

## ΗΛΕΚΤΡΙΚΑ ΚΙΝΗΤΗΡΙΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ Ι

### Μηχανές Παραγωγής Έργου (ΜΠΕ)

Για την σχεδίαση του κινητηρίου συστήματος είναι απαραίτητη η γνώση των απαιτήσεων που επιβάλλει η ΜΠΕ στον κινητήρα οδηγήσεως σύμφωνα με την μέθοδο παραγωγής και την τεχνολογία. Κατόπιν πρέπει να εξετασθούν οι ιδιότητες της ΜΠΕ και να ταξινομηθούν οι ΜΠΕ με βάση αυτές τις ιδιότητες. Παρακάτω θα καθοριστούν οι απαιτήσεις της ΜΠΕ σε ισχύ και θα εξετασθούν οι διάφοροι τύποι ανάλογα με την συμπεριφορά τους κατά την φόρτιση.

### Υπολογισμός της ισχύος του κινητηρίου συστήματος

Για να καθοριστούν τα μεγέθη του κινητήρα οδηγήσεως είναι απαραίτητη η γνώση των απαιτήσεων της ΜΠΕ σε μηχανική ισχύ. Η ισχύς αυτή συχνά μπορεί να υπολογιστεί με τους νόμους της μηχανικής, η παραγωγή των οποίων θεωρείται γνωστή από την βιβλιογραφία. Παρακάτω θα αναφερθούν μόνο οι πιο σημαντικές σχέσεις της ευθύγραμμης και της περιστροφικής κίνησης για μερικές απλές μηχανές παραγωγής έργου.

### Ευθύγραμμη κίνηση

Μια δύναμη  $F$  (βάρος  $G$ , τριβή, αντίσταση αέρα) που επιβάλλεται με ταχύτητα  $v$  (πχ. σε όχημα, εργαλειομηχανή) έχει σαν αποτέλεσμα την παραγωγή Μηχανικής ισχύος  $P_m$

$$P_m = vF$$

Η γενική  $F$  σαν συνάρτηση της μάζας  $m$  και της επιτάχυνσης  $a$  γενικά είναι:

$$F = ma$$

Όταν μια μάζα κινείται κάτω από την επίδραση της βαρύτητας  $g$ , η δύναμη  $F$  είναι:

$$F = mg$$

Οι περισσότερες ΜΠΕ έχουν απώλειες που παίρνονται υπόψη με τον βαθμό αποδόσεως  $\eta$ . Έτσι προκύπτει η εξής απαιτούμενη ισχύς  $P_L$  της μηχανής παραγωγής έργου

$$P_L = Fv/\eta$$

Η μάζα  $m$  μετρείται σε γραμμάρια (g), η δύναμη  $F$  σε Newton

(1 N = 1 mkg/s<sup>2</sup> = 0.102 kp) και η μηχανική ισχύς  $P_L$  σε Watt

(1KW = 1 kNm/s = 1.36 PS = 102 kmp/s).

Περιστροφική κίνηση

Ο κινητήρας οδηγήσεως πρέπει να μεταφέρει στην μηχανή παραγωγής έργου την Ροπή στρέψεως  $M$

$$M = Fr$$

Αυτή μπορεί να γίνει αντιληπτή σαν περιφερειακή δύναμη  $F$  που επιβάλλεται στον μοχλοβραχίονα  $r$  του Σχ. . Αν η γωνιακή ταχύτητα  $\omega$  είναι

$$\omega = 2\pi n$$

και οι στροφές που επικρατούν στην ακτίνα  $r$  είναι  $n$ , τότε η περιφερειακή ταχύτητα  $v$  είναι

$$v = \omega r = 2\pi nr$$

και η μηχανική ισχύς  $P_m$  είναι

$$P_m = vF = \omega M = 2\pi nM$$

Όταν η ροπή στρέψεως  $M$  μεταδίδεται στον άξονα του κινητήρα, υπάρχει και ο βαθμός αποδόσεως  $\eta$  που πρέπει να ληφθεί υπόψη και έτσι η απαιτούμενη ισχύς του κινητήρα συστήματος είναι

$$P_L = \omega M/\eta = 2\pi nM/\eta$$

Η ροπή στρέψεως  $M$  μετρείται σε Nm

(1 Nm = 1 J = 1 WS = 0.102 kpm).

