O‘ZBEKISTON MILLIY UNIVERSITETI XABARLARI, 2024, [3/2/1]
ISSN 2181-7324

FIZIKA
http://journals.nuu.uz
Natural sciences

UDK:53.044:53.047

Nuraddin ABDULLAYEV,
O'zbekiston Milliy universiteti dotsenti v.b
E-mail:nabdullayev9094@mail.ru

TAQU dotsenti S.S.Xudoyberdiyev taqrizi asosida

FIZIKANING MEXANIKA BO‘LIMIDAGI TEBRANISHLAR UCHUN XUSUSIY QIYMATLAR MASALASINI TIZIMLI TAHLIL ASOSIDA YECHISH

Anatatsiya

Tizimli tahlil mohiyati, tizimli tahlil nazariyasi, tamoyillari va uslublari asosida tizimli xarakterga ega bo‘lgan murakkab qarorlarni yechish imkoniyatidir. Shundan kelib chiqib, tizimli tahlil maqsadi turli variantlardan, mavjud resurslardan samarali foydalangan holda natijaga erishish hisoblanadi. O‘z o‘rnida maqsadni shakllantirish strukturalashtirish va tahlil tizimli tahlilni asosiy va birlamchi vazifasi sifatida maqsadga erishishda uslub va metodidan holi ko‘rish mumkin emas. Maqsadni aniqlash muammoni yechish yo‘lidek sxematik ko‘rinishda Z>F>S>P: Z-sub’yektiv maqsad, P-ob’yektiv maqsad, Maqsad (Z) noaniqligi va muqobilligi o‘z o‘rnida ko‘p yo‘llar mavjudligini olib keladi, bu esa natijalar ko‘pligini olib keladi. Maqsadni aniqlash tizimli tahlil metodologiyasidan kelib chiqqan holda o‘ta muhim jarayondir. Bu jarayonda bilim, tajriba, tahlil katta ahamiyatga ega.

Mamlakatimizda amalga oshirilayotgan keng ko‘lamli islohotlar doirasida tizimli fikr yurita oladigan, murakkab muammolarni hal eta oladigan yuksak madaniyatli shaxsni tarbiyalash tizimini yaratish zamonaviy ta’lim tizimining asosiy maqsadlaridan biri hisoblanadi. Shuning uchun ushbu maqolada fizikaga tizimli yondashish fizikaning mexanika bo‘limini tizimli tahlil asosida o‘qitishning mohiyati tushuntiriladi.

Kalit so‘zlar: mexanika, tebranish, garmonik tebranish, metodika, tizim, tizimli tahlil, tizim nazariyasi, tizimli yondashuv.

РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ СОБСТВЕННЫХ ЗНАЧЕНИЙ ДЛЯ КОЛЕБАНИЙ В РАЗДЕЛЕ МЕХАНИКИ ФИЗИКИ НА ОСНОВЕ СИСТЕМНОГО АНАЛИЗА

Аннотация

Суть системного анализа заключается в возможности решения сложных задач системного характера на основе теории, принципов и методов системного анализа. Исходя из этого, целью системного анализа является достижение результата посредством выбора из различных вариантов и эффективного использования имеющихся ресурсов. Формулировка цели, структурирование и анализ являются основными и первоочередными задачами системного анализа и неразрывно связаны с методами и подходами для достижения цели. Определение цели представляется как схема решения задачи: Z>F>S>P, где Z - субъективная цель, P - объективная цель. Неопределенность и альтернативность цели (Z) предполагает множество путей, что, в свою очередь, приводит к множеству результатов. Определение цели является чрезвычайно важным процессом в рамках методологии системного анализа. В этом процессе важную роль играют знания, опыт и анализ. Одной из основных целей современной системы образования является создание системы воспитания высококультурных личностей, способных мыслить системно и решать сложные задачи в рамках масштабных реформ, проводимых в нашей стране. В связи с этим в данной статье объясняется сущность системного подхода к обучению физике на основе системного анализа раздела механики.

