ; натяг каната при гальмуванні:  $F = T + P_i - W = 320 + 60 = 380 \text{ Н}$ , тому що різниця в натягу каната дорівнює силі інерції  $P_i$ , тобто 60 Н.

**4.3.** Визначити силу тяги для переміщення відрізка гнучкого тягового органа по похилій площині нагору, а потім униз із постійною швидкістю, якщо лінійна маса корисного й мертвого вантажів відповідно становить  $q_1 = 100$  і  $q_2 = 50$  кг/м, довжина відрізка 2 м, коефіцієнт опору руху корисного вантажу  $w_1 = 0,1$ , мертвого  $w_2 = 0,15$ , кут нахилу площини  $\beta = 10^\circ$ .

**Рішення.**

Сила тяги для переміщення вниз:

$$F_1 = q_1 \cdot l \cdot g \cdot w_1 \cdot \cos \beta + q_2 \cdot l \cdot g \cdot w_2 \cdot \cos \beta - (q_1 + q_2) \cdot l \cdot g \cdot \sin \beta;$$

$$F_1 = 100 \cdot 2 \cdot 9,81 \cdot 0,1 \cdot 0,98 + 50 \cdot 2 \cdot 9,81 \cdot 0,15 \cdot 0,98 - 150 \cdot 2 \cdot 9,81 \cdot 0,17192,28 + 144,21 - 500,3 = -163,8 \text{ Н.}$$

Тут знак мінус указує на те, що сила  $F$  не є силою тяги вниз, а силою гальмування при русі вниз із постійною швидкістю.

Сила тяги для переміщення вгору:

$$F_2 = (q_1 + q_2) \cdot l \cdot g \cdot \sin \beta + l \cdot g \cdot \cos \beta \cdot (q_1 \cdot w_1 + q_2 \cdot w_2);$$

$$F_2 = 503,3 + 144,21 + 192,28 = 840 \text{ Н}.$$

**4.4.** Визначити силу тяги для переміщення гнучкого тягового органа на нерухомому поворотному пункті (барабані), якщо коефіцієнт опору руху на поверхні барабана  $w = 0,3$ , кут обхвату  $\alpha = 180^\circ$ , а натяг у точці 2 –  $F_2 = 1500$  Н. Як зміниться натяг у точці 1 у випадку, якщо барабан почне обертатися й для його обертання додасться 5% величини  $F_2$ ?

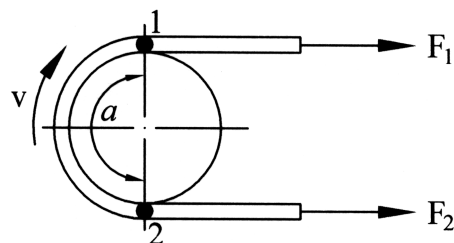


Рисунок 4.3 – до задачі 4.4

**Рішення.**

Із закону Ейлера про тертя гнучких тіл на нерухомому барабані:

$$\frac{F_1}{F_2} = e^{\omega \alpha}, \quad \text{звідки } F_1 = F_2 \cdot e^{\omega \alpha} = 1500 \cdot 2,56 = 3840 \text{ Н.}$$

Сила тяги тут:  $F'_T = F_1 - F_2 = 3840 - 1500 = 2340 \text{ Н.}$

На обертовому барабані:  $F_1 = 1,05 \cdot F_2 = 1,05 \cdot 1500 = 1575 \text{ Н}$ , а сила тяги тут:

$F_T'' = 75 \text{ Н}$ , тобто вона зменшиться на  $2340 - 75 = 2265 \text{ Н}$ , і натяг у точці 2 теж на  $3840 - 1575 = 2265 \text{ Н}$ .

**4.5.** Сила тяги при переміщенні вагонетки масою 3 т по горизонтальній колії з постійною швидкістю дорівнює  $F' = 300 \text{ Н}$ . Визначити силу тертя при переміщенні по горизонтальній колії й силу тяги на переміщення цієї вагонетки нагору по похилій площині (кут нахилу  $\beta = 30^\circ$ ) із прискоренням  $a = 0,04 \text{ м/с}^2$ . За рахунок коліс сила інерції збільшується на 10%. Накреслити (умовно) вагонетку на горизонтальній і похилій площинах і показати всі сили, що діють на вагонетку в обох випадках.

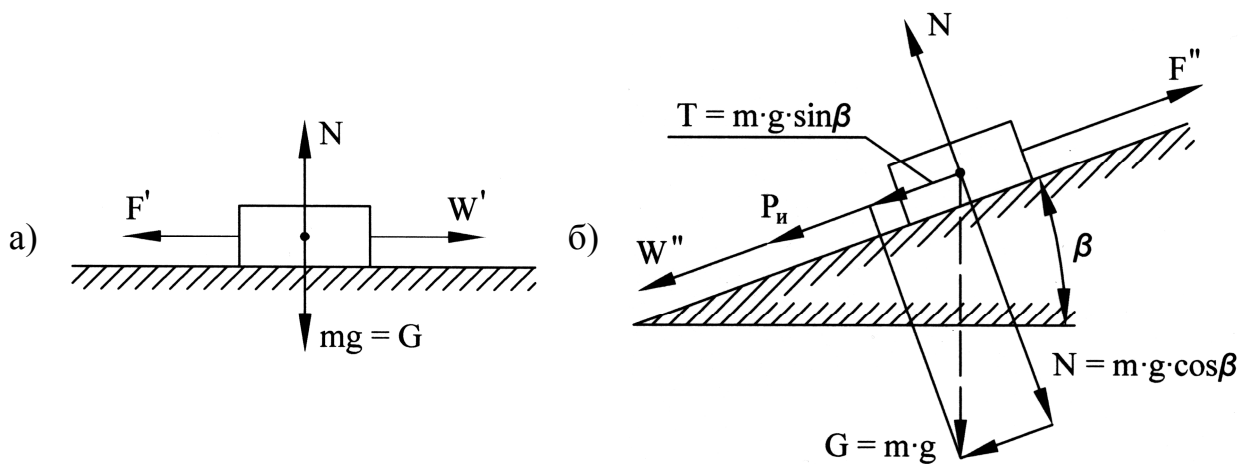


Рисунок 4.4 – до задачі 4.5

**Рішення.**

а) рівняння руху по горизонтальній площині з постійною швидкістю  $F' - W' = 0 \Rightarrow F' = W' = 300 \text{ Н}$  (рис. 4.5, а);  $W' = m \cdot g \cdot w$ , звідки  $w = \frac{300}{3000 \cdot 10} = 0,01$ ;

б) рівняння руху по похилій площині  $F'' - W'' - P_i - T = 0$ , (рис. 4.5, б)  
 $F'' = m \cdot g \cdot w \cdot \cos \beta + m \cdot 1,1 \cdot \dot{a} + m \cdot g \cdot \sin \beta = 3000 \cdot (10 \cdot 0,01 \cdot 0,87 + 1,1 \cdot 0,04 + 10 \cdot 0,5) = 15393 \text{ Н}$ .

**4.6.** Визначити довжину  $l$  відрізка розподіленого вантажу, що рухається нагору по прямолінійній похилій ділянці шляху з постійною швидкістю ( $a = 0$ ), якщо  $q = 100 \text{ кг/м}$ ,  $\beta = 15^\circ$ ,  $w = 0,1$ , сила тяги  $F = 20000 \text{ Н}$ .

**Рішення.**

Рівняння руху  $F = T + W = q \cdot l \cdot g \cdot (\sin \beta + w \cdot \cos \beta)$ ,  
 звідки  $l = \frac{20000}{100 \cdot 9,81 \cdot (0,26 + 0,1 \cdot 0,97)} = \frac{20000}{353} = 57 \text{ м}$ .

## Практичне заняття 5. Потужність двигуна

Потужністю називають роботу, виконану за одиницю часу, що є одним з основних параметрів двигунів. Слово потужність використовується й в інших випадках, але тоді воно має інше значення. Потужність електричних двигунів, як правило, вимірюють Ватами, кіловатами. Потужність пневматичних двигунів і двигунів внутрішнього згоряння (дизелі, карбюраторні та ін.) вимірюють, крім того, і “кінськими силами”. Потужність в 1 кінську силу дорівнює приблизно потужності 750 Ватів = 750 Нм/с,  $750 \text{ кгм}^2/\text{с}^3$ , а в 1 кВт (1000 Вт) – 1,36 кінської сили.

Однією з величин, що обмежують потужність електродвигунів, є їхнє нагрівання вище припустимої температури. За часом нагрівання двигуна до припустимої максимальної температури найчастіше розрізняють два режими – годинний і тривалий. Кожному з них відповідають граничні годинна й тривала потужності. У годинному режимі реалізується така потужність, при якій двигун нагрівається до припустимої температури за одну годину безперервної роботи, при подальшій роботі з таким навантаженням він перегріється й вийде з ладу. При тривалому режимі двигун реалізує таку максимальну потужність, при якій протягом тривалого часу (кілька годин) він нагріється не вище припустимої температури й далі нагріватися не буде. Незалежно від режиму охолодження двигуна може здійснюватися самовентиляцією або незалежно (наприклад, окремим вентилятором).

Для кожної машини потужність електричного двигуна розраховується й вибирається по нагріванню, тобто по потребі реалізувати необхідне навантаження й не перегріватися. Оскільки різні машини вимагають реалізації різної змінної в часі потужності, а отже, і навантаження, при розрахунках і виборі двигуна користуються таким поняттям, як навантажувальний режим роботи. Для транспортних машин найчастіше користуються в розрахунках двома режимами: перший – із тривалим постійним або таким, що мало змінюється, навантаженням, наприклад, конвеєри, елеватори, гідротранспортні установки та ін., а другий – із тривалим змінним (циклічним) навантаженням, наприклад, кінцеві канатні відкатки, електровози та ін.

Перший зазначений вище режим характеризується тим, що кількість тепла, яке виділяється, пропорційна тривалому постійному навантаженню – силі тяги, що і є розрахунковою величиною для розрахунку потужності.

У цьому режимі (характерний для конвеєрів) тягове зусилля  $F_{н-з} \cong \text{const}$ .

Тут потужність розраховується за формулою:

$$N = \frac{F_{н-з} \cdot v_{ном} \cdot k_{реж}}{1000\eta}, \text{кВт} \quad (\text{тяговий режим}) \quad (5.1)$$

$$N = \frac{|F_{н-з}| \cdot v_{ном} \cdot k_{реж} \cdot \eta}{1000}, \text{кВт} \quad (\text{гальмівний режим}) \quad (5.2)$$

де  $k_{реж}$  – коефіцієнт режиму 0,8-1,2.

Другий режим характерний тим, що навантаження постійно змінюється, тому у формулі розрахунку потужності для вибору двигуна використовують так звану еквівалентну або ефективну силу тяги, тобто таку постійну розрахункову силу тяги, що нагрівала б двигун так само, як його нагріває фактичний довготривалий змінний режим.

У цьому режимі обчислюється еквівалентна (ефективна) сила тяги за формулою (5.3), а потужність за формулою (5.4)

$$F_e = \sqrt{\frac{F_1^2 \cdot t_1 + F_2^2 \cdot t_2 + \dots + F_n^2 \cdot t_n}{t_1 + t_2 + \dots + t_n + c_1 \cdot \theta}}, \text{ Н}; \quad (5.3)$$

$$N = \frac{F_e \cdot v}{1000}, \text{ кВт}; \quad (5.4)$$

Тут  $F_e$  – еквівалентне тягове зусилля двигуна, Н;  $F_1, F_2, \dots, F_n$  – сили тяги, а  $t_1, t_2, \dots, t_n$  – час їх дії, с;  $v$  – швидкість на окружності виконавчого блоку, м/с;  $\theta$  – сумарна тривалість зупинок за цикл, с;  $c_1 = 0,25 - 0,35$  – коефіцієнт, що враховує погіршення охолодження двигуна із самовентиляцією при зупинці (для двигуна з незалежною вентиляцією  $c_1 = 1$ ).

**5.1.** Визначити номінальну потужність асинхронного двигуна для тривалого циклічного режиму роботи, якщо дано: навантажувальну діаграму; номінальну швидкість тягового органа –  $v_{ном}$ , м/с; коефіцієнт, що враховує умови охолодження двигуна –  $c_1 = 0,25 \div 0,35$ ; інтервали часу  $t_1, t_2, t_3, \theta$  (див. рис. 5.1).