Έτσι είναι σκόπιμο ο αριθμός των στροφών  $n$  είναι σε rpm, η ροπή στρέψεως  $M$  είναι σε kpm και η ισχύς  $P_m$  σε KW ή PS. Τότε θα υπάρχουν οι εξής σχέσεις μετατροπής :

$$P_m = nM/974 \text{ (KW)}$$

$$P_m = nM/716 \text{ (PS)}$$

Μετατροπή της ευθύγραμμης κίνησης σε περιστροφική

Οι γερανοί, τα βαρούλκα και οι μηχανές οχημάτων έχουν τόσο μέρη που κινούνται ευθύγραμμα όσο και μέρη που περιστρέφονται. Για απλούστευση των υπολογισμών πρέπει συχνά αυτές οι κινήσεις να μετατρέπονται από το ένα είδος στο άλλο. Γενικά είναι πολύ σημαντικό να συσχετιστούν όλα τα μεγέθη με τον κινητήρα οδηγήσεως και η ευθύγραμμη κίνηση να μετατραπεί στην περιστροφική κίνηση. Αν η μηχανική ισχύς κατά την μετατροπή θεωρηθεί σταθερή, από τη σχέση....., προκύπτει η απαραίτητη ροπή στρέψεως

$$M = vF/\omega = vF/(2\pi n)$$

Εάν υπάρχει βαθμός αποδόσεως κατά την μετατροπή θα πρέπει να ληφθεί κατάλληλα υπόψη στην εξίσωση των δυο ισχύων.\

Αναγωγή της ροπής στρέψεως σε άλλο αριθμό στροφών

Σε κινητήρια συστήματα που εκτελούν διάφορες κινήσεις, υπάρχουν άξονες με διαφορετικούς αριθμούς στροφών  $n^*$  και ροπές  $M^*$ . Τότε είναι πολύ σημαντική η αναγωγή της ροπής στρέψεως σε άλλο αριθμό στροφών με την προϋπόθεση ότι διατηρείται σταθερή η μηχανική ισχύς  $P_m = \omega M = \omega^* M^*$  στην γωνιακή ταχύτητα  $\omega$  του κινητήρα. Έτσι η αναγωγή της ροπής στρέψεως που προέρχεται από τον άξονα του κινητήρα δίνει

$$M = M^* \omega / \omega^* = M^* n^* / n$$

Με τον τρόπο αυτό μπορεί να αναχθεί η ροπή στρέψεως από μεγαλύτερο αριθμό στροφών σε μικρότερο και αντίστροφα.

## Κινητήρια ισχύς ορισμένων μηχανών παραγωγής έργου

Η εφαρμογή βασικών σχέσεων της μηχανικής που αναπτύχθηκαν στο προηγούμενο κεφάλαιο σε συγκεκριμένη μηχανή παραγωγής έργου παρουσιάζει ορισμένες δυσκολίες. Έτσι θα παρουσιαστεί ο υπολογισμός της απαραίτητης ισχύος για την μόνιμη λειτουργία σε ορισμένα είδη μηχανών παραγωγής έργου που εμφανίζονται συχνά. Για περισσότερες πληροφορίες πρέπει να χρησιμοποιηθεί η αντίστοιχη ειδική βιβλιογραφία.

### Ανεμιστήρες

Η απαραίτητη μηχανική ισχύς δίνεται από την σχέση

$$P_L = \Phi p_g / n = \Phi (p_s + p_d) / n = \Phi (\lambda l \rho v^2 / (2d) + \rho v^2 / 2) / n$$

Όπου

$\Phi$  είναι η παροχή αέρα σε  $m^3/s$

$p_s$  είναι η στατική πίεση για την υπερκίνηση της αντίστασης της διαδρομής του αέρα σε  $N/m^2$