Ключевые слова: механика, колебания, гармонические колебания, методика, система, системный анализ, теория систем, системный подход.

SOLUTION OF THE EIGENVALUE PROBLEM FOR OSCILLATIONS IN THE SECTION OF MECHANICS OF PHYSICS BASED ON SYSTEM ANALYSIS

Annotation

The essence of system analysis is the ability to solve complex systemic problems based on the theory, principles and methods of system analysis. Based on this, the purpose of system analysis is to achieve a result by choosing from various options and effectively using available resources. Goal formulation, structuring and analysis are the main and primary tasks of system analysis and are inextricably linked with the methods and approaches to achieving the goal. Goal definition is presented as a problem solving scheme: Z>F>S>P, where Z is a subjective goal, P is an objective goal. The uncertainty and alternativeness of the goal (Z) suggests many paths, which, in turn, leads to many results. Goal definition is an extremely important process within the methodology of system analysis. Knowledge, experience and analysis play an important role in this process. One of the main goals of the modern education system is to create a system for educating highly cultured individuals who are able to think systematically and solve complex problems within the framework of large-scale reforms carried out in our country. In this regard, this article explains the essence of a systems approach to teaching physics based on systems analysis of the mechanics section.

Key words: mechanics, oscillations, harmonic oscillations, methodology, system, systems analysis, systems theory, systems approach.

Kirish. Tizimli tahlilning rivoji XX asr yarimida ilmiy-texnikaviy vazifalarning vujudga kelishi bilan paydo bo‘ldi. Bunda asosiy o‘rinni murakkab ob’yektlarni tashkil etish va amalga oshirish, bilish va amaliy tadbiq etish jarayonlar egallaydi. Bu o‘z navbatida murakkab ob’yektlarning o‘ziga xos xususiyatlarini alohida tadqiq etish zaruratini talab qiladi. Mazkur vazifalar ijtimoiy amaliyotda tadbiq etilishi zaruratini vujudga keltiradi. Yirik vazifalar yechimini topishda ko‘p qirrali texnika bir-biri bilan bog‘liq murakkab tizimga aylanib boradi. Zero, davrning o‘zi insonlar oldiga yangi vazifalarni yechimlari bilan beradiki, uni anqlash, bilish, amal qilish, hal etish jamiyatda qaror topgan ta’lim-tarbiya tizimining mazmunida yotadi. Shuning uchun pedagogikada tizimli tahlilning metodologik asoslari tobora o‘sib kelayotgan davr va ijtimoiy munosabatlar talablaridan kelib chiqib, o‘z texnologiyasini muvoffiqlashtirilishini talab qiladi.

Tizim (yunoncha σύστημα – qismlardan iborat yaxlit birikma) – bir-biri bilan bog‘langan va o‘zaro ta’sirlashuvchi elementlarning yaxlit to‘plamidir . Kundalik hayotimizda sistema so‘zi turli xil boshqacha atamalar bilan ham ishlatiladi : nazariya (Platonning falsafiy sistemasi), sinflashtirish (Mendeleyev kimyoviy elementlar davriy sistemasi), amaliy faoliyatning tugallangan usuli (Stanislavskiy sistemasi (aktyorlik texnikasi usullari)), fikrlash faoliyatini tashkil etish usullari (sanoq sistemasi (sonlarning ketma-ketligi)), tabiiy ob’yektlar to‘plami (Quyosh sistemasi), jamiyatning ayrim xususiyatlari (siyosiy sistema, iqtisodiy sistema va b.), qonuniyat va boshqalar.

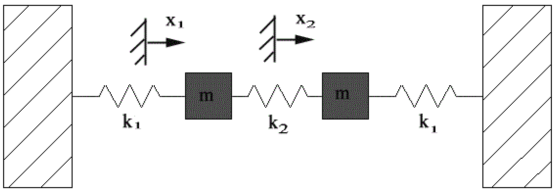
Bugungi kunda tizimli o‘rganish deyarli hamma fan sohalarida mavjud, turli nomlar bilan ataladi: tizim nazariyasi, tizimli taxlil, sistemologiya, kibernetika, tizimli injeneriya, termodinamika, tizimli dinamika va boshqalar. Tizimli tahlil uslubiy tadqiqotlarning muhim ob’yekti va eng tez sur’atlar bilan rivojlanayotgan ilmiy yo‘nalishlardan biri sanaladi. Har bir tizimli tahlil nazariy ta’limoti umumiy tamoyillarga bo‘ysingan holda mahalliy muammolarning xususiyatdan kelib chiqib takomillashtiriladi. Bu esa maqolaning dolzarbligini belgilab berdi.

