

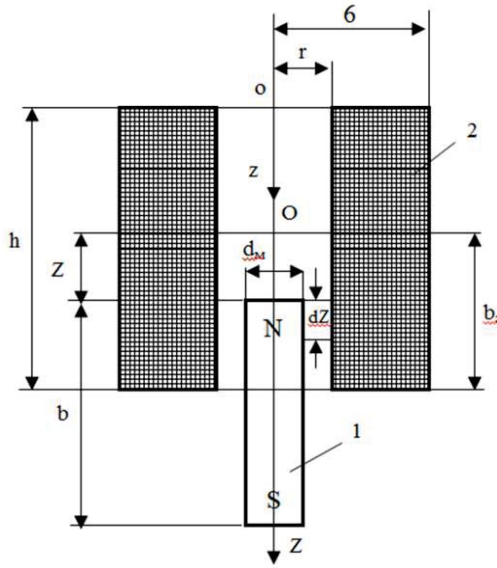
**UOT 621.317**

**B R K MAQN T MATER ALLI Ç L KL SOLENO D N  
ELEKTROMAQN T DARTI QÜVV S N NT Y N**

A.T. ALLAHVERD YEVA\*

---

M qal d b rk maqnit materiallı içlikli solenoidin elektromaqnit dartı qüvv sinin t yinind n b hs edilir. Maqnit levitasyonu prinsipind n istifad ed n cihazların i l nm si v layih edilm si zamanı maqnit içliyini v solenoidin yaratdıqları



Şəkl. 1. Solenoidin qüvvə xarakteristikalarını təyin edən tipik hesablama sxemi

Aparılmı t dciqatlara uy un olaraq maqnit içlikli solenoidin qar ılıqlı t sirinin elementar qüvvə  $dF$  b rab rdir:

$$dF_z = -dP_m \cdot \frac{dB_z}{dZ}, \quad (1)$$

Burada  $B_z$  - solenoidin oxu üzr yaranan maqnit induksiya,  $I$ ;  $dP_m$  - maqnitin elementar maqnit momenti,  $I^2$ .

$$dP_m = S \cdot di = S \cdot j_z \cdot dZ \quad (2)$$

burada  $S$  - maqnitin s thi molekulyar c r yanının  $I$  sah sinin konturu (maqnit içliyin en k sik sah si),  $I^2$ ;  $dI_M$  - maqnitin silindrik s thind ki  $dZ$  k siyind ki hündürlüyün elementar molekulyar c r yan,  $I$ ;  $j_z$  - maqnitin s thi molekulyar c r yanı,  $I / d$ .

(2) v (1) n z r alsaq:

$$dF = -S \cdot j_z \cdot dB_z \quad (3)$$

(3) ifad sini maqnit içliyin bütün  $b$  uzunlu u

boyu dair vi konturun molekulyar c r yanı  $I$  intiqrallasaq, alarıq:

$$\int_0^{F_z} dF_z = -S \cdot j_z \int_Z^{Z+b} dB_z,$$

buradan  $F_z = S \cdot j_z \cdot (B_z - B_{Z+b})$ .

M lum formula  $B_z = \mu_0 \cdot H_z$ , istifad ets k alarıq:

$$F_z = S \cdot j_z \cdot \mu_0 \cdot (H_z - H_{Z+b}). \quad (4)$$

burada  $H_z$   $H_{Z+b}$  - solenoidin yuxarı v a a ı hiss sind yerl n sabit maqnitin içliyin tutdu u v ziyi td ki sah g rginliyidir,  $I / d$ ;  $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$  Hs/ - havanın maqnit nüfuzlu udur.