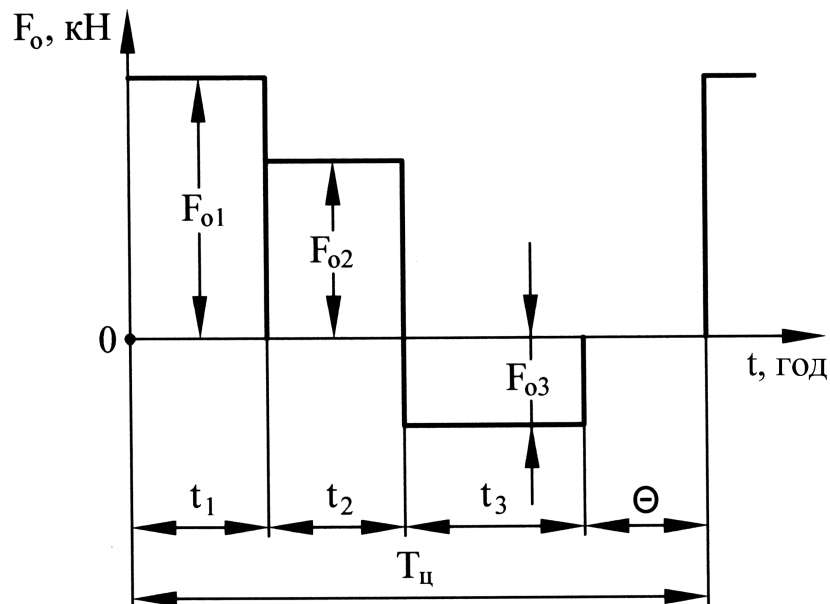


Рисунок 5.1 – Навантажувальна діаграма (до задачі 6.1)

**Рішення.**

– Потужність двигуна:  $N = \frac{F_e \cdot v}{1000}, \text{ кВт};$

– еквівалентна сила тяги:  $F_e = \sqrt{\frac{F_1^2 \cdot t_1 + F_2^2 \cdot t_2 + \dots + F_n^2 \cdot t_n}{t_1 + t_2 + \dots + t_n + c_1 \cdot \theta}}, \text{ Н}.$

За розрахованою потужністю  $N$  вибирають найближчий двигун за каталогом. Потужність установленого двигуна (обраного)  $N_{ном}$  називають його номінальною (установленою) потужністю. Обраний двигун перевіряють на перевантажувальну здатність за формулою:

$$\lambda_{розр} = 1,25 \frac{F_{макс}}{F_{ном}}$$

Тут  $\lambda_{розр}$  – розрахункове значення відношення максимального моменту до номінального (необхідна кратність моменту двигуна); 1,25 – коефіцієнт, що враховує зниження моменту двигуна через можливий спад напруги в мережі;  $F_{макс}$  – миттєве максимальне тягове зусилля двигуна по навантажувальній діаграмі;  $F_{ном}$  – номінальне тягове зусилля двигуна.

Щоб визначити, чи здатний двигун працювати з розрахунковим перевантаженням  $\lambda_{розр}$ , її порівнюють із наведеним у каталозі  $\lambda_k$ . Для цього з відомих уже значень  $F_1 \dots F_n$  вибирається (або визначається окремо) максимальне значення  $F_{макс}$  і номінальне значення сили тяги обчислюється за формулою:

$$F_{ном} = \frac{1000N_{ном}}{v_{ном}}, \text{ Н.}$$

Порівнюючи значення, отримані в результаті розрахунку, зі значеннями, зазначеними в паспорті двигуна, приймається рішення про правильність обраного двигуна.

Якщо  $\lambda_{розр}$  перевершує зазначену в характеристиці  $\lambda_k$  кратність моменту прийнятого двигуна, то обирається наступний по каталогу двигун більшої потужності або приймають заходи щодо зниження максимального тягового зусилля  $F_{макс}$ .

**5.2.** Визначити розрахункову потужність двигуна по нагріванню для приводу стаціонарної транспортної установки, якщо задано: номінальну швидкість тягового органа  $v = 2,5$  м/с, тягове зусилля й тривалість його дії становить відповідно  $F_1 = 44$  кН і  $t_1 = 500$  с,  $F_2 = 20$  кН і  $t_2 = 200$  с,  $F_3 = -100$  кН і  $t_3 = 100$  с, сумарна пауза  $\Theta = 150$  с, двигун має самовентиляцію.

**Рішення.**

– Потужність двигуна:  $N = \frac{F_e \cdot v}{1000}$ , кВт;

– еквівалентна сила тяги:  $F_e = \sqrt{\frac{F_1^2 \cdot t_1 + F_2^2 \cdot t_2 + \dots + F_n^2 \cdot t_n}{t_1 + t_2 + \dots + t_n + c_1 \cdot \Theta}}$ , Н;

$$F_e = \sqrt{\frac{44^2 \cdot 500 + 20^2 \cdot 200 + 100^2 \cdot 100}{500 + 200 + 100 + 0,35 \cdot 150}} = 49 \text{ кН};$$

$$N = \frac{49000 \cdot 2,5}{1000} = 122,5 \text{ кВт.}$$

**5.3.** Визначити потужність двигуна по нагріванню для приводу стаціонарної транспортної установки, якщо дано: номінальну швидкість руху тягового органа  $v = 1,6$  м/с, тягове зусилля й тривалість його дії відповідно  $F_1 = 40$  кН і  $t_1 = 300$  с,  $F_2 = 20$  кН і  $t_2 = 500$  с,  $F_3 = -10$  кН і  $t_3 = 400$  с, сумарний час пауз за цикл –  $\Theta = 250$  с.

**Рішення.**

– Еквівалентна сила тяги:  $F_e = \sqrt{\frac{F_1^2 \cdot t_1 + F_2^2 \cdot t_2 + \dots + F_n^2 \cdot t_n}{t_1 + t_2 + \dots + t_n + c_1 \cdot \Theta}}$ , кН;

$$F_e = \sqrt{\frac{40^2 \cdot 300 + 20^2 \cdot 500 + (-10)^2 \cdot 400}{300 + 500 + 400 + 0,35 \cdot 250}} = 23,5 \text{ кН};$$

– потужність двигуна:  $N = \frac{F_e \cdot v}{1000} = \frac{23500 \cdot 1,6}{1000} = 37,6$  кВт.

**5.4.** Визначити необхідну потужність приводу стрічкового конвеєра для доставки вантажу нагору, якщо дано: продуктивність –  $Q$ , т/год; довжина конвеєра –  $L$ , м; кут підйому –  $\beta$ , град.; лінійна маса ланцюга (вантажу) –  $q_0(q_{em})$  кг/м; швидкість руху ланцюга –  $v$ , м/с; коефіцієнт опору руху порожньої гілки –  $w_0$ , навантаженої –  $w$ ; ККД приводу –  $\eta$ .

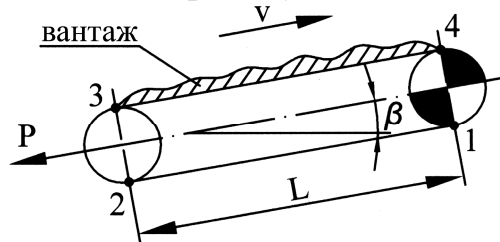


Рисунок 5.2 – до задачі 6.4

**Рішення.**

– Маса вантажу, що приходить на один метр довжини:  $q_{ep} = \frac{Q}{3,6 \cdot v}$ , кг/м;

– сили тяги на переміщення порожньої й навантаженої гілок конвеєра:

$$F_{2-1} = L q_0 g(w_0 \cos \beta - \sin \beta), \text{ Н};$$

$$F_{4-3} = L q_0 g(w_0 \cos \beta + \sin \beta) + L g q_{em}(w \cos \beta + \sin \beta), \text{ Н};$$

– сили тяги на переміщення обох гілок конвеєра (тягове зусилля приводу):

$$F_o = F_{n-3} = F_{2-1} + F_{4-3}, \text{ Н};$$

– потужність приводу:  $N_p = \frac{F_{n-3} \cdot v}{1000 \cdot \eta}$ , кВт.

Якщо розрахункова потужність більше потужності  $N_0$  одного зазначеного в характеристиці конвеєра двигуна, то розраховують необхідну кількість

двигунів:  $n = \frac{N_p}{N_0}$ , де  $N_0$  – паспортна потужність одного двигуна (з характеристики).

Отримане значення округляється до цілого й приймається відповідна кількість двигунів із сумарною потужністю  $N = \sum_1^n N_0$ .

## Практичне заняття 6. Еквівалентний діаметр для складної ділянки газопроводу

Складні газопроводи, це газопроводи які мають у своєму складі відводи, лупінги, паралельні нитки газопроводу з перемичками, газопроводи з різними діаметрами.

Застосовують два методи розрахунків складних газопроводів: спрощений (орієнтовний) і точний метод з урахуванням всіх параметрів режиму газопроводу, який здійснюють за допомогою спеціального програмного забезпечення. При проведенні спрощених розрахунків складний газопровід замінюють еквівалентним простим, до якого можливо застосувати формули гідравлічних розрахунків. Така заміна здійснюється методами еквівалентних діаметрів або еквівалентних довжин, відомими з курсу гідравліки. Згідно з цим методом складний газопровід зводиться до простого за допомогою коефіцієнтів витрат [5].

Для паралельних ниток газопроводу, які мають з'єднання (перемички) на початку і в кінці (отже, початкові і кінцеві тиски в них однакові), можемо записати рівняння витрат згідно за формулою:

$$\begin{aligned} q_1 &= A d_1^{2,6} \sqrt{p_1^2 - p_2^2}, \\ q_2 &= A d_2^{2,6} \sqrt{p_1^2 - p_2^2}, \\ &\dots\dots\dots \\ q_n &= A d_n^{2,6} \sqrt{p_1^2 - p_2^2}, \end{aligned} \quad (6.1)$$

де  $A = \frac{1,67 \cdot 10^{-6} E}{\sqrt{Z \Delta T L}}$ .

Підсумовуючи ліві і праві частини наведених рівнянь (6.1), одержимо вираз загальної витрати  $n$  ниток:

$$q = \left( A \sqrt{p_1^2 - p_2^2} \right) \cdot \sum_i^n d_i^{2,6}. \quad (6.2)$$

Замінімо паралельні нитки однією з еквівалентним діаметром  $d_e$  отримаємо:

$$q = A d_e^{2,6} \sqrt{p_1^2 - p_2^2}. \quad (6.3)$$

З рівнянь (6.2) та (6.3) випливає, що еквівалентний діаметр для  $n$  паралельних ниток визначається виразом:



$$d_e^{2,6} = \sum_i^n d_i^{2,6}. \quad (6.4)$$

Для газопроводу який складається з  $n$  послідовних ділянок різної довжини і різних діаметрів еквівалентний діаметр  $i$ -го відрізка можемо визначити за виразом:

$$p_i^2 - p_{i+1}^2 = \frac{q^2 l_i}{A_1^2 d_i^{5,2}}, \quad (6.5)$$

де  $A_1 = \frac{(1,67 \cdot 10^{-6} E)^2}{Z \Delta T}$ .

Розглядаючи ліві і праві частини рівнянь з урахуванням, що початковий тиск позначено  $p_1$  а кінцевий відповідно  $p_2$ , маємо:

$$p_1^2 - p_2^2 = \frac{q^2}{A_1^2} \sum_{i=1}^n \frac{l_i}{d_i^{5,2}}. \quad (6.6)$$

Застосовуючи поняття еквівалентного діаметру для газопроводу можливо записати:

$$p_1^2 - p_2^2 = \frac{q^2 L}{A_1^2 d_e^{5,2}}, \quad (6.7)$$

де  $L = \sum_{i=1}^n l_i$ .

Порівнюючи рівняння (6.6) і (6.7) одержимо:

$$\frac{L}{d_e^{5,2}} = \sum_{i=1}^n \frac{l_i}{d_i^{5,2}}. \quad (6.8)$$

Формули (6.4), (6.8) дають можливість звести складний газопровід з паралельними нитками, лупінгами, ділянками із різними діаметрами до простого тієї ж довжини, але з діаметром, який еквівалентний складному газопроводу.

**6.1.** Визначити еквівалентний діаметр ділянки складного газопроводу, що складається з паралельних ниток і лупінгів (рис. 6.1)

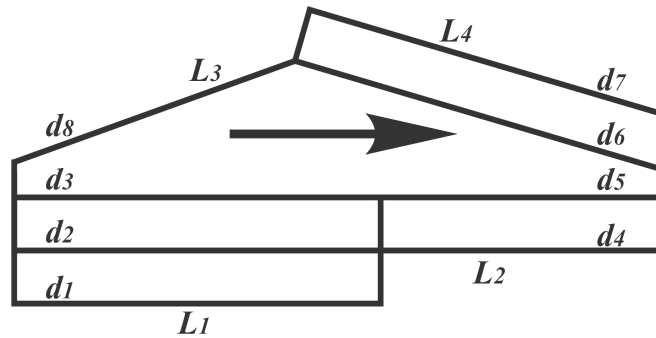


Рисунок 6.1 – До задачі 6.1.

**Рішення.**

Для визначення еквівалентного діаметра наведеної частини газопроводу поступово знаходимо еквівалентні діаметри окремих його ділянок.

На ділянці  $L_1$ : 
$$d_{e1}^{2,6} = \sum_{i=1}^3 d_i^{2,6} .$$

На ділянці  $L_2$ : 
$$d_{e2}^{2,6} = \sum_{i=4}^5 d_i^{2,6} .$$

На ділянці  $L_3$ : 
$$d_{e3} = d_8 .$$

На ділянці  $L_4$ : 
$$d_{e4}^{2,6} = \sum_{i=6}^7 d_i^{2,6} .$$

Знайдемо еквівалентний діаметр для послідовних ділянок  $L_1$  та  $L_2$ , які, відповідно, складаються з трьох і двох паралельних ниток трубопроводів застосовуючи вираз:

$$\frac{L}{d_{eI}^{5,2}} = \frac{L_1}{d_{e1}^{5,2}} + \frac{L_2}{d_{e2}^{5,2}} ,$$

де  $L = L_1 + L_2 = L_3 + L_4$  – загальна довжина складної ділянки газопроводу.