$p_d$  είναι η δυναμική πίεση λόγω της ταχύτητας του κινούμενου αέρα σε  $N/m^2$

$\eta$  είναι ο βαθμός αποδόσεως του ανεμιστήρα με τιμές που κυμαίνονται από 0.3 για ισχύς της τάξεως των 10 KW και 0.65 για ισχύς της τάξεως των 100 KW

$\lambda$  είναι ο συντελεστής τριβής του αέρα

$l$  είναι το μήκος του σωλήνα  $m$

$d$  είναι η εσωτερική διάμετρος του σωλήνα σε  $m$

$\rho$  είναι η πυκνότητα του αέρα που είναι  $1.2 \text{ kg/m}^3$  στους  $20^\circ \text{ C}$

$v$  είναι η ταχύτητα του αέρα σε  $m/s$

Στην  $p_s$  πρέπει να προστεθούν και οι απώλειες πίεσεως στις καμπυλότητες, τα φίλτρα, τις βαλβίδες κλπ των σωλήνων με την μορφή της ισοδύναμης πίεσης  $\Delta p_k$  σε  $N/m^2$ .

## Αντλίες

Για μεγάλες πιέσεις και μανομετρικά ύψη χρησιμοποιούνται εμβολοφόρες αντλίες. Η παροχή εξαρτάται από το ύψος και τις αντιστάσεις ροής. Για μικρά ύψη χρησιμοποιούνται περιστροφικές αντλίες.

Η κινητήρια ισχύς είναι

$$P_L = \Phi p_g / \eta = \Phi (H_N \rho g + \rho v^2 / 2 + \lambda \rho v^2 / (2d)) / \eta$$

Όπου

$H_N$  το απαραίτητο ισοδύναμο ύψος λόγω καμπυλοτήτων, βαλβίδων κλπ σε m

$G$  η επιτάχυνση της βαρύτητας που είναι  $9.81 \text{ m/s}^2$

$N$  ο βαθμός αποδόσεως που είναι  $0.8 - 0.95$  για εμβολοφόρες αντλίες και  $0.5 - 0.85$  για περιστροφικές αντλίες.

## Εργαλειομηχανές αφαιρέσεως υλικού

Παρακάτω θα υπολογιστούν με απλές σχέσεις οι απαραίτητες ισχύς του τόννου, της φρέζας και του τρυπανιού. Γενικά η μηχανική ισχύς των εργαλειομηχανών αυτών είναι

$$P_L = A_s p_s v / \eta$$

Όπου

$A_s$  η διατομή κοπής  $\text{m}^2$

$p_s$  η πίεση κοπής σε  $\text{N/mm}^2$  που πρέπει να είναι 3-5 φορές μεγαλύτερη από την αντοχή του υλικού

$v$  η ταχύτητα κοπής σε  $\text{m/s}$

$\eta$  ο βαθμός αποδόσεως που κυμαίνεται από  $0.7 - 0.8$

Η παραπάνω σχέση ισχύος εξειδικεύεται ως εξής:

A. τόννος

$$P_L = bs_v p_s v_v / n$$

$$A_s = bs_v$$

$$v_L = ns_v$$

$$n = v / (\pi D)$$

όπου

b είναι το πλάτος κοπής σε mm

$s_v$  είναι η πρόωση ανά περιστροφή σε mm/U

$v_v$  είναι η ταχύτητα προώσεως σε mm/min

n είναι η ταχύτητα περιστροφής σε rpm

D είναι η διάμετρος του τόννου σε mm

B. Φρέζα

$$P_L = abp_s v_v / n$$

$$A_s = ab$$

$$v_v = s_z z n$$

$$n = v / (pD)$$

όπου

a είναι το βάθος κοπής σε mm

b είναι το πλάτος της φρέζας σε mm

z είναι ο αριθμός δοντιών της φρέζας

D είναι η διάμετρος της φρέζας σε mm

$s_z$  είναι η πρόωση ανά δόντι σε mm

Γ. Τρυπάνι

$$P_L = \pi D^2 p_s v_v / (4n)$$

$$A_s = \pi D^2 / 4$$

$$v_v = v_{s_v} / (\pi D) = n s_v$$

όπου

$s_v$  είναι η πρόωση ανά περιστροφή σε mm/U

D είναι η διάμετρος του τρυπανιού σε mm

Γερανογέφυρες

Οι γερανογέφυρες συνήθως επιτρέπουν την κίνηση των φορτίων παράλληλα, εγκάρσια, άνω και κάτω με την βοήθεια τριών κινητήρων, για την παράλληλη ολίσθηση σε ράγιες, την εγκάρσια κίνηση και την ανύψωση φορτίων.