Güman ed r k ki, onun oxuna yaxın solenoidin  $H_z$  sah g rginliyi radiallı ının eyni olmaması onun oxunun yaxınlı ında h miyy tsizdir, çoxqatlı solenoidin [3] maqnit sah sinin g rginliyinin düsturundan istifad ets k alarıq:

$$H_z = \frac{1}{2} \cdot W_0 \cdot W_0' \cdot I_c \cdot \left[ (Z + b_z) \cdot \ln \frac{R + \sqrt{R^2 + (Z + b_z)^2}}{r + \sqrt{r^2 + (Z + b_z)^2}} - (Z - b_z) \cdot \ln \frac{R + \sqrt{R^2 + (Z - b_z)^2}}{r + \sqrt{r^2 + (Z - b_z)^2}} \right] \quad (5)$$

Burada  $H_z$  - solenoidin oxu üz rind  $Z$  nöqt sind ki maqnit sah sinin g rginliyidir,  $I / d$ ;  $Z$  - maqnit içliyin yuxarı ucundan solenoidin m rk zin q d r olan m saf dir,  $I / d$ ;  $b_z$  - sar ının k narından solenoidin m rk zin q d r olan m saf,  $I / d$ .

$$b_z = 0.5h \quad (6)$$

$h$  - solenoid dola ının hündürlüyü,  $I$ ;  $I_s$  - solenoidin c r yanı,  $I$ ;  $W_0$  - solenoidin bir qatındaki sar ılar sayının vahid uzunluqdaki miqdarı,  $I^{-1}$ ;  $W_0'$  - solenoidin vahid qalınlıqdaki sar ılar sayı,  $I^{-1}$ .

$$w_0 = w_0' = \frac{1}{d} \quad (7)$$

$R$  v  $r$  - dola ın xarici v daxili radiusu,  $I$ ;  $d$  - dola a sar ılan naqilin diametri,  $I$ .

(6) v (7)-ni (5) d yerin yazsaq v nisbi qiym tlr keçs k, alarıq:

$$H_z = \frac{1}{2} \cdot \frac{I_c \cdot h}{d^2} \cdot \left[ (\bar{Z} + 0.5) \cdot \ln \frac{\bar{R} + \sqrt{\bar{R}^2 + (\bar{Z} + 0.5)^2}}{\bar{r} + \sqrt{\bar{r}^2 + (\bar{Z} + 0.5)^2}} - (\bar{Z} - 0.5) \cdot \ln \frac{\bar{R} + \sqrt{\bar{R}^2 + (\bar{Z} - 0.5)^2}}{\bar{r} + \sqrt{\bar{r}^2 + (\bar{Z} - 0.5)^2}} \right]$$

burada  $\bar{Z} = Z/h$  - içliyin asılma nöqtəsinin nisbi koordinatı;  $\bar{R} = R/h$ ;  $\bar{r} = r/h$  - solenoidin dolaşımının nisbi xarici və daxili radiusları.

$$(8) \text{ ifadəsini (4) də yazsaq, alırıq:} \quad (8)$$

$$F_z = \frac{I_c \cdot h}{2 \cdot d^2} \cdot \mu_0 \cdot j_z \cdot S \quad (9)$$

Burada,

$$K = (\bar{Z} + 0.5) \cdot \ln \frac{\bar{R} + \sqrt{\bar{R}^2 + (\bar{Z} + 0.5)^2}}{\bar{r} + \sqrt{\bar{r}^2 + (\bar{Z} + 0.5)^2}} - (\bar{Z} - 0.5) \cdot \ln \frac{\bar{R} + \sqrt{\bar{R}^2 + (\bar{Z} - 0.5)^2}}{\bar{r} + \sqrt{\bar{r}^2 + (\bar{Z} - 0.5)^2}} - (\bar{Z} + 0.5 + \bar{b}) \cdot \ln \frac{\bar{R} + \sqrt{\bar{R}^2 + (\bar{Z} + 0.5 + \bar{b})^2}}{\bar{r} + \sqrt{\bar{r}^2 + (\bar{Z} + 0.5 + \bar{b})^2}} + (\bar{Z} - 0.5 + \bar{b}) \cdot \ln \frac{\bar{R} + \sqrt{\bar{R}^2 + (\bar{Z} - 0.5 + \bar{b})^2}}{\bar{r} + \sqrt{\bar{r}^2 + (\bar{Z} - 0.5 + \bar{b})^2}} \quad (10)$$

$\bar{b} = b/h$  - maqnit içliyin nisbi uzunluğu.