Для ділянок  $L_3$  та  $L_4$ , застосовуючи вираз:

$$\frac{L}{d_{eII}^{5,2}} = \frac{L_3}{d_{e3}^{5,2}} + \frac{L_4}{d_{e4}^{5,2}} .$$

Остаточно еквівалентний діаметр складної ділянки газопроводу за умови, що  $L = L_1 + L_2 = L_3 + L_4$ , визначається виразом :

$$d_e^{2,6} = d_{eI}^{2,6} + d_{eII}^{2,6} .$$

## Додаток А. Основні визначення

$a_{max}$ ,  $a_{min}$ ,  $a_{хар}$ ,  $a_{ср}$  – максимальний, мінімальний, характерний, середній розміри куска, мм;

$B$  – ширина стрічки, мм, м;

$B_{min}$  – мінімальна ширина стрічки, мм;

$\rho_{вл}$ ,  $\rho_c$ ,  $\rho$ ,  $\rho_{ц}$ , – щільність вологого, сухого, насипного вантажу й гірської маси в цілику (масиві);

$W$  – відносна вологість насипного вантажу (безрозмірна величина або помножена на 100 – в %);

$\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$  – кути нахилу, град., рад.;

$L$ ,  $l$  – довжина, м;

$S_{ж}$ ,  $S_{m.вт}$ ,  $S_{вт}$  – площа поперечного перерізу жолоба (лотка), теоретичний (максимальний) переріз вантажу, фактичний переріз вантажу, м<sup>2</sup>. Звичайно  $S_{ж} = S_{m.вт}$ .

$\psi$  – коефіцієнт заповнення поперечного перерізу вантажем;

$q$ ,  $q_v$ ,  $q_{вл}$ ,  $q_{вт}$ ,  $q_{лц}$ ,  $q_p$  – лінійна маса вантажу, води у вантажі на стрічці, вологого вантажу, сухого вантажу, стрічки (ланцюга), обертальних частин підтримуючих роликоопор;

$v$  – швидкість руху, м/с;

$k_p$  – коефіцієнт розпушення;

$m$  – маса, кг;

$V$  – обсяг, м<sup>3</sup>;

$T_{відм}$ ,  $t_{рем}$  – середній час напрацювання на відмову й середній час одного відновлення (ремонт), год;

$\lambda$  – частота (інтенсивність) відмов однієї машини, елемента ланцюга, відм/год, відм/год;

$\lambda_{лц}$  – частота (інтенсивність) відмов усього послідовно працюючого ланцюга машин (системи), відм/год;

$k_c$ , і  $k_{рем}$  – коефіцієнт готовності й ремонтпридатності;

$P(t)$  – імовірність безвідмовної роботи протягом заданого часу  $t$ ;

$Q$ ,  $Q_{мт}$ ,  $Q_{ср}$ ,  $Q_e$ ,  $Q_m$ ,  $Q_{тех}$ ,  $Q_p$ ,  $Q_{зм}^н$ ,  $Q_{зм}^ф$  – продуктивність – миттєва, т/год, середня, т/год, експлуатаційна, т/зм, теоретична, т/год, технічна, т/год, розрахункова, т/год, нормативна й фактична змінна, т/зм;

$t_m$ ,  $t_p$ ,  $t_{зм}$  – машинний (для засобів безперервної дії) і робочий (для засобів періодичної дії) час, час зміни;

$k_p$ ,  $k_m$  – коефіцієнт робочого, машинного часу;

$k$  – коефіцієнт нерівномірності вантажопотоку;

$k^n$ ,  $k_m^n$  – розрахункові (нормативні) значення коефіцієнтів нерівномірності вантажопотоку й машинного часу;

$k_i$  – коефіцієнт інтенсивності використання обладнання;

$r$  – резерв продуктивності;

$T_p$ ,  $T_{ц}$  – час рейса (циклу), с;

$\Theta$  – час пауз, а також допоміжних (маневрових) операцій у початковому й кінцевому пунктах транспортування;

$z$  – кількість вагонеток у составі, шт.;

$k_{ш}$  – коефіцієнт зменшення розрахункової швидкості руху (розгони, гальмування, інші уповільнення швидкості за рейс);

$a$  – прискорення руху вантажу, м/с<sup>2</sup>;

$F$  – сила натягу гнучкого тягового органа, Н;

$F_o$  – тягове зусилля приводу, Н;

$F_{2-1}, F_{4-3}$  – сила тяги ділянок гнучкого тягового органа 1-2, 3-4, Н;

$f$  – коефіцієнт тертя;

$N$  – сила притиснення тіл тертя (нормальна реакція опори), Н;

$T$  – поздовжня, паралельна площині руху, складова сили ваги, Н;

$P_i$  – сила інерції; її напрямок визначається знаком прискорення (прискорений рух  $+a$ , уповільнений  $-a$ ), Н;

$W$  – сила опору руху від тертя;

$w$  – коефіцієнт опору руху. У розрахунках електровозної відкатки так само позначається питомий опір руху, Н/кн – величина в 1000 разів більше коефіцієнта;

$F_{зч}, F_{н.р.}$  – мінімальний натяг по зчепленню й повсюдному розтягу гнучкого тягового органа, Н;

$M$  – момент сили, Нм;

$\Psi$  – коефіцієнт зчеплення коліс із дорогою;

$P, P_{зч}, P_T$  – загальна, зчіпна й гальмова маса ( $\tau$ ) або вага (Н) локомотива;

$i, i_p, i_{ср}$  – ухил, керівний і середній ухили;

$\rho_{кан}$  – лінійна маса каната, кг/м;

$I, U$  – сила (А) і напруга (В) електричного струму;

$\sigma_{тмч}$  – тимчасовий опір матеріалу на розрив, Н/мм<sup>2</sup>, Н/м<sup>2</sup>.

### Утворення кратних і часткових одиниць

Кратність	Найменування приставки	Скорочені позначення
$10^{12}$	<i>тера</i>	Т
$10^9$	<i>гіга</i>	Г
$10^6$	<i>мега</i>	М
$10^3$	<i>кіло</i>	к
$10^2$	<i>гекто</i>	г
$10^1$	<i>дека</i>	да
Дольність		
$10^{-1}$	<i>деци</i>	д
$10^{-2}$	<i>санти</i>	с
$10^{-3}$	<i>мілі</i>	м
$10^{-6}$	<i>мікро</i>	мк
$10^{-9}$	<i>нано</i>	н
$10^{-12}$	<i>піко</i>	п

### Співвідношення між одиницями роботи та енергії

Одиниці	Дж	ерг	кал	ккал	кВт·год	к.с.год.
1 Дж	1	$10^7$	0,239	$0,239 \cdot 10^{-3}$	$0,278 \cdot 10^{-6}$	$0,378 \cdot 10^{-6}$
1 ерг	$10^{-7}$	1	$0,239 \cdot 10^{-7}$	$0,239 \cdot 10^{-10}$	$0,278 \cdot 10^{-13}$	$0,378 \cdot 10^{-13}$
1 кал	4,2	$4,2 \cdot 10^7$	1	$10^{-3}$	$1,163 \cdot 10^{-6}$	$1,581 \cdot 10^{-6}$
1 ккал	$4,2 \cdot 10^3$	$4,2 \cdot 10^{10}$	$10^3$	1	$1,163 \cdot 10^{-3}$	$1,581 \cdot 10^{-3}$
1 кВт·год	$3,6 \cdot 10^6$	$3,6 \cdot 10^{13}$	$859,8 \cdot 10^3$	859,8	1	1,36
1 к.с.год.	$2,65 \cdot 10^6$	$2,65 \cdot 10^{13}$	$632,4 \cdot 10^3$	632,4	0,7355	1

### Співвідношення між одиницями потужності

Одиниці	Вт	кВт	к.с.	ккал/год	кал/год	ерг/с
1 Вт	1	$10^{-3}$	$1,36 \cdot 10^{-3}$	0,86	0,239	$10^7$
1 кВт	$10^3$	1	1,36	$0,86 \cdot 10^3$	$0,239 \cdot 10^3$	$10^{10}$
1 к.с.	735,5	$735,5 \cdot 10^{-3}$	1	632,4	175,7	$735,5 \cdot 10^7$
1 ккал/год	1,163	$1,163 \cdot 10^{-3}$	$1,58 \cdot 10^{-3}$	1	0,2778	$1,163 \cdot 10^7$
1 кал/год	4,2	$4,2 \cdot 10^{-3}$	$5,69 \cdot 10^{-3}$	3,6	1	$4,2 \cdot 10^7$
1 ерг/с	$10^{-7}$	$10^{-10}$	$1,36 \cdot 10^{-10}$	$0,86 \cdot 10^{-7}$	$0,239 \cdot 10^{-7}$	1

### Основні фізичні величини та їх розмірності

Найменування величини	Позначення	Формула	Розмірність і одиниця виміру
Маса	$m$		кг – кілограм
Час	$t$		с – секунда
Відстань (довжина)	$L$		м – метр
Швидкість	$v$	$v = \frac{L}{t}$	м/с – метр за секунду
Прискорення	$a$	$a = \frac{v}{t} = \frac{L}{t^2}$	м/с <sup>2</sup> – метр за секунду в квадраті
Сила	$F$	$F = ma$	Н, кг·м/с <sup>2</sup> – Ньютон, кілограм на метр за секунду в квадраті
Енергія, робота	$E$ $A$	$A; E = F \cdot L =$ $= m \cdot a \cdot L = m \cdot a \cdot v \cdot t$	Дж, кг·м <sup>2</sup> /с <sup>2</sup> – Джоуль, кілограм на метр у квадраті за секунду в квадраті, Ват-секунда
Тепло	$Q$		калорія = 4,2 Дж
Потужність	$N, P$	$N = F \cdot v$	Вт, кВт, кг·м <sup>2</sup> /с <sup>3</sup> – Ват, кілоВат, кілограм на метр у квадраті за секунду в кубі “Кінська сила” (0,735кВт)

### Характеристики вантажів, що транспортуються

Матеріал	Крупність, мм	Насипна щільність, т/м <sup>3</sup>	Граничний кут нахилу конвеєра, град.	Розрахунковий кут укосу в русі, град.
Антрацит рядовий	250-0	0,9-1,0	18	15
сортований	20-0	0,8-0,9	17-18	15
дрібний	10-0	0,75-0,8	17	15
Брикети буровугільні	250-100	0,75-0,85	16-17	15
Розкриті породи (м'які, із глинистими включеннями, вологі)	-	1,6-1,7	22	20
Вапняк	40-0	1,4-1,5	20	20
	3-0	1,3	22	20
Кокс великий	40	0,5-0,6	18	15
середній	40-30	0,4-0,5	18	15
дрібний	3-0	0,4	20	15
Руда залізна (гематит)				
велика	350-0	2,8-3,6	18-20	20
середня	75-0	2,4	20	20
дрібна	10-0	2,0	20-22	20
Руда залізна (магнетит)				
велика	350-0	2,0-2,8	18-20	20
середня	75-0	1,8-2,0	20	20
дрібна	10-0	1,6-1,8	20-22	20
Руда залізна (бурий залізняк)				
велика	350-0	1,6-2,0	20-22	20
середня	75-0	1,4-1,6	20-22	20
дрібна	10-0	1,2-1,4	22	20
Руда марганцева				
рядова	400-0	1,2-1,6	15-17	20
Сланець	50-0	1,4-1,6	18	15
Вугілля буре рядовий	250-0	0,65-6,75	18	15
Вугілля кам'яне				
рядове	150-0	0,7-0,9	18	15
велике	250-0	0,8-1,0	18	15
дрібне	3-0	0,6-0,8	20	15
Вугільний пил	1-0	1,0-1,3	15-16	15

## Додаток Б. Індивідуальні завдання

### Задача 1.1. Гранулометричний склад насипних вантажів

Кожному студенту в табл. 1.1 (один рядок) наведені вихідні дані – цифри у відповідних стовпцях, а також завдання (питання), яке необхідно вирішити.

Для рішення задачі **необхідно знати**: визначення “гранулометричний склад насипного вантажу”; поняття – “розмір куска” і спосіб його визначення; за якою ознакою вантажі діляться на рядові й сортовані;

– поняття – “характерний розмір куска” для рядових вантажів і “середній розмір куска” для сортованих вантажів;

– які мінімальні розміри ширини стрічки допускаються залежно від розміру куска (характерного або середнього).

Таблиця 1.1

Вихідні дані й завдання (питання)

№ задачі	Задані величини і що необхідно визначити								
	$a_{max}$ , мм	$a_{min}$ , мм	$a_{cp}$ чи $a_{хар}$ , (a) мм	Маса проби всього $m_{пр}$ , кг	Маса кусків від $a_{max}$ до $0,8a_{max}$ , кг	Мінімальна ширина стрічки конвеєра, мм	Відношення $a_{max}/a_{min}$	% маси кусків від $a_{max}$ до $0,8a_{max}$	Примітка
1	200	50	?	100	20	?	?	?	
2	100	20	?	100	9	?	?	?	
3	?	30	?	150	20	?	5	?	
4	210	?	?	200	15	?	3	?	
5	?	50	?	?	25	?	4	10	
6	150	40	?	150	10	?	?	?	
7	170	40	?	150	10	?	?	?	
8	150	100	?	150	30	?	?	?	
9	200	100	?	200	40	?	?	?	
10	?	20	?	100	20	?	5	?	
11	150	?	?	200	50	?	3	?	
12	?	100	?	?	20	?	4	12	
13	200	40	?	125	20	?	?	?	
14	200	50	?	200	100	?	?	?	
15	200	10	?	100	40	?	?	?	
16	150	25	?	150	40	?	?	?	
17	?	40	?	200	55	?	4	?	
18	170	?	?	250	50	?	2	?	
19	200	40	?	150	40	?	?	?	
20	300	50	?	200	40	?	?	?	
21	?	40	?	180	30	?	4	?	
22	200	?	?	240	40	?	3	?	
23	?	40	?	?	30	?	4	15	
24	170	40	?	180	40	?	?	?	
25	150	30	?	170	30	?	?	?	
26	200	10	?	200	50	?	?	?	
27	?	40	?	150	30	?	3	?	
28	250	?	?	150	40	?	4	15	
29	?	120	?	?	30	?	5	14	
30	180	50	?	110	30	?	?	?	
31	250	10	?	110	40	?	?	?	