Η ισχύς ανυψώσεως  $P_{LH}$  είναι

$$P_{LH} = F_H U_H / \eta_H$$

Όπου

$F_H$  είναι το ωφέλιμο φορτίο και το βάρος του γάντζου σε N

$U_H$  είναι η ταχύτητα ανυψώσεως σε m/min

$\eta_H$  είναι ο βαθμός αποδόσεως που εξαρτάται από 0.9 ως 0.98

Η ισχύς εγκάρσιας κίνησης  $P_{WH}$  είναι

$$P_{WH} = (F_H + F_K) W_K U_K / \eta_K$$

Όπου

$F_K$  το βάρος του μηχανισμού της εγκάρσιας κίνησης σε N

$W_K$  η ειδική αντίσταση προώσεως που κυμαίνεται από 20-30 N/(1000 N) για κίνηση σε ολισθητήρες και από 1-5 N/(1000 N) για κίνηση σε κυλίνδρους

$U_K$  η ταχύτητα εγκάρσιας προώσεως σε m/min

$n_K$  ο βαθμός αποδόσεως εγκάρσιας κίνησης

Η ισχύς οριζόντιας κίνησης  $P_{WL}$  είναι

$$P_{WL} = (F_H + F_K + F_L) W_F U_L / n_L$$

Όπου

$F_L$  είναι το βάρος του μηχανισμού της οριζόντιας κίνησης

$U_L$  είναι η ταχύτητα οριζόντιας προώσεως σε m/min

$n_L$  είναι ο βαθμός αποδόσεως οριζόντιας κίνησης

Ανελκυστήρες

Χρησιμοποιούνται για την μεταφορά φορτίων και προσώπων με την χρησιμοποίηση τυμπάνου, συρματόσχοινο και αντιβάρου.

Η απαραίτητη μηχανική ισχύς είναι

$$P_W = P_u / n$$

$$F = F_N + F_F - F_g$$

$$F_g = F_F + F_N / 2$$

Όπου

$F$  η συνολική δύναμη στο συρματόσχοινο σε N

$F_F$  το φορτίο του θαλάμου σε N

$F_N$  το ωφέλιμο φορτίο σε N

$F_g$  το φορτίο του αντίβαρου σε N

$u$  η ταχύτητα κινήσεως σε m/s



n ο βαθμός αποδόσεως

### Μεταφορικά οχήματα

Τα παρακάτω αναφέρονται σε ηλεκτροκίνητα οχήματα που κινούνται είτε σε σιδηροτροχιές είτε σε οδόστρωμα

Η απαραίτητη ισχύς είναι

$$P_W = Fv/n$$

$$F = (F_T + zF_A) (W_F + W_S)$$

Όπου

F είναι η ελκτική δύναμη σε N

$F_T$  είναι το βάρος του κενού οχήματος σε N

$F_A$  είναι το βάρος κάθε επιβάτη σε N

z είναι ο αριθμός επιβατών

$W_F$  είναι η ειδική αντίσταση κινήσεως που είναι 8-10 N/(1000 N) για κίνηση σε σιδηροτροχιές

$W_S$  είναι η ειδική αντίσταση ανηφορικής διαδρομής και εκφράζεται σαν κλίση S σε N/(1000 N)

ή είναι ο βαθμός αποδόσεως

### Χαρακτηριστικές καμπύλες φορτίου ΜΠΕ

Μόνο σε εξαιρετικές περιπτώσεις οι μηχανικές ισχύς που υπολογίστηκαν σε προηγούμενο Κεφ. απαιτούνται μόνιμα και συνέχεια από τον κινητήρα οδήγησεως. Συνήθως η κινητήρια ισχύς μεταβάλλεται και εξαρτάται τόσο από τον αριθμό στροφών όσο και από άλλους παράγοντες που θα αναφερθούν παρακάτω.