(9) və (10) ifadələrindən görüldüyü kimi qüvvə xarakteristikalarının formaları  $K$ , məsələn asılıdır və solenoidin və maqnit içliyin qeometrik parametrlərindən ( $\bar{R}$ ,  $\bar{r}$ ,  $\bar{b}$ ) və  $Z$  koordinatından asılıdır. Qalan kəmiyyətlər ( $\mu_0$ ,  $j_z$ ,  $S$ ;  $h$ ;  $d$ ,  $I_c$ ) miqyas hasilini oynayır və xarakteristikanın formasına təsir etmir.

(10) ifadəsi  $Z$  oxunun başlanğıc koordinatı solenoidin oxunun ortasına uyğun gəlir. Lakin maqnitin yuxarı hissəsi solenoidin mərkəzində yuxarıda yerləşirsə, bu ifadədən istifadə edərkən  $Z$  koordinatı mənfəi olur ki, hesablamaların nəticələrinin analizini müürəkkləndirir [3]. Ona görə koordinat başlanğıcını solenoidin dolaşımının yuxarı kənarında yerləşən müstəvi keçirmək lazımdır.  $\bar{Z} = \bar{z} - 0.5$  (10) - də yerini yazsaq harada ki,  $z$  və  $\bar{z} = z/h$  - uyğun olaraq mütləq və nisbi koordinatdır, maqnit içliyin yuxarı kənarının asılma nöqtəsi solenoidin dolaşımının yuxarı kənar hissəsidir.

Nəticədə alırıq:

$$K(\bar{z}) = \bar{z} \cdot \ln \frac{\bar{R} + \sqrt{\bar{R}^2 + \bar{z}^2}}{\bar{r} + \sqrt{\bar{r}^2 + \bar{z}^2}} - (\bar{z} - 1) \cdot \ln \frac{\bar{R} + \sqrt{\bar{R}^2 + (\bar{z} - 1)^2}}{\bar{r} + \sqrt{\bar{r}^2 + (\bar{z} - 1)^2}} - (\bar{z} + \bar{b}) \cdot \ln \frac{\bar{R} + \sqrt{\bar{R}^2 + (\bar{z} + \bar{b})^2}}{\bar{r} + \sqrt{\bar{r}^2 + (\bar{z} + \bar{b})^2}} + (\bar{z} - 1 + \bar{b}) \cdot \ln \frac{\bar{R} + \sqrt{\bar{R}^2 + (\bar{z} - 1 + \bar{b})^2}}{\bar{r} + \sqrt{\bar{r}^2 + (\bar{z} - 1 + \bar{b})^2}} \quad (11)$$

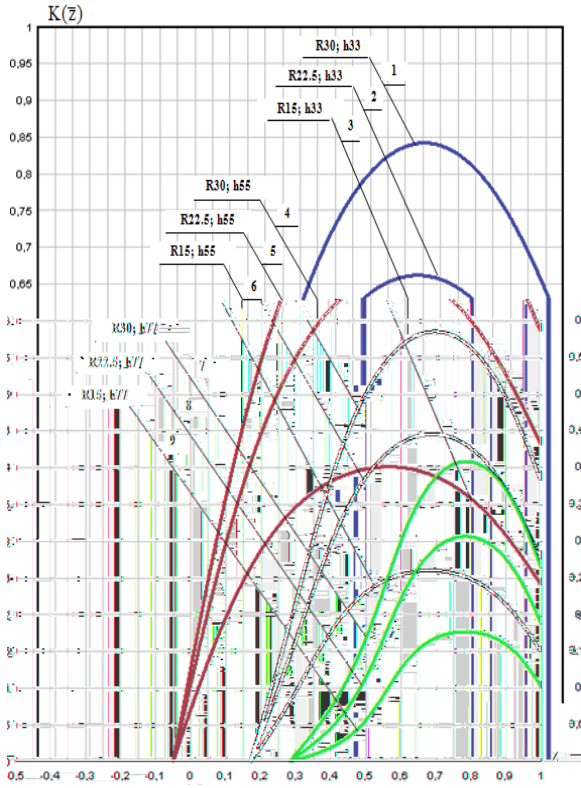
Nəzərə gətirsək ki,  $S = \frac{\pi \cdot d^2}{4}$ ,  $\mu_0 \cdot j_z = B$ , və (11) ifadəsini (9) da yerini yazsaq, solenoidin dartı qüvvəsinin ifadəsini alırıq:

$$F = \frac{\pi \cdot d^2}{8 \cdot d^2} \cdot B \cdot h \cdot (\bar{z}) \cdot I_c = \mu_0 \cdot I_c \cdot \quad (12)$$

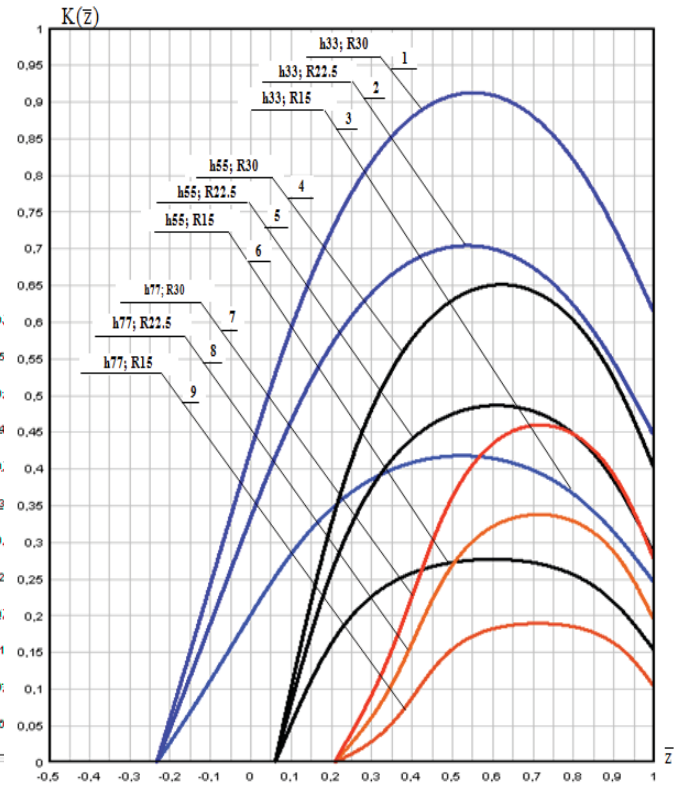
burada  $d$  - maqnit içliyin diametri,  $B$  - maqnit nüvsinin materialının oxundakı maqnit induksiyası,  $I_c$  - solenoidin maqnit içlik qarılıqlıqlıq qüvvəsinin məsələn  $\bar{Z}$  oxu koordinatının funksiyası kimi;  $\mu_0$  - solenoidin dartı qüvvəsi məsələn,  $h/d$ . burada

$$\mu_0 = \frac{\pi \cdot d^2}{8 \cdot d^2} \cdot B \cdot h \cdot (\bar{z}) \cdot \quad (13)$$

kil 2 v 3-d ( $\bar{z}$ ) asılılı mın hesablamada asılılı qrafikl ri göst rilmi dir. Qrafikd n görüldüyü kimi  $K(\bar{z})$  msalı ekstremal funksiyadır.