**Примітки:**

1. Завдання – це рядок під тим же номером, що й номер студента за списком у журналі.

2. Студенти будь-якої групи у своїх рядках завдання в стовпці 1 ставлять подвійний номер, наприклад 1-6; 1-7 і т.д., тобто перша цифра – номер групи, друга номер за списком. Цей один рядок переписується в листок, де буде рішення. Останній здається викладачеві на кожному занятті за попереднє заняття.

3. Студенти другої й наступних груп нумеруються аналогічно, але в *другому стовпці завдання до заданої цифри  $a_{max}$  додають подвоєний номер групи, наприклад: стовпець 1, 2-6 – це друга група, шосте завдання; стовпець другий –  $100 + 2 \times 2 = 104$  або 2-14 і  $200 + 28 = 228$ .*

### Задача 1.2 Щільність і вологість насипних вантажів

Кожному студенту в табл. 1.2 (один рядок) наведені вихідні дані – цифри у відповідних стовпцях, а також завдання (питання), яке необхідно вирішити.

Для рішення задачі необхідно знати:

- визначення щільностей: щільність насипна й у цілику, гірської породи й суміші порід – гірської маси;
- визначення: коефіцієнт розпушення, відносна вологість, маса, вага.

Таблиця 1.2

Вихідні дані й завдання (питання)

№ задачі	Задані величини і що необхідно визначити									
	Об'єм породи в насипці $V$ , м <sup>3</sup>	Щільність у цілику $\rho_{ц}$ , т/м <sup>3</sup>	Щільність сухого в насипці $\rho$ , т/м <sup>3</sup>	Коефіцієнт розпушення $k_p$	Відносна вологість $W$	Маса води в пробі $m_в$ , кг	Маса сухого в пробі $m_с$ , кг	Маса вологої проби $m_{вб}$ , кг	Щільність вологої проби $\rho_{вб}$ , т/м <sup>3</sup>	Примітка
1	?	2,5	1,5	?	?	100	1200	?	?	
2	1,7	?	1,6	1,4	?	200	?	?	?	
3	1,5	?	?	1,5	?	150	1500	?	?	
4	2,0	3,0	?	?	0,1	?	2000	?	?	
5	2,0	1,8	?	?	?	?	1700	1900	?	
6	2,2	1,5	?	?	?	?	2100	2500	?	
7	1,0	2,6	?	2	?	?	?	1500	?	
8	2,0	?	1,0	1,5	0,08	?	?	?	?	
9	?	3,0	1,7	?	?	150	2000	?	?	
10	1,9	?	1,7	1,5	?	250	?	?	?	
11	1,7	?	?	1,7	?	200	2000	?	?	
12	1,8	2,5	?	?	0,15	?	2100	?	?	
13	?	2,2	1,1	?	?	150	1500	?	?	
14	1,5	?	1,3	1,5	?	200	?	?	?	
15	1,7	?	?	1,4	?	200	1700	?	?	
16	2,0	4,0	?	?	0,08	?	2000	?	?	
17	1,8	1,5	?	?	?	?	1800	2100	?	
18	1,5	2,0	?	2	?	?	?	1800	?	
19	1,8	?	1,1	1,4	0,06	?	?	?	?	
20	1,9	?	1,5	1,3	?	150	?	?	?	
21	1,9	2,0	?	?	0,05	?	2100	?	?	
22	?	2,3	1,2	?	?	180	1800	?	?	
23	1,4	?	1,5	1,4	?	180	?	?	?	
24	1,6	?	1,0	1,5	?	150	1500	?	?	
25	1,8	3	?	?	0,08	?	2000	?	?	
26	1,6	1,8	?	1,4	?	?	?	2200	?	
27	2	?	1,7	1,4	?	140	?	?	?	
28	?	2	1,1	?	?	120	1500	?	?	
29	1,7	2,5	?	?	0,06	?	2000	?	?	
30	1,5	1,7	?	1,5	?	150	?	?	?	
31	?	1,8	1,2	?	?	170	1600	?	?	

#### Примітки:

1. Завдання – це рядок під тим же номером, що й номер студента за списком у журналі.
2. Студенти будь-якої групи у своїх рядках завдання в стовпці 1 ставлять подвійний номер, наприклад 1-6; 1-7 і т.д., тобто перша цифра – номер групи, друга номер за списком. Цей один рядок переписується в листок, де буде рішення. Останній здається викладачеві на кожному занятті за попереднє заняття.
3. Студенти другої й наступних груп нумеруються так само, але в сьомому стовпці завдання (маса води в пробі) до заданої цифри  $m_в$  додається число, рівне подвоєному номеру групи. Якщо в цьому стовпці стоїть питання – завдання залишається без зміни.



## Задача 2. Надійність транспортної машини і послідовного ланцюга машин

Кожному студенту в табл. 2.1 (один рядок) наведені вихідні дані – цифри у відповідних стовпцях, а також завдання (питання), яке необхідно вирішити.

Пояснення до умов завдання:

Дане завдання складається із двох частин: 1 – для однієї машини; 2 – для ланцюга послідовно встановлених машин.

Для рішення першої частини задачі в табл. 3.1 наведені значення часу (у годинах) напрацювання між відмовами й час відновлення кожної відмови для однієї машини. Визначається середнє значення  $t_{відм}$  і  $t_{рем}$  і далі – за завданням. Для рішення другої частини задачі необхідно вважати, що значення (колонки 2-6 і 7-11) зазначених вище величин часу – це середні значення напрацювання й відновлення для кожної машини в ланцюзі (кількість машин у ланцюзі дорівнює кількості відрізків часу). І в першій (для однієї машини), і в другій (для ланцюга машин) частині задач необхідно визначити: частоту відмов  $\lambda$  (відм/год), імовірність безвідмовної роботи протягом заданого часу  $P(t)$  (три відрізки часу  $t$ , однакові для машини й ланцюга машин приймаються рівними:  $0,5t_{відм}$ ;  $t_{відм}$ ;  $1,5t_{відм}$ ), коефіцієнти готовності ( $k_c$ ) і ремонтпридатності ( $k_{рем}$ ), імовірність знаходження машини в будь-який момент часу в працездатному стані.

Таблиця 2.1

Задані величини

№	Час напрацювання, год					Час відновлення, год					Знайти				
	$t'_1$	$t'_2$	$t'_3$	$t'_4$	$t'_5$	$t''_1$	$t''_2$	$t''_3$	$t''_4$	$t''_5$	$T_{відм.м}$	$\lambda_m$	$P(t)_m$	$k_{с.м}$	$k_{р.м}$
											$T_{відм.лц}$	$\lambda_{лц}$	$P(t)_{лц}$	$k_{с.лц}$	$k_{р.лц}$
1	3	5	8	12	10	0,5	1	0,2	2	0,3					
2	4	2	10	13	8	1	,3	0,2	1	1					
3	10	11	8	13	14	1	1,5	2	0,8	0,3					
4	20	4	11	23	80	1	0,3	4	8	0,2					
5	70	80	40	50	30	0,5	0,7	3	5	0,5					
6	90	40	50	40	40	1	0,5	2	4	3					
7	50	20	30	40	50	1	2	3	2	1					
8	40	20	30	50	50	2	1	1	3	4					
9	50	60	70	60	50	2	1	3	4	1					
10	70	50	40	80	90	1	2	2	3	1					
11	60	50	40	20	70	2	1	1	1	0,5					
12	70	50	50	60	40	1	2	3	2	1					
13	80	70	60	70	80	1	2	3	4	5					
14	90	80	90	50	60	2	1	1	1	3					
15	100	90	20	40	70	1	2	1	2	3					
16	90	70	60	50	30	1	2	8	4	1					
17	80	70	90	70	50	1	2	3	4	1					
18	70	40	60	50	90	2	1	1	2	3					
19	60	40	30	60	70	1	1	1	2	3					
20	70	40	60	90	20	1	2	3	4	1					
21	45	60	85	25	75	1	1	2	2	3					
22	70	90	80	70	60	1	1	3	2	1					
23	80	90	100	90	50	1	1	4	2	3					
24	40	50	70	60	80	1	4	1	4	2					
25	60	70	90	80	80	2	3	4	2	3					
26	70	90	80	100	90	3	1	4	5	6					
27	40	50	60	90	50	4	1	3	2	4					
28	45	55	65	75	95	3	1	2	3	3					
29	90	80	50	70	60	2	2	1	1	3					
30	100	90	40	60	80	2	1	1	3	2					
31	110	100	70	70	80	5	1	7	3	2					

Примітки:

1. Завдання – це рядок під тим же номером, що й номер студента за списком у журналі.
2. Студенти будь-якої групи у своїх рядках завдання в стовпці 1 ставлять подвійний номер, наприклад 1-6; 1-7 і т.д., тобто перша цифра – номер групи, друга номер за списком. Цей один рядок переписується в листок, де буде рішення. Останній з рішенням здається викладачеві на кожному занятті за попереднє заняття.
3. Студенти другої й наступних груп нумеруються так само, але в другому стовпці завдання до заданої цифри  $t_i$  додають подвійний номер групи, наприклад: для другої групи в першому стовпці 2-6, у другому  $2 \times 2 + 90 = 94$ , аналогічно для шостої групи: 6-14,  $90 + 2 \times 6 = 102$  і т.д.

### Задача 3.1. Продуктивність транспортних засобів безперервної дії

Кожному студенту в табл. 3.1 (один рядок) наведені вихідні дані – цифри у відповідних стовпцях, а також завдання (питання), яке необхідно вирішити.

Для рішення задачі необхідно знати формули обчислення продуктивності.

Таблиця 3.1

Вихідні дані й завдання (питання)

№	Задані величини і що необхідно визначити												
	$Q_{зм}$ т/ЗМ	$Q_P=Q_T$ т/ГОД	$q$ , кг/м	$m$ , кг	$l$ , м	$\rho$ , т/м <sup>3</sup>	$S_{зс}$ , м <sup>2</sup>	$\psi_{зс}=\psi$	$k$	$k_m$	$t_{зм}$ , год	$v$ , м/с	При- мітка
1	?	?	?	5000	100	?	0,05	1	1,4	0,8	6	1	
2	?	?	?	5500	200	?	0,06	0,9	1,5	0,6	8	1,2	
3	?	?	?	6000	150	?	0,08	0,98	1,8	0,9	7	2,2	
4	?	?	?	4500	120	?	0,05	1	1,3	0,7	6	1,5	
5	?	?	?	5500	180	?	0,07	0,85	2	0,8	7	1,8	
6	1000	?	?	?	140	1	0,1	0,9	1,2	0,7	6	?	
7	1800	?	?	?	120	1,2	0,06	0,9	1,3	0,8	6	?	
8	1400	?	?	?	160	1,1	0,08	0,89	1,6	0,8	7	?	
9	1600	?	?	?	140	0,9	0,07	0,86	1,5	0,6	6	?	
10	1200	?	?	?	130	1,3	0,06	0,92	1,1	0,9	8	?	
11	1200	?	?	3000	?	?	0,08	1	1,2	0,7	7	2	
12	1300	?	?	4000	?	?	0,09	0,8	1,3	0,6	8	1,6	
13	1600	?	?	2300	?	?	0,1	0,9	1,6	0,8	5	1,6	
14	1800	?	?	6000	?	?	0,06	0,84	1,5	0,9	6	1,7	
15	1500	?	?	5000	?	?	0,08	0,95	1,3	0,7	8	2,2	
16	1800	?	?	?	200	0,85	?	0,9	1,5	0,8	6	1,5	
17	1200	?	?	?	120	1	?	0,89	1,8	0,6	7	1,2	
18	1200	?	?	?	180	1,2	?	0,75	1,5	0,8	8	2,2	
19	1300	?	?	?	140	1,1	?	0,9	1,3	0,6	5	1,5	
20	1600	?	?	?	120	0,9	?	0,85	1,9	0,9	6	1,8	
21	1000	?	?	4000	?	1	0,08	0,9	?	0,8	7	2	
22	1200	?	?	2300	?	0,85	0,07	0,89	?	0,7	8	1,5	
23	1300	?	?	6000	?	1	0,06	0,86	?	0,6	6	1,2	
24	1600	?	?	5000	?	1,2	0,08	0,92	?	0,8	7	2,2	
25	1000	?	?	4200	?	1,1	0,09	1	?	0,9	8	1,5	
26	1000	300	?	2000	?	1	0,05	?	?	0,8	6	1,5	
27	1800	200	?	4000	?	1,1	0,08	?	?	0,6	7	2,2	
28	1800	420	?	2300	?	0,9	0,07	?	?	0,8	8	1,5	
29	1500	340	?	6000	?	1	0,06	?	?	0,6	6	1,2	
30	1300	210	?	5000	?	0,85	0,08	?	?	0,9	7	2,2	
31	1600	230	?	4200	?	1	0,09	?	?	0,8	8	1,5	

Примітки:

1. Завдання – це рядок під тим же номером, що й номер студента за списком у журналі.
2. Студенти будь-якої групи у своїх рядках завдання в стовпці 1 ставлять подвійний номер, наприклад 1-6; 1-7 і т.д., тобто перша цифра – номер групи, друга номер за списком. Цей один рядок переписується в листок, де буде рішення. Останній здається викладачеві на кожному занятті за попереднє заняття.
3. Студенти другої й наступних груп нумеруються так само, але в *другому стовпці завдання до заданої цифри  $Q_{зм}$  додають номер групи, помножений на 10.*

### Задача 3.2. Продуктивність транспортних засобів періодичної дії

Кожному студенту в табл. 3.2 (один рядок) наведені вихідні дані – цифри у відповідних стовпцях, а також завдання (питання), яке необхідно вирішити.