Φορτίο που εξαρτάται από τον αριθμό στροφών

Στο Σχ. φαίνονται τέσσερις μαθηματικά απλές ιδανικές χαρακτηριστικές φορτίου σε μεγέθη ανηγμένα στις ονομαστικές τιμές ως εξής:

$$M_{Lr} = M_L/M_{LN}, P_{Lr} = P_L/P_{LN}, n_r = n/n_N = \omega_r = \omega/\omega_N$$

Σταθερή κινητήρια ισχύς

Οι μηχανικές επεξεργασίας επιφανειών και οι μηχανές περιφερειακής επεξεργασίας έχουν βέλτιστη λειτουργία όταν είναι σταθερή η δύναμη τομής  $F$  και η ταχύτητα τομής  $v$  οπότε θα είναι σταθερή η απαιτούμενη ισχύς  $P_L = Fv = \omega M$  και η γωνιακή ταχύτητα  $\omega = v/r$ . Τότε η ροπή φορτίου θα είναι αντίστροφα ανάλογη της ταχύτητας και ανάλογη της ακτίνας περιστροφής  $r$ . Παρόμοια συμπεριφορά παρουσιάζουν οι τυλικτικές μηχανές και τα βαρούλκα, στις οποίες μια ταινία πρέπει να τυλιχθεί με σταθερή έλξη και σταθερή ταχύτητα μεταφοράς. Η μεγαλύτερη και η μικρότερη ακτίνα τυλίξεως καθορίζουν αντίστοιχα τον κατώτερο και ανώτερο αριθμό στροφών.

Σταθερή ροπή φορτίου

Στα ανυψωτικά μηχανήματα, τους ανελκυστήρες και τις τροχαλίες η μεταφερόμενη ροπή στρέψεως καθορίζεται από την δύναμη στην μάζα που ανυψώνεται και από την ακτίνα τυλίξεως. Τότε η ροπή  $M_L = Fr$  είναι σταθερή αφού η δύναμη  $F = mg$  και η ακτίνα  $r$  είναι σταθερές, ενώ η ισχύς  $P_L = \omega M$  είναι γραμμική συνάρτηση των στροφών. Όμοια συμπεριφέρονται και οι άλλες ΜΠΕ που εκτελούν ανυψωτική και παραμορφωτική εργασία όπως μύλοι, έλαστρα, επίπεδοι ιμάντες και εργαλειομηχανές με σταθερή δύναμη κοπής, διάμετρο περιστροφής και ταχύτητα κοπής, και μηχανισμοί προώσεως για περιστρεφόμενη κίνηση κοπής. Όμοια συμπεριφέρονται και οι ΜΠΕ νε εργασία τριβής όπως τα έδρανα, οι εμβολοφόρες αντλίες και συμπιεστές και οι αεραντλίες με αντίθληψη.

## Γραμμική ροπή φορτίου

Λίγες μόνο μηχανές παραγωγής έργου χρειάζονται ροπή φορτίου που αυξάνει γραμμικά με τον αριθμό στροφών και κινητήρια ισχύ που αυξάνει τετραγωνικά με τον αριθμό στροφών. Τέτοιες είναι οι στιλβωτικές μηχανές όπως οι κύλινδροι επεξεργασίας χαρτιού, υφάσματος ή ελαστικού στις οποίες η τριβή είναι ανάλογη της ταχύτητας.

## Τετραγωνική ροπή φορτίου

Συνήθως τέτοιας μορφής ροπή φορτίου παρουσιάζεται όταν πρέπει να ξεπεραστεί η αντίσταση ροής αέρα ή υγρού. Τότε η ροπή φορτίου εξαρτάται από το τετράγωνο και η κινητήρια ισχύς από τον κύβο του αριθμού στροφών. Τέτοιες ΜΠΕ είναι οι ανεμιστήρες όλων των τύπων, οι έλικες, οι φυγοκεντρικές αντλίες και συμπιεστές, οι φυγοκεντρικοί διαχωριστήρες και αναμικτήρες όπως και η υπερκίνηση της αντίστασης του αέρα από οχήματα και μεταφορικές και ανυψωτικές εγκαταστάσεις μεγάλης ταχύτητας.