Şək.2. Solenoidin  $K(z)$  dartı qüvvəsi əmsalının qrafikləri.  $b = 44\text{mm}$  olduqda  $h = 33, 55, 77\text{mm}$ ;  $R = 30, 22.5, 15\text{mm}$ ;  $r = 7\text{mm} = \text{const}$



Şək.3 Solenoidin  $K(z)$  dartı qüvvəsi əmsalının qrafikləri.  $b = 55\text{mm}$  olduqda  $h = 33, 55, 77\text{mm}$ ;  $R = 30, 22.5, 15\text{mm}$ ;  $r = 7\text{mm} = \text{const}$

Yuxarıda göst ril n asılılıqların qrafikl ri ekstremal xarakter da ıyr, solenoid v maqnit içliyin konstruktiv parametrl rinin dartma qüvv sinin nisbi v mütl q msallarının maksimum qiym tin , h mçinin levitasiya olunmu maqnit içliyin nisbi v mütl q koordinat nöqt l rinin mövqeyin t sirinin t dqiqtatının aparılmasına mübahis siz maraq yaradır, bu da solenoidin maksimal dartı qüvv si halına uy undur [4]. Bu t dqiqtatların n tic l ri ilk növb d energetik x rcl r baxımından maqnit levitasiya sistem parametrl ri haqqında optimal m lumat alma a, ikincisi is onun enerji blokunun aquli konstruktiv ölçül rini mü yy n etm y imkan verir.

**N tic .** Bel likl , maqnit içlikl solenoidin qar ılıqlı t sir qüvv sinin t yini üçün t klif edilmi metodikası kifay t q d r d qiqlikl MLS parametrl rini hesablamada imkan verir ki, maqnit levitasiyası prinsipind cihazların planla dırılmasıyla ba lı t dqiqtat v eksperimental dizayn i l rin icra edilm si vaxtı lazımdır.

Qüvv xarakteristikalarının hesablamasının n tic l rin gör minimal enerji x rcl ri vaxtı levitasiyanın c r yanının n böyük sabitliyl levitasiya v ziy tini t min ed n maqnitin asılılı v ziy tinin optimal nöqt sini mü yy n etm k olar. Bu böyük h ssaslıqla v yüks k d qiqlikl madd l rin, materialların v m mulatların müxt lif parametrl rinin n zar t cihazlarını yaratma a imkan verir.

## REFERENCES

1. Pashaev A.M., Efendiev O.Z. Teoriya i praktika magnitnoj levitacii v priborostroenii. – M.: Mashinostroenie, 2009. - 335 s.
  2. Pashaev A.M., Efendiev O.Z., Shahmatov I.E., Azizov R.R. Opredelenie dinamicheskikh pokazatelej kachestva sistemy magnitnoj levitacii. Kontrol. Diagnostika. 2004, 11.
  3. Kozhevnikov V.J. K58. Raschet elektromagnitov postojannogo toka: uchebn. posobie. Saratov: Sarat. gos. tehn. un-t, 2006. 40s.
  4. Efendiyev O.Z., Allahverdiyeva A.T. Yum aq maqnit materiallı nuv nin elektromaqnit sistemind levitasiya etm sinin b z i n z r i m s l l r i // Az r baycan Dövl t D niz Akademiyasının Elmi s r l r i, «T -MED A» irk tinin m t b s i, Baki, 2015, 2.
- 

A.T.

MLS

**Ключевые слова:** магнитная левитация, твердый магнитный соленоид, магнитное поле, электромагнитное тяговое усилие.

## DETERMINATION OF ELECTROMAGNETIC DRIVE EFFORT OF A SOLID MAGNETIC SOLENOID

A.T. ALLAHVERDIYEVA

The article deals with the determination of the electromagnetic traction of a solid magnetic solenoid. The determination of the magnetic field and the forces of interaction of the magnetic fields are created by the solenoid in the design and construction of devices using the principle of magnetic levitation. Based on the data obtained, the proposed method for determining the strength of the interaction of magnets and solenoids makes it possible to calculate the MLS parameters with sufficient accuracy, so the time has come to conduct research and experimental studies of the design associated with planning devices using the magnetic levitation principle.

**Keywords:** magnetic levitation, a solid magnetic solenoid, magnetic field, electromagnetic traction.

---

Redaksiyaya daxil olub:	25.01.2019
Tamamlama işlərindən sonra:	12.10.2019
Nəşrə qəbul edilib:	16.09.2019