Для рішення задачі необхідно знати формули обчислення продуктивності.

Таблиця 3.2

Вихідні дані й завдання (питання)

№	Задані величини і що необхідно визначити													
	$Q_{зм}$ , т/ЗМ	$Q_p=Q_T$ , т/ГОД	$z$ , шт.	$m$ , кг	$T_p=T_{лц}$ , с	$L$ , м	$v_x$ , м/с	$v_p$ , м/с	$k_c$	$\theta$ , с	$k$	$t_{зм}$ , год	$k_p$	При- мітка
1	?	?	5	2000	?	1000	4	3	0,9	200	1,3	7	0,8	
2	?	?	8	1800	?	600	5	4	0,9	160	1,4	6	0,85	
3	?	?	12	1700	?	800	3	3	0,9	140	1,25	7	0,8	
4	?	?	15	1800	?	750	6	3	0,9	120	1,35	6	0,85	
5	?	?	17	2000	?	500	4	3	0,9	100	1,3	6	0,8	
6	1000	?	?	3000	?	2000	3	2	0,9	150	1,5	7	0,75	
7	850	?	?	2000	?	1600	4	3	0,9	100	1,35	6	0,8	
8	900	?	?	1900	?	1700	4	3	0,9	140	1,4	7	0,85	
9	670	?	?	3300	?	2100	5	4	0,9	160	1,6	6	0,75	
10	1200	?	?	2500	?	900	6	4	0,9	150	1,3	7	0,8	
11	1500	?	6	2000	?	400	3	3	0,8	180	1,35	6	0,8	
12	1600	?	10	1800	?	800	4	3	0,8	140	1,4	6	0,85	
13	1200	?	8	1000	?	900	3	2	0,8	100	1,3	7	0,8	
14	1000	?	15	3500	?	1600	5	4	0,8	130	1,25	7	0,85	
15	800	?	25	3000	?	2000	6	4	0,8	160	1,5	6	0,8	
16	1000	?	15	?	?	600	4	3	0,8	120	1,25	6	0,85	
17	1000	?	25	?	?	900	5	3	0,8	140	1,35	7	0,9	
18	1600	?	10	?	?	1200	3	3	0,8	180	1,3	7	0,8	
19	1200	?	30	?	?	1500	6	4	0,8	180	1,5	6	0,9	
20	850	?	35	?	?	750	4	2	0,8	200	1,2	6	0,8	
21	?	100	?	1800	?	1000	3	2	0,9	250	1,25	6	0,8	
22	?	300	?	3000	?	1100	5	3	0,9	180	1,3	7	1,9	
23	?	400	?	2000	?	3000	3	2	0,9	120	1,2	6	0,8	
24	?	200	?	2600	?	900	6	4	0,9	140	1,4	7	0,85	
25	?	180	?	4000	?	400	3	2	0,9	250	1,5	6	0,75	
26	600	200	?	2300	600	?	3	3	0,8	100	?	6	0,8	
27	1000	400	?	1800	500	?	5	4	0,8	120	?	7	0,8	
28	1600	620	?	3500	400	?	6	4	0,8	200	?	6	0,75	
29	1800	500	?	2500	800	?	3	2	0,8	130	?	7	0,85	
30	1900	420	?	2600	1200	?	4	3	0,8	150	?	7	0,9	
31	480	150	?	1900	350	?	3	2	0,8	100	?	6	0,8	

Примітки:

1. Завдання – це рядок під тим же номером, що й номер студента за списком у журналі.
2. Студенти будь-якої групи у своїх рядках завдання в стовпці 1 ставлять подвійний номер, наприклад 1-6; 1-7 і т.д., тобто перша цифра – номер групи, друга – номер за списком. Цей один рядок переписується в листок, де буде рішення. Останній здається викладачеві на кожному занятті за попереднє заняття.
3. Студенти другої й наступних груп нумеруються так само, але в *одинадцятomu стовпці завдання до заданої цифри  $\theta$  додають подвоєний номер групи.*

### Задача 3.3. Резерв продуктивності транспортних засобів

Кожному студенту в табл. 3.3 (один рядок) наведені вихідні дані – цифри у відповідних стовпцях, а також завдання (питання), яке необхідно вирішити.

Для рішення задачі необхідно знати:

- що таке коефіцієнт резервів і чого він складається (з яких складових резерву);
- дві формули для обчислення коефіцієнта резерву.

Необхідно мати на увазі, що так звані нормативні величини – не що інше, як розрахункові, тобто ті, які були прийняті при виборі й розрахунку засобу транспорту.

Задачу 3.3 вирішити двома способами – через продуктивність і через коефіцієнти  $k^{\phi}$ ,  $k^{\phi}_m$ ,  $k^h$ ,  $k^h_m$ .

Таблиця 3.3

Вихідні дані й завдання (питання)

№	Задані величини і що необхідно визначити													
	$Q^{\phi}_{зм}$ т/зм	$Q^h_{зм}$ т/зм	$k^{\phi}$	$k^h$	$k^{\phi}_m$	$k^h_m$	$r$	$t_{зм}$ год	$t^{\phi}_m$ год	$t^h_m$ год	$Q^{\phi}_{max}$ т/год	$Q^{\phi}_{ср.зм}$ т/год	$Q_T$ т/год	При- мітка
1	?	?	1,5	1,3	0,8	0,9	?	6	?	?	350	?	500	
2	?	?	1,2	1,5	0,6	0,9	?	7	?	?	400	?	450	
3	?	?	1,3	1,8	0,7	0,9	?	7	?	?	320	?	480	
4	?	?	1,8	1,5	0,6	0,85	?	6	?	?	360	?	420	
5	?	?	2	1,5	0,9	0,8	?	6	?	?	350	?	550	
6	?	?	1,4	1,2	?	?	?	6	5	5	400	350	400	
7	?	?	1,9	1,6	?	?	?	6	5,4	5,2	330	320	420	
8	?	?	1,2	1,8	?	?	?	7	6,3	6,2	380	360	400	
9	?	?	1,8	1,5	?	?	?	7	6	5,7	420	400	500	
10	?	?	1,3	1,5	?	?	?	6	5,2	5,5	350	300	380	
11	?	?	1,5	1,3	?	?	?	6	4	5	300	?	400	
12	?	?	1,4	1,8	?	?	?	6	5	6,2	400	?	400	
13	?	?	1,9	1,5	?	?	?	6	5,4	5,7	330	?	420	
14	?	?	1,2	1,5	?	?	?	6	5,3	5,5	380	?	400	
15	?	?	1,8	1,3	?	?	?	7	6	5	420	?	500	
16	?	?	1,8	1,5	?	?	?	7	5	5	?	250	500	
17	?	?	1,8	1,6	?	?	?	6	5	5,7	?	350	400	
18	?	?	1,3	1,8	?	?	?	6	5,4	5,5	?	320	500	
19	?	?	1,5	1,5	?	?	?	7	6,3	5	?	360	380	
20	?	?	1,4	1,5	?	?	?	7	6	5	?	400	400	
21	1000	1500	?	?	?	?	?	6	4	5	350	?	500	
22	2000	2400	?	?	?	?	?	7	6	5,7	380	?	500	
23	2500	2800	?	?	?	?	?	7	5	5,5	420	?	400	
24	1800	2200	?	?	?	?	?	6	5	5	350	?	500	
25	1500	1800	?	?	?	?	?	6	5,4	5	300	?	380	
26	1200	?	1,5	1,2	0,8	?	?	6	?	5	?	?	500	
27	1500	?	1,5	1,5	0,7	?	?	7	?	6	?	?	450	
28	800	?	1,5	1,3	0,8	?	?	7	?	6	?	?	200	
29	2000	?	1,8	1,5	0,7	?	?	6	?	5,5	?	?	400	
30	2500	?	1,3	1,5	0,6	?	?	6	?	5	?	?	500	
31	1800	?	1,5	1,7	0,9	?	?	6	?	5	?	?	380	

Примітки:

1. Буквою “ $\phi$ ” позначені фактичні (досягнуті) значення, буквою “ $h$ ” – нормативні (розрахункові).
2. Значення  $Q^{\phi}_{ср.зм}$  дано за  $t^{\phi}_m$ .
3. Завдання – це рядок під тим же номером, що й номер студента за списком у журналі.
4. Студенти будь-якої групи у своїх рядках завдання в стовпці 1 ставлять подвійний номер, наприклад 1-6; 1-7 і т.д., тобто перша цифра – номер групи, друга – номер за списком. Цей один рядок переписується в листок, де буде рішення. Останній здається викладачеві на кожному занятті за попереднє заняття.
5. Студенти другої й наступних груп нумеруються так само, але в чотирнадцятому стовпці завдання до заданої цифри  $Q_T$  додають подвійний номер групи.

### Задача 4.1. Сила тяги для переміщення зосереджених вантажів

Кожному студенту в табл. 4.1 (один рядок) наведені вихідні дані – цифри у відповідних стовпцях, а також завдання (питання), яке необхідно вирішити.

Для рішення задачі необхідно знати:

- визначення коефіцієнтів тертя ковзання й опору руху;
- визначення понять: сила, вага, сила ваги, маса, інерція, швидкість, шлях, прискорення;
- розкладання сили ваги тіла, що перебуває на похилій площині на нормальну (перпендикулярно) і поздовжню (паралельно похилій площині) складові;
- три закони механіки (закони Ньютона), використовувати або скласти рівняння рівноваги (спокою або руху) тіла.

Таблиця 4.1

Вихідні дані й завдання (питання)

Задані величини і що необхідно визначити									Примітка
№	Кут нахилу площини руху $\beta$ , град.	Маса вантажу $m$ , кг	Вага вантажу $G$ , Н	Коефіцієнт опору руху $\omega$	Напрямок і величина прикладення сили $F$ , Н		Величина прискорення (уповільнення) руху $a$ , м/с <sup>2</sup>		
					вверх	вниз	ускорение -	замедление +	
1	5	100	?	0,3	200	-	?	?	
2	7	50	?	0,2	300	-	?	?	
3	12	120	?	0,4	210	-	?	?	
4	3	150	?	0,5	100	-	?	?	
5	30	70	?	0,3	500	-	?	?	
6	10	?	1000	0,4	-	200	?	?	
7	12	?	180	0,2	-	350	?	?	
8	20	?	560	0,5	-	310	?	?	
9	15	?	730	0,3	-	250	?	?	
10	25	?	100	0,4	-	500	?	?	
11	15	500	?	0,25	1000	-	?	?	
12	9	1000	?	0,3	580	-	?	?	
13	21	200	?	0,2	750	-	?	?	
14	15	730	?	0,4	1200	-	?	?	
15	6	260	?	0,5	800	-	?	?	
16	4	1500	?	?	5000	-	0,1	немає	
17	30	250	?	?	1200	-	1	немає	
18	12	1000	?	?	2200	-	1,2	немає	
19	7	700	?	?	2800	-	0,5	немає	
20	2	1300	?	?	350	-	1,5	немає	
21	0	100	?	?	500	-	0	немає	
22	0	300	?	?	1700	-	1,3	немає	
23	0	520	?	?	2300	-	0,2	немає	
24	0	140	?	?	750	-	2,3	немає	
25	0	750	?	?	3400	-	0,6	немає	
26	12	3000	?	0,1	500	-	?	?	
27	12	1000	?	0,4	2200	-	?	?	
28	12	200	?	0,2	2800	-	?	?	
29	12	730	?	0,5	350	-	?	?	
30	12	260	?	0,3	500	-	?	?	
31	12	1500	?	0,4	1700	-	?	?	

Примітки:

1. Завдання – це рядок під тим же номером, що й номер студента за списком у журналі.
2. Студенти будь-якої групи у своїх рядках завдання в стовпці 1 ставлять подвійний номер, наприклад 1-6; 1-7 і т.д., тобто перша цифра – номер групи, друга – номер за списком. Цей один рядок переписується в листок, де буде рішення. Останній здається викладачеві на кожному занятті за попереднє заняття.
3. Студенти другої й наступних груп нумеруються так само, але *в шостому (сьомому для 6-10 варіантів) стовпці завдання до заданої цифри  $F$  додають номер групи, помножений на 10.*

### Задача 4.2. Сила тяги для переміщення розподілених вантажів на прямолінійних ділянках

Кожному студенту в табл. 4.2 (один рядок) наведені вихідні дані – цифри у відповідних стовпцях, а також завдання (питання), яке необхідно вирішити.

Для рішення задачі необхідно, крім зазначеного в задачі 4.1, знати:

- визначення лінійних (погонних) мас рухомих частин транспортного засобу й вантажу;
- визначення поняття “натяг” гнучкого тягового органа (відрізняти його від “напруження” і “сили тяги”).