Συχνά οι καμπύλες του Σχ. δεν έχουν αυτή την απλή μορφή. Συνήθως πάντα υπάρχει μια ροπή τριβών ανεξάρτητη από την ταχύτητα που μπορεί λόγω της μεγάλης τριβής ηρεμίας να είναι η αιτία για μια μεγάλη ροπή αποσπάσεως, οπότε η ροπή εκκινήσεως του κινητήρα οδηγήσεως πρέπει να είναι ικανή να την ξεπεράσει. Η ροπή αποσπάσεως μπορεί να φτάνει το 120 ως 130% της ονομαστικής ροπής φορτίου αλλά σε μερικές περιπτώσεις μετά από παρατεταμένη ακινησία μπορεί να φτάσει μέχρι το 250% σε περιστρεφόμενους κλιβάνους τσιμέντου και περιπτώσεις πριν από την εκκίνησης μεταξύ άξονα και εδράνου εισάγεται λάδι με πίεση για να μειωθεί η τριβή εκκινήσεως.

## Ροπή φορτίου που εξαρτάται από την γωνία

Στις μηχανές με έμβολα που εκτελούν παλινδρομική κίνηση η ροπή φορτίου μεταβάλλεται με την διαδρομή της δύναμης ενώ η κινούμενη μάζα υποβάλλεται σε μια ροπή φορτίου που εξαρτάται από την

στρεφόμενη γωνία. Αυτό φαίνεται και από το διάγραμμα του Σχ. που παρουσιάζει την κίνηση ενός εμβολοφόρου συμπιεστή.

Τα διαγράμματα περιστροφικής δύναμης μπορεί να παρουσιάζουν σημαντικές διαφορές για τα διάφορα φορτία. Παρόμοιες ροπές φορτίου που εξαρτώνται από την γωνία έχουν τα μορφοπιεστήρια, τα ψαλίδια μετάλλων, οι κοπτικές μηχανές και οι μύλοι κρούσεως. Τέτοιες μηχανές εφοδιάζονται με σφονδύλους για την μείωση των διακυμάνσεων της ισχύος τροφοδοσίας.

Ροπή φορτίου που εξαρτάται από την διαδρομή

Τέτοια συμπεριφορά παρουσιάζουν τα οχήματα που κινούνται με ηλεκτρικούς κινητήρες των οποίων η ροπή έλξεως μεταβάλλεται ανάλογα με την διαδρομή και είναι διαφορετική στην ανάβαση, την κατάβαση και τις στροφές. Όμοια συμπεριφορά παρουσιάζει ο οδοντωτός σιδηρόδρομος.

Ροπή φορτίου που εξαρτάται από τον χρόνο

Λίγα μόνο κινητήρια συστήματα φορτίζονται συνεχώς. Υπάρχουν πολλές παραγωγικές διαδικασίες που παρουσιάζουν περιοδική φόρτιση. Στο Σχ. φαίνεται σαν παράδειγμα η συμπεριφορά ενός φυγοκεντρικού διαχωριστήρα με τους χρόνους εκκίνησης  $t_{an}$ , λειτουργίας  $t_b$ , πέδησης  $t_r$  και ηρεμίας  $t_p$ , ενώ ο συνολικός χρόνος της περιόδου είναι  $t_s$ .

Ακανόνιστες μεν αλλά χρονικά εξαρτημένες φορτίσεις εμφανίζονται σε πολλές χειροκίνητες παραγωγικές διαδικασίες, σε ανυψωτικές και μεταφορικές εγκαταστάσεις, στις διάφορες αυτόματες εργαλειομηχανές και αλλού.

Σε όλες τις παραπάνω περιπτώσεις για να μπορεί να επιλεγεί η ισχύς του κινητήρα οδηγήσεως πρέπει να ορισθεί η μέση ενεργός κινητήρια ισχύς πράγμα που θα γίνει σε άλλο κεφάλαιο.

DO NOT COPY