Таблиця 4.2

Вихідні дані й завдання (питання)

Задані величини і що необхідно визначити													
№	Кут нахилу площини руху $\beta$ , град	Довжина транспортуваня, $L$	Маса вантажу на довжині $L$		Лінійна маса		Коефіцієнт опору руху		Натяг тягового органа по кінцях відрізків		Рухається відрізок		
			рух. частин тр. засобу $m_0$ , кг	вантаж $m_{вт}$ , кг	рух. частин тр. засобу, $q_0$ , кг/м	вант. $q_{вт}$ , кг/м	рух. частин тр. засобу $W_0$	вантаж $W_{вт}$	верхній, Н	нижній, Н	вгору	вниз	
1	2	100	2000	4000	?	?	0,6	0,5	10000	40000	?	?	
2	5	150	300	400	?	?	0,3	0,4	15000	20000	?	?	
3	10	50	100	200	?	?	0,1	0,1	500	1500	?	?	
4	3	200	700	600	?	?	0,2	0,3	16000	25000	?	?	
5	4	180	600	1000	?	?	0,4	0,5	12000	22000	?	?	
6	8	300	1200	20000	?	?	0,5	0,6	30000	50000	?	?	
7	5	100	500	800	?	?	0,3	0,5	600	1500	?	?	
8	12	130	400	1200	?	?	0,3	0,4	1000	2500	?	?	
9	2	130	250	2000	?	?	0,2	0,2	1200	2500	?	?	
10	5	80	?	?	20	50	0,4	0,5	7000	5000	?	?	
11	3	150	?	?	20	42	0,2	0,3	8000	3000	?	?	
12	4	150	?	?	15	60	0,5	0,3	5000	7000	?	?	
13	8	50	?	?	12	50	0,2	0,4	600	2500	?	?	
14	5	200	?	?	25	60	0,4	0,2	1000	2500	?	?	
15	7	180	?	?	14	75	0,5	0,5	1200	5000	?	?	
16	3	300	?	?	18	55	0,3	0,3	7000	3000	?	?	
17	5	100	?	?	21	56	0,3	0,1	8000	7000	?	?	
18	3	50	?	?	12	50	0,2	0,4	600	2500	?	?	
19	8	200	?	?	25	60	0,4	0,2	1000	2500	?	?	
20	2	100	2000	4000	?	?	0,6	0,5	10000	40000	?	?	
21	5	150	300	400	?	?	0,3	0,4	15000	20000	?	?	
22	3	50	100	200	?	?	0,1	0,1	500	1500	?	?	
23	4	200	700	600	?	?	0,2	0,3	16000	25000	?	?	
24	8	180	600	1000	?	?	0,4	0,5	12000	22000	?	?	
25	5	300	1200	20000	?	?	0,5	0,6	30000	50000	?	?	
26	7	100	500	800	?	?	0,3	0,5	600	1500	?	?	
27	3	130	400	1200	?	?	0,3	0,4	1000	2500	?	?	
28	12	130	250	2000	?	?	0,2	0,2	1200	2500	?	?	
29	4	180	600	1000	?	?	0,4	0,5	12000	22000	?	?	
30	0	300	1200	20000	?	?	0,5	0,6	30000	50000	?	?	
31	3	100	500	800	?	?	0,3	0,5	600	1500	?	?	

Примітки:

1. Завдання – це рядок під тим же номером, що й номер студента за списком у журналі.
2. Студенти будь-якої групи у своїх рядках завдання в стовпці 1 ставлять подвійний номер, наприклад 1-6; 1-7 і т.д., тобто перша цифра – номер групи, друга – номер за списком. Цей один рядок переписується в листок, де буде рішення. Останній здається викладачеві на кожному занятті за попереднє заняття.
3. Студенти другої й наступних груп нумеруються так само, але в *третьому стовпці завдання до заданої цифри  $L$  додають подвоєний номер групи.*

### Задача 5. Розрахункова потужність двигуна

Кожному студенту в табл. 5.1 (один рядок) наведені вихідні дані – цифри у відповідних стовпцях, а також завдання (питання), яке необхідно вирішити.

Усі приклади складені для тривалого циклічного режиму роботи двигуна. Крім розрахунку потужності двигуна (розрахункова потужність по еквівалентному тяговому зусиллю), студент визначає коефіцієнт перевантаження по максимальному тяговому зусиллю. При цьому, розрахункова потужність вважається номінальною (начебто двигун обраний за каталогом), а максимальне тягове зусилля для розрахунку коефіцієнта перевантаження приймається найбільшим із вхідних у розрахунок ефективної сили. У випадку одержання коефіцієнта перевантаження  $\lambda > 1,8$ , визначається інше таке значення розрахункової потужності, при якому  $\lambda < 1,8$ . Вважається, що двигуни із самовентиляцією й значення коефіцієнта  $C_1 = 0, 25-0,35$ , швидкість руху тягового органа приймається  $v = 2-4$  м/с, а ККД  $\eta = 0, 95-0,98$ .

Таблиця 5.1

Вихідні дані й завдання (питання)

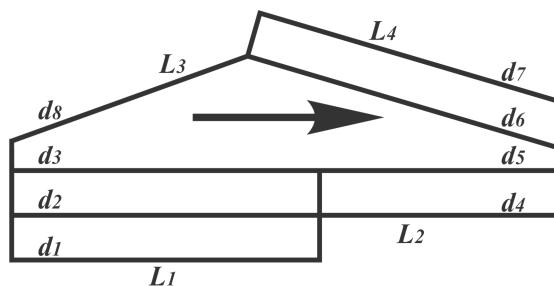
№	Значення величин тягового зусилля $F$ кН, часу їх дії $t$ с і часу паузи за цикл $\theta$ с									Розрахункові значення		При- мітка
	$F_1$	$t_1$	$F_2$	$t_2$	$F_3$	$t_3$	$F_4$	$t_4$	$\theta$	Потужн. двигуна $N_p$ , кВт	Коеф. перевант. здатності по тах силі тяги $\lambda$	
1	10	400	32	325	24	536	12	536	120	?	?	
2	5	150	25	320	52	503	14	503	240	?	?	
3	7	200	12	230	36	153	23	268	300	?	?	
4	12	320	4	400	12	126	50	536	120	?	?	
5	14	260	10	204	7	652	32	503	125	?	?	
6	23	120	25	253	4	356	25	153	142	?	?	
7	50	230	31	268	51	210	21	126	156	?	?	
8	32	500	7	536	26	320	24	652	325	?	?	
9	25	100	12	503	14	230	14	153	320	?	?	
10	12	120	14	268	23	400	23	126	230	?	?	
11	4	240	23	536	50	204	50	652	400	?	?	
12	10	300	50	503	32	253	32	356	204	?	?	
13	25	120	32	153	25	268	25	210	253	?	?	
14	31	125	25	126	21	536	12	320	268	?	?	
15	26	142	21	652	24	503	4	230	204	?	?	
16	15	156	24	356	52	253	10	400	253	?	?	
17	17	325	52	210	36	268	25	120	268	?	?	
18	33	320	36	400	12	536	31	240	536	?	?	
19	21	230	12	150	7	503	26	300	503	?	?	
20	24	400	7	200	4	153	15	120	268	?	?	
21	52	204	4	320	10	126	21	125	536	?	?	
22	36	253	51	260	25	652	24	142	503	?	?	
23	12	268	26	120	31	356	52	156	153	?	?	
24	7	536	15	230	7	210	36	325	126	?	?	
25	4	503	17	500	12	420	12	320	652	?	?	
26	51	153	33	100	14	153	7	356	356	?	?	
27	35	126	21	120	23	126	4	210	210	?	?	
28	60	652	24	126	50	652	51	400	400	?	?	
29	15	356	52	652	32	356	35	150	420	?	?	
30	32	210	36	356	25	210	15	200	153	?	?	
31	12	420	77	210	12	400	32	320	126	?	?	

Примітки:

1. Завдання – це рядок під тим же номером, що й номер студента за списком у журналі.
2. Студенти будь-якої групи у своїх рядках завдання в стовпці 1 ставлять подвійний номер, наприклад 1-6; 1-7 і т.д., тобто перша цифра – номер групи, друга – номер за списком. Цей один рядок переписується в листок, де буде рішення. Останній здається викладачеві на кожному занятті за попереднє заняття.
3. Студенти другої й наступних груп нумеруються так само, але в *третьому стовпці завдання до заданої цифри  $t_1$  додають номер групи, помножений на 10.*

### Задача 6. Еквівалентний діаметр для складної ділянки газопроводу

Кожному студенту в табл. 6.1 (один рядок) наведені вихідні дані – цифри у відповідних стовпцях, а також завдання (питання), яке необхідно вирішити.



Таблиця 6.1

№	Діаметри відрізків трубопроводу, мм								Довжини відрізків трубопроводу, км				Еквівалентний діаметр, мм
	$d_1$	$d_2$	$d_3$	$d_4$	$d_5$	$d_6$	$d_7$	$d_8$	$L_1$	$L_2$	$L_3$	$L_4$	
1	630	720	820	920	920	1220	1120	1420	30	20	22	28	?
2	720	630	820	1020	920	1120	1120	1420	31	19	23	27	?
3	720	820	820	920	920	1220	1120	1420	32	18	24	26	?
4	820	720	820	1020	920	1120	1120	1420	33	17	25	25	?
5	630	820	820	920	920	1220	1120	1420	34	16	26	24	?
6	820	720	820	1020	920	1120	1120	1420	35	15	27	23	?
7	630	820	820	920	920	1220	1120	1420	36	14	26	24	?
8	630	720	820	1020	920	1120	1120	1420	37	13	25	25	?
9	720	630	820	920	920	1220	1120	1420	35	15	24	26	?
10	720	820	820	1020	920	1120	1120	1420	36	14	23	27	?
11	820	720	820	920	920	1220	1120	1420	34	16	22	28	?
12	630	820	820	1020	920	1120	1120	1420	33	17	21	29	?
13	820	720	820	920	920	1220	1120	1420	32	18	20	30	?
14	630	820	820	1020	920	1120	1120	1420	31	19	22	28	?
15	630	720	820	920	920	1220	1120	1420	33	17	21	29	?
16	720	630	820	1020	1020	1120	1220	1420	30	20	22	28	?
17	720	820	820	920	1020	1220	1220	1420	31	19	23	27	?
18	820	720	820	1020	1020	1120	1220	1420	32	18	24	26	?
19	630	820	820	920	1020	1220	1220	1420	33	17	25	25	?
20	820	720	820	1020	1020	1120	1220	1420	34	16	26	24	?
21	630	820	820	920	1020	1220	1220	1420	35	15	27	23	?
22	630	720	820	1020	1020	1120	1220	1420	36	14	26	24	?
23	720	630	820	920	1020	1220	1220	1420	37	13	25	25	?
24	720	820	820	1020	1020	1120	1220	1420	35	15	24	26	?
25	820	720	820	920	1020	1220	1220	1420	36	14	23	27	?
26	630	820	820	1020	1020	1120	1220	1420	34	16	22	28	?
27	820	720	820	920	1020	1220	1220	1420	33	17	21	29	?
28	630	820	820	1020	1020	1120	1220	1420	32	18	20	30	?
29	820	720	820	920	1020	1220	1220	1420	31	19	22	28	?
30	630	820	820	1020	1020	1120	1220	1420	33	17	21	29	?
31	630	720	820	920	1020	1120	1220	1420	35	15	25	25	?

Примітки:

1. Завдання – це рядок під тим же номером, що й номер студента за списком у журналі.
2. Студенти будь-якої групи у своїх рядках завдання в стовпці 1 ставлять подвійний номер, наприклад 1-6; 1-7 і т.д., тобто перша цифра – номер групи, друга – номер за списком. Цей один рядок переписується в листок, де буде рішення. Останній здається викладачеві на кожному занятті за попереднє заняття.
3. Студенти другої й наступних груп нумеруються так само, але у тринадцятому стовпці завдання до заданого числа  $L_3$  додають номер групи, а у чотирнадцятому стовпці віднімають від заданого числа  $L_4$  номер групи. Завдання вирішується за умови  $L_1 + L_2 = L_3 + L_4$ .



## Додаток В. Приклади рішень індивідуальних завдань

### Задача 1.1. Гранулометричний склад насипних вантажів шахт

№ задачі	Задані величини і що необхідно визначити								
	$a_{max}$ , мм	$a_{min}$ , мм	$a_{ср}$ або $a_{хар}$ , (а) мм	Маса проби всього $m_{пр}$ , кг	Маса кусків від $a_{max}$ до $0,8a_{max}$ , кг	Мінімальна ширина стрічки конвеєра, м	Відношення $a_{max}/a_{min}$	% маси кусків від $a_{max}$ до $0,8a_{max}$	Примітка
1-31	250	10	?	110	40	?	?	?	
			250			0,7	25	36	

#### Приклад рішення

Вид вантажу:  $\frac{a_{max}}{a_{min}} = \frac{250}{10} = 25$ ;  $25 \geq 2,5$  – вантаж рядовий.

Процент маси кусків від  $a_{max}$  до  $0,8a_{max}$  у загальній масі  $\frac{40}{110} \cdot 100 = 36\%$ , тобто характерний розмір  $a_{хар} = a = a_{max} = 250$  мм.

Мінімальна ширина стрічки:  $B_{min} = 2a_{max} + 200 = 2 \cdot 250 + 200 = 0,7$  м.

### Задача 1.2. Щільність і вологість насипних вантажів шахт

№ задачі	Задані величини і що необхідно визначити									
	Обсяг породи в насипці $V$ , м <sup>3</sup>	Щільність у цілику $\rho_u$ , т/м <sup>3</sup>	Щільність сухого в насипці $\rho$ , т/м <sup>3</sup>	Коеф. розпушення $k_p$	Відносна вологість $W$ , %	Маса води в пробі $m_w$ , кг	Маса сухого в пробі $m_c$ , кг	Маса вологої проби $m_{в.н}$ , кг	Щільність вологої проби $\rho_{в.н}$ , т/м <sup>3</sup>	Примітка
1-31	?	1,8	1,2	?	?	170	1600	?		
	1,33			1,5	10,6			1770	1,327	

#### Приклад рішення

Обсяг породи в насипці  $V = \frac{m_c}{\rho} = \frac{1600}{1,2} = 1,33$  м<sup>3</sup>.

Коефіцієнт розпушення:  $k_p = \frac{\rho_u}{\rho} = \frac{1,8}{1,2} = 1,5$ .

Маса вологої проби  $m_{в.н} = m_{с.н} + m_w = 1600 + 170 = 1770$  кг.

Відносна вологість:  $W = \frac{m_w}{m_c} \cdot 100\% = \frac{170}{1600} \cdot 100 = 10,6\%$ .

Щільність вологої проби:  $\rho_{в.н} = \frac{m_{в.н}}{V} = \frac{1770}{1,33} = 1,327$  т/м<sup>3</sup>

**Задача 2. Показники надійності транспортної машини і послідовного ланцюга машин**

№	Час напрацювання, ГОД					Час відновлення, ГОД					Знайти*				При- мітка	
	$t'_1$	$t'_2$	$t'_3$	$t'_4$	$t'_5$	$t''_1$	$t''_2$	$t''_3$	$t''_4$	$t''_5$	$t_{відм}^{cp}$	$\lambda_m$ , відм/ ГОД	$P(t)_m$	$k_{г.м}$		$k_{р.м}$
												$\lambda_{лц}$ , відм/ ГОД	$P(t)_{лц}$	$k_{г.лц}$	$k_{р.лц}$	ланцюг машин
31	110	100	70	70	80	5	1	7	3	2	86	0,012	0,607 0,368 0,223	0,96	0,04	машина
											16,62	0,06	0,607 0,368 0,223	0,805	0,195	ланцюг машин

\*  $k_{г.м}$ ,  $k_{г.лц}$ ,  $k_{р.м}$ ,  $k_{р.лц}$ ;  $\lambda_m$ ,  $\lambda_{лц}$ ;  $P(t)_m$ ,  $P(t)_{лц}$ , – коефіцієнти готовності, ремонтпридатності, інтенсивність відмов та ймовірність безвідмовної роботи машини (м) і ланцюга машин (лц).

**Приклад рішення**

**а) одна машина**

Середній час напрацювання на відмову:  $t_{відм} = \frac{110+100+70+70+80}{5} = 86$  год.

Середній час одного відновлення:  $t_{рем} = \frac{5+1+7+3+2}{5} = 3,6$  год.

Середня частота (інтенсивність) відмов:  $\lambda = \frac{1}{86} = 0,012$ , відм/год.

Імовірність безвідмовної роботи протягом заданого часу  $t_1 = 43$  год;  $t_2 = 86$  год;  $t_3 = 129$  год (з умови):

$$P(43) = e^{-\lambda t} = e^{-43 \cdot 0,012} = 0,607; P(86) = e^{-86 \cdot 0,012} = 0,368; P(129) = e^{-129 \cdot 0,012} = 0,223.$$

$$\text{Коефіцієнт готовності: } k_g = \frac{t_{відм}}{t_{відм} + t_{рем}} = \frac{86}{86 + 3,6} = 0,96.$$

$$\text{Коефіцієнт ремонтпридатності: } k_{р.м} = \frac{t_{рем}}{t_{відм} + t_{рем}} = \frac{3,6}{86 + 3,6} = 0,04, \text{ або } k_g + k_{р.м} = 1,$$

звідки  $k_{р.м} = 1 - 0,96 = 0,04$ .

**б) ланцюг машин**

За умовою кожний заданий час  $t'_1, t'_2 \dots$  и  $t''_1, t''_2 \dots$  – це середній час напрацювання на відмову й відновлення кожної машини за загальний час спостереження відповідно, яка входить у послідовний ланцюг (у цьому випадку 5 машин).

Частота відмов кожної машини:  $\lambda_1 = \frac{1}{t'_1} = \frac{1}{110} = 0,0091$  відм/год, аналогічно

$\lambda_2 = \frac{1}{100} = 0,01$  відм/год;  $\lambda_3 = \frac{1}{70} = 0,0143$  відм/год;  $\lambda_4 = 0,0143$  відм/год;  $\lambda_5 = \frac{1}{80} = 0,0125$  відм/год.

Частота відмов ланцюга:  $\lambda_{лц} = \sum_1^n \lambda_i$ ;  $\lambda_{лц} = 0,0091 + 0,01 + 0,0143 + 0,0143 + 0,0125 = 0,06$  відм/год.

Час напрацювання на відмову ланцюга:  $t_{відм.лц} = \frac{1}{\lambda_{лц}} = \frac{1}{0,06} = 16,622$  год.

Коефіцієнт готовності кожної машини в ланцюзі:

$$k_{z1} = \frac{t'_1}{t'_1 + t''_1} = \frac{110}{110 + 5} = 0,95; \text{ аналогічно } k_{z2} = 0,99; k_{z3} = 0,909; k_{z4} = 0,95; k_{z5} = 0,97.$$

Коефіцієнт готовності ланцюга машин:

$$k_{z.лц} = k_{z1} \cdot k_{z2} \cdot \dots \cdot k_{z5} = 0,95 \cdot 0,99 \cdot 0,901 \cdot 0,95 \cdot 0,97 = 0,805.$$

Коефіцієнт ремонтпридатності ланцюга машин:  $k_{рем.лц} = 1 - 0,805 = 0,195.$

Імовірність безвідмовної роботи ланцюга машин протягом заданого часу:  $t = 8,311$  год;  
 $t = 16,622$  год;  $t = 24,933$  год.

$$P(8,311) = e^{-0,06 \cdot 8,311} = 0,607;$$

$$P(16,622) = e^{-0,06 \cdot 16,622} = 0,368;$$

$$P(24,933) = e^{-0,06 \cdot 24,933} = 0,223.$$

### Задача 3.1. Продуктивність транспортних засобів безперервної дії

№	Задані величини і що необхідно визначити												
	$Q_{зм},$ Т/ЗМ	$Q_p = Q_T,$ Т/ГОД	$q,$ КГ/М	$m,$ КГ	$L,$ М	$\rho,$ Т/М <sup>3</sup>	$S_{жк},$ М <sup>2</sup>	$\psi_{жк} = \psi$	$k$	$k_m = k_p$	$t_{зм},$ ГОД	$v,$ М/С	При- мітка
1-31	1600	230	?	4200	?	1	0,09	?	?	0,8	8	1,5	
			43,8		95,9			0,3	0,92				

#### Приклад вирішення

Лінійну масу вантажу можна одержати з:  $Q_T = 3,6 \cdot q \cdot v$  (оскільки невідома довжина  $L$ )

$$q = \frac{Q_p}{3,6 \cdot v} = \frac{230}{3,6 \cdot 1,5} = 42,6 \text{ кг/м.}$$

Довжина транспортування визначається із лінійної маси вантажу:  $q = \frac{m}{L};$

$$L = \frac{m}{q} = \frac{4200}{42,6} = 98,6 \text{ м,}$$

$$k \text{ знайдемо з } Q_p = \frac{Q_{зм} \cdot k}{t_{зм} \cdot k_m} \text{ Т/ГОД, тоді } k = \frac{Q_p \cdot t_{зм} \cdot k_m}{Q_{зм}} = \frac{230 \cdot 8 \cdot 0,8}{1600} = 0,92.$$

Коефіцієнт заповнення теоретичного переріза  $\psi$  знайдемо з  $Q_T = 3600 \cdot S_{жк} \cdot \psi \cdot \rho \cdot v.$

$$\psi = \frac{Q_T}{3600 \cdot S_{жк} \cdot \rho \cdot v} = \frac{1600}{3600 \cdot 0,09 \cdot 1 \cdot 1,5} = 0,3.$$

### Задача 3.2. Продуктивність транспортних засобів періодичної дії

№	Задані величини і що необхідно визначити													
	$Q_{зм},$ Т/ЗМ	$Q_p = Q_T,$ Т/ГОД	$z,$ шт.	$m,$ КГ	$T_p = T_{ц},$ С	$L,$ М	$v_{х3},$ М/С	$v_{р3},$ М/С	$k_{цн}$	$\theta,$ С	$k$	$k_p$	$t_{зм},$ ГОД	Примітка
1-31	480	150	?	1900	350	?	3	2	0,8	100	?	0,8	6	
			8			240					1,5			

**Приклад рішення**

Кількість судин у складі визначається з розрахункової продуктивності:

$$Q_T = Q_p = \frac{3,6 \cdot z \cdot m}{T} \text{ т/год};$$

$$z = \frac{Q_p \cdot T_u}{3,6 \cdot m} = \frac{150 \cdot 350}{3,6 \cdot 1900} = 7,65 \text{ шт.}, \text{ приймаємо } 8 \text{ шт.}$$

Із часу цикла  $T = \frac{L}{k_\theta \cdot v_x} + \frac{L}{k_\theta \cdot v_p} + \theta$  знайдемо довжину маршрута  $L$ :

$$L = \frac{T - \theta}{\frac{1}{k_\theta \cdot v_x} + \frac{1}{k_\theta \cdot v_p}} = \frac{350 - 100}{\frac{1}{0,8 \cdot 3} + \frac{1}{0,8 \cdot 2}} = \frac{250}{0,416 + 0,625} \cong 240 \text{ м.}$$

Із  $Q_{зм} = Q_p \cdot t_{зм} \cdot \frac{k_p}{k}$  знайдемо  $k$ :  $k = Q_p \cdot t_{зм} \cdot \frac{k_p}{Q_{зм}} = \frac{150 \cdot 6 \cdot 0,8}{480} = 1,5$ .

**Задача 3.3. Резерв продуктивності засобів транспорту**

№	Задані величини і що необхідно визначити													
	$Q_{зм}^\phi$ , т/зм	$Q_{зм}^H$ , т/зм	$k^\phi$	$k^H$	$k_{зм}^\phi$	$k_{зм}^H$	$r$	$t_{зм}$ , год	$t_{зм}^\phi$ , год	$t_{зм}^H$ , год	$Q_{max}^\phi$ , т/год	$Q_{ср.зм}^\phi$ , т/год	$Q_T$ , т/год	Примітки
1-31	1800	?	1,5	1,7	0,9	?	?	6	?	5	?	?	380	
		1113				0,83	0,62		5,4		500	333		

**Приклад рішення**

$$k_i^i = \frac{t_i^i}{t_{ci}} = \frac{5}{6} = 0,83; Q_{зм}^H = \frac{Q_T \cdot t_{зм} \cdot k_{зм}^H}{k^H} = \frac{380 \cdot 6 \cdot 0,83}{1,7} = 1118 \text{ т/зм}; r = \frac{Q_{зм}^H}{Q_{зм}^\phi} = \frac{1118}{1800} = 0,62.$$

Якщо  $r < 1$ , то нормативні (розрахункові) значення  $k_n$ ,  $k_i^i$ ,  $k_i$  занижені.

При цьому  $Q_{зм}^H < Q_{зм}^\phi$ , що свідчить про відсутність резерву.

Фактичний робочий час  $t_p = t_m = t_{зм} \cdot k_{зм}^\phi = 6 \cdot 0,9 = 5,4$  год.

Середня фактична годинна продуктивність  $Q_{ср.зм}^\phi = \frac{Q_{зм}^\phi}{t_m^\phi} = \frac{1800}{5,4} = 333$  т/год.

Максимальна фактична годинна продуктивність  $Q_{max}^\phi = Q_{ср}^\phi \cdot k^\phi = 333 \cdot 1,5 = 500$  т/год.

**Завдання 4.1. Сила тяги для переміщення зосереджених вантажів**

№	Задані величини і що необхідно визначити										Примітка
	Кут нахилу площини руху $\beta$ , град.	Маса вантажу $m$ , кг	Вага вантажу $G$ , Н	Коефіцієнт опору руху $\omega$	Напрямок і величина прикладення сили $F$ , Н		Рухається тіло		Величина прискорення (уповільнення) руху $a$ , м/с <sup>2</sup>		
					вгору	вниз	вгору	вниз	прискорення +	уповільнен. -	
31	12	1500	?	0,4	1700	-	?	?	?	?	
			14715				-	-	-	-	
							-	-	-	-4,8	
							-	-	-	-2,9	

**Приклад рішення**

Вага вантажу  $G = m \cdot g = 1500 \cdot 9,81 = 14715 \text{ Н}$ .

Сила опору від тертя спрямована в бік, протилежний руху.

$$W = m \cdot g \cdot \omega \cdot \cos \beta = 1500 \cdot 9,81 \cdot 0,4 \cdot 0,98 = 5768 \text{ Н}$$

Поздовжня складова ваги в спокої або в русі завжди спрямована вниз:

$$T = m \cdot g \cdot \sin \beta = 1500 \cdot 9,81 \cdot 0,21 = 3090 \text{ Н}$$

**Вар. 1.** Вантаж у стані спокою на похилій площині. У цьому випадку вантаж прагне зрушитися вниз і рівняння рівноваги:  $T = F + W_{cn}$ , звідки  $W_{cn} = T - F = 3090 - 1700 = 1390 \text{ Н}$ .

Оскільки  $W_{cn} < W$ , тут використовується (неповна) сила тертя спокою й тіло залишається нерухомим.

**Вар. 2.** Вантаж від зовнішньої сили (поштовху) рухається нагору. Після дії цієї сили й початку руху рівняння руху:  $F = T + W + P_i$ , звідки  $P_i = F - T - W$ .

$$\text{Оскільки } P_i = m \cdot a, \text{ то з } a = \frac{F - T - W}{m} = \frac{1700 - 3090 - 5768}{1500} = -4,8 \text{ м/с}^2.$$

**Вар. 3.** Вантаж від зовнішньої сили (поштовху) рухається вниз. Після дії сили, що штовхає, рівняння руху  $T = F + W + P_u$ , звідки аналогічно вар. 2 з

$$a = \frac{T - F - W}{m} = \frac{3090 - 1700 - 5768}{1500} = -2,9 \text{ м/с}^2.$$

**Завдання 4.2. Сила тяги для переміщення розподілених вантажів на прямолінійних ділянках**

Задані величини і що необхідно визначити														
№	Кути нахилу площини руху $\beta$ , град.	Довжина транспортування, $L$ , м	Маса, кг на довжині $L$ , м		Лінійна маса		Коеф. опору руху		Натяг тягового органа по кінцях відрізка		Рухається відрізок		Величина прискорення $a$ , м/с <sup>2</sup>	Примітка
			рух. частин тр. засобу $m_0$ , кг	вантажів $m_{em}$ , кг	рух. частин тр. засобу, $q_0$ , кг/м	вантажів $q_{em}$ , кг/м	рух. частин тр. засобу $\omega_0$	вантажів $\omega_{em}$	верхній кінець, $F_в$ , Н	нижній кінець, $F_н$ , Н	вгору	вниз		
31	3	100	500	800	?	?	0,3	0,5	600	1500	?	?	?	
					5	8					-	-	-	

**Приклад рішення**

Лінійна маса: рухомих частин  $q_0 = \frac{500}{100} = 5 \text{ кг/м}$ ; вантажів  $q_{em} = \frac{800}{100} = 8 \text{ кг/м}$ .

Поздовжня складова (спрямована вниз) ваги рухомих частин і вантажів

$$T = (m_0 + m_{em}) g \cdot \sin \beta = (800 + 500) \cdot 9,81 \cdot 0,05 = 638 \text{ Н}$$

Сила опору від тертя при русі (спрямована проти руху)

$$W = (m_0 \omega_0 + m_{em} \omega_{em}) \cdot g \cdot \cos \beta = (500 \cdot 0,3 + 800 \cdot 0,5) \cdot 9,81 \cdot 0,998 = 5395 \text{ Н}$$

Для руху нагору з постійною швидкістю ( $a = 0$ ) повинна бути нагору прикладена сила

$$F' = T + W + F_н = 638 + 5395 + 1500 = 7593 \text{ Н}$$

Ця сила більше прикладеної  $F_в = 600 \text{ Н}$ , тому вантаж нерухомий.

Для руху вниз аналогічно  $F'' = F_в + W = 600 + 5395 = 5995 \text{ Н}$ .

Прикладено вниз усього  $F = F_н + T = 1500 + 638 = 2138 \text{ Н}$ , отже, вантаж нерухомий.

### Задача 5. Розрахункова потужність двигуна

№	Значення величин тягового зусилля $F$ кН, часу їх дії $t$ с і часу паузи за цикл $\Theta$ с									Розрахункові значення		Примітка
	$F_1$	$t_1$	$F_2$	$t_2$	$F_3$	$t_3$	$F_4$	$t_4$	$\Theta$	Потужність двигуна $N_p$ , кВт	Коефіцієнт перевантажувальної здатності по максимальній силі тяги $\lambda$	
31	12	420	77	210	12	400	32	320	126	?	?	
										66,9	2,93	

#### Приклад рішення

Еквівалентне тягове зусилля двигуна  $F_e = \sqrt{\frac{F_1^2 \cdot t_1 + F_2^2 \cdot t_2 + \dots + F_n^2 \cdot t_n}{t_1 + t_2 + \dots + t_n + c_1 \cdot \theta}}$ , кН;

$$F_e = \sqrt{\frac{F_1^2 \cdot t_1 + F_2^2 \cdot t_2 + F_3^2 \cdot t_3 + F_4^2 \cdot t_4}{t_1 + t_2 + t_3 + t_4 + c_1 \cdot \theta}} = \sqrt{\frac{12^2 \cdot 420 + 77^2 \cdot 210 + 12^2 \cdot 400 + 32^2 \cdot 320}{420 + 210 + 400 + 320 + 0,35 \cdot 126}} = 32,8 \text{ кН.}$$

$$\text{Потужність двигуна: } N = \frac{F_e \cdot v}{1000 \cdot \eta} = \frac{32800 \cdot 2,0}{1000 \cdot 0,98} = 66,9 \text{ кВт.}$$

номінальна швидкість тягового органа  $v = 2,0$  м/с;

сумарна тривалість зупинок за цикл,  $\Theta = 126$  с;

коефіцієнт корисної дії (ККД)  $\eta = 0,98$ ;

Коефіцієнт перевантажувальної здатності по max силі тяги  $\lambda$ :

$$\lambda_{розр} = 1,25 \frac{F_{макс}}{F_{ном}}$$

Тут  $\lambda_{розр}$  – розрахункове значення відношення максимального моменту до номінального (необхідна кратність моменту двигуна);

1,25 – коефіцієнт, що враховує зниження моменту двигуна через можливе спадання напруги в мережі;

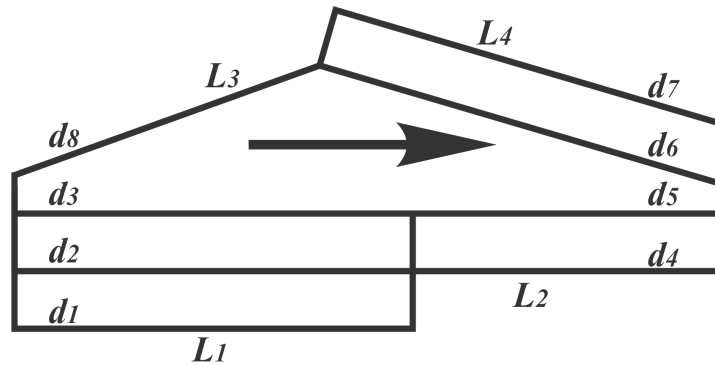
$F_{max}$  – максимальне тягове зусилля двигуна (приймається найбільше із вхідних у розрахунок ефективної сили  $F_e$ );  $F_{max} = F_2 = 77$  кН;

$F_{ном}$  – номінальне тягове зусилля двигуна (за умовою задачі приймаємо рівним  $F_e$ ).  
 $F_{ном} = 32,8$  кН.

$$\lambda_{розр} = \frac{1,25 \cdot 77}{32,8} = 2,93.$$

Якщо за каталогом обраний двигун потужністю близько 70 кВт, і для нього перевантаження буде перевершувати допустиме, необхідно прийняти двигун більшої потужності й поррахувати для нього  $F_{ном}$  і  $\lambda_{розр}$ .

### Задача 6. Еквівалентний діаметр для складної ділянки газопроводу



№	Діаметри відрізків трубопроводу, мм								Довжини відрізків трубопроводу, км				Еквівалентний діаметр, мм
	$d_1$	$d_2$	$d_3$	$d_4$	$d_5$	$d_6$	$d_7$	$d_8$	$L_1$	$L_2$	$L_3$	$L_4$	
31	630	720	820	920	1020	1120	1220	1420	35	15	25	25	?
													1729

#### Приклад рішення

На ділянці  $L_1$ :

$$d_{e1}^{2,6} = \sum_{i=1}^3 d_i^{2,6} \Rightarrow d_{e1} = \sqrt[13]{(d_1^{2,6} + d_2^{2,6} + d_3^{2,6})^5} = \sqrt[13]{(630^{2,6} + 720^{2,6} + 820^{2,6})^5} = 1114 \text{ мм.}$$

На ділянці  $L_2$ :

$$d_{e2}^{2,6} = \sum_{i=4}^5 d_i^{2,6} \Rightarrow d_{e2} = \sqrt[13]{(d_4^{2,6} + d_5^{2,6})^5} = \sqrt[13]{(920^{2,6} + 1020^{2,6})^5} = 1269 \text{ мм.}$$

На ділянці  $L_3$ :

$$d_{e3} = d_8 = 1420 \text{ мм.}$$

На ділянці  $L_4$ :

$$d_{e4}^{2,6} = \sum_{i=6}^7 d_i^{2,6} \Rightarrow d_{e4} = \sqrt[13]{(d_6^{2,6} + d_7^{2,6})^5} = \sqrt[13]{(1120^{2,6} + 1220^{2,6})^5} = 1530 \text{ мм.}$$

Знайдемо еквівалентний діаметр для послідовних ділянок  $L_1$  та  $L_2$ , які, відповідно, складаються з трьох і двох паралельних трубопроводів:

$$\frac{L}{d_{ei}^{5,2}} = \frac{L_1}{d_{e1}^{5,2}} + \frac{L_2}{d_{e2}^{5,2}} \Rightarrow d_{ei} = \sqrt[26]{\left(\frac{L}{\left(\frac{L_1}{d_{e1}^{5,2}} + \frac{L_2}{d_{e2}^{5,2}}\right)}\right)^5} = \sqrt[26]{\left(\frac{50000}{\left(\frac{35000}{1,114^{5,2}} + \frac{15000}{1,269^{5,2}}\right)}\right)^5} = 1149 \text{ мм.}$$

де  $L = L_1 + L_2 = L_3 + L_4$ . – загальна довжина складної ділянки газопроводу.

Відповідно – для ділянок  $L_3$  та  $L_4$ :

$$\frac{L}{d_{ell}^{5,2}} = \frac{L_3}{d_{e3}^{5,2}} + \frac{L_4}{d_{e4}^{5,2}} \Rightarrow d_{ell} = \sqrt[26]{\left(\frac{L}{\left(\frac{L_3}{d_{e3}^{5,2}} + \frac{L_4}{d_{e4}^{5,2}}\right)}\right)^5} = \sqrt[26]{\left(\frac{50000}{\left(\frac{25000}{1,420^{5,2}} + \frac{25000}{1,530^{5,2}}\right)}\right)^5} = 1469 \text{ мм.}$$

Остаточню еквівалентний діаметр складної ділянки газопроводу, за умови що  $L = L_1 + L_2 = L_3 + L_4$ , буде:

$$d_e^{2,6} = d_{el}^{2,6} + d_{ell}^{2,6} \Rightarrow d_e = \sqrt[13]{\left(d_{el}^{2,6} + d_{ell}^{2,6}\right)^5} = \sqrt[13]{\left(1,149^{2,6} + 1,469^{2,6}\right)^5} = 1729 \text{ мм.}$$

### **Додаток Г. Критерії та процедури оцінювання**

Розв'язання складних непередбачуваних задач і проблем у спеціалізованих сферах професійної діяльності та/або навчання, що передбачає збирання та інтерпретацію інформації (даних), вибір методів та інструментальних засобів, застосування інноваційних підходів	Відповідь характеризує уміння: - виявляти проблеми; - формулювати гіпотези; - розв'язувати проблеми; - обирати адекватні методи та інструментальні засоби; - збирати та логічно й зрозуміло інтерпретувати інформацію; - використовувати інноваційні підходи до розв'язання завдання	95 – 100
	Відповідь характеризує уміння застосовувати знання в практичній діяльності з негрубими помилками	90 – 94
	Відповідь характеризує уміння застосовувати знання в практичній діяльності, але має певні неточності при реалізації однієї вимоги	85 – 89
	Відповідь характеризує уміння застосовувати знання в практичній діяльності, але має певні неточності при реалізації двох вимог	80 – 84
	Відповідь характеризує уміння застосовувати знання в практичній діяльності, але має певні неточності при реалізації трьох вимог	75 – 79
	Відповідь характеризує уміння застосовувати знання в практичній діяльності, але має певні неточності при реалізації чотирьох вимог	70 – 74
	Відповідь характеризує уміння застосовувати знання в практичній діяльності при виконанні завдань за зразком	65 – 69
	Відповідь характеризує застосовувати знання при виконанні завдань за зразком, але з неточностями	60 – 64
Рівень умінь незадовільний	< 60	



## Бібліографічний список

1. Основи теорії та розрахунки засобів транспортування вантажів шахт: Навч. посібник. – 2-е вид. / М.Я. Біліченко, О.В. Денищенко. – Д.: НГУ, 2008. – 103 с.
2. Транспорт на гірничих підприємствах: Підручник для вузів. – 3-є вид. / Заг. редагування доповнень проф. М.Я. Біліченка – Д.: НГУ, 2005. – 636 с.
3. Салов. В.О. Основи експлуатаційних розрахунків транспорту гірничих підприємств: Навч. посібник.– Д.: НГУ, 2005. – 199 с.
4. Збірник задач з дисципліни “Основи теорії транспорту”: Навч. посібник / М.Я. Біліченко, Є.А. Коровяка, П.А. Дьячков, В.О. Расцветаєв – Д.: НГУ, 2007. – 151 с.
5. Трубопроводний транспорт газу: підручник / В.К. Каперович. – Івано-Франківськ: ІФНТУНГ, 1999. – 198 с.  
Режим доступу: [http:// www//tst.nmu.org.ua](http://www//tst.nmu.org.ua)

Навчальне видання

Коровяка Євгеній Анатолійович  
Денищенко Олександр Валерійович  
Расцветаєв Валерій Олександрович

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ  
до виконання практичних робіт  
з дисципліни «Транспортні системи та технології»

Підписано до виходу в світ 03.05.2018.  
Електронний ресурс.

Видано  
у Державному вищому навчальному закладі  
«Національний гірничий університет».  
Свідоцтво про внесення до Державного реєстру ДК № 1842 від 11.06.2004.  
49005, м. Дніпро, просп. Д. Яворницького, 19.