Tadqiqot metodologiyasi. Tatqiqotning maqsad: Ikkita massali tebranuvchan tizimni o‘rganish. Ikkita massa va uchta prujina berilgan tebranuvchi tizim uchun harakat tenglamalarini keltirib chiqarish va MATLAB dasturida uni qo‘llay olish ko‘nikmalariga ega bo‘lish.

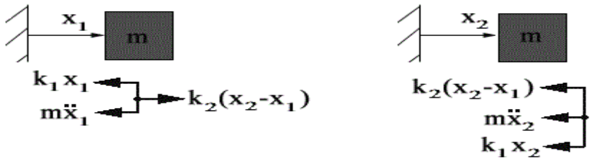
Masalaning qo‘yilishi: Tinglovchi ikkita massali tebranuvchan tizimni o‘rganish kerak. Buning uchun ikkita massa va uchta prujina bilan biriktirilgan tebranuvchi fizik tizim uchun harakat tenglamalarini keltirib chiqarishi va MATLAB dasturi orqali natija olishi lozim.

Ishni bajarish uchun ko‘rsatma va namuna

Ikkita massali tebranuvchan tizimni o‘rganamiz. Ikkita massa va uchta prujina berilgan tebranuvchi tizimni qayraylik. Massalar faqat gorizontal yo‘nalishda harakatlanadi (ular tepa va pastga harakat qilmaydilar).



Tenglamalarni tuzish. Bu tizim uchun biz erkin harakat sxemasini chizamiz.



Bundan kelib chiqib, harakat tenglamalarini yozamiz:

$$m\ddot{x}_1 + (k_1 + k_2)x_1 - k_2x_2 = 0$$
$$m\ddot{x}_2 + (k_2 + k_1)x_2 - k_2x_1 = 0$$

$$-\frac{k_1 + k_2}{m}x_1 + \frac{k_2}{m}x_2 = \ddot{x}_1$$
$$\frac{k_2}{m}x_1 + -\frac{k_1 + k_2}{m}x_2 = \ddot{x}_2$$

Ularni matrisalar ko‘rinishida yozib olamiz (yozuvni soddalashtirish uchun va α va β deb belgilaymiz):

$$\begin{bmatrix} -\frac{k_1 + k_2}{m} & \frac{k_2}{m} \\ \frac{k_2}{m} & -\frac{k_1 + k_2}{m} \end{bmatrix}\begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \ddot{x}_1 \\ \ddot{x}_2 \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} -\beta & \alpha \\ \alpha & -\beta \end{bmatrix}\mathbf{x} = \ddot{\mathbf{x}}$$

Yechim ko‘rinishini topamiz. Yechim ko‘rinishini topishga o‘tamiz. Bunda biz so‘nish bo‘lmaydi deb olib, faqat ossillyasion yechimni izlaymiz.

$$\mathbf{x} = \mathbf{v}e^{j\omega t} = \begin{bmatrix} v_1 \\ v_2 \end{bmatrix}e^{j\omega t}$$

$$\ddot{\mathbf{x}} = -\omega^2\mathbf{v}e^{j\omega t} = -\omega^2\mathbf{x}$$

Shunday qilib, bu muammoning xususiy qiymatlarini topish bo‘ladi. $\begin{bmatrix} -\beta & \alpha \\ \alpha & -\beta \end{bmatrix}\mathbf{x} = -\omega^2\mathbf{x}$

$$\mathbf{Ax} = \lambda\mathbf{x} \quad \text{where } \lambda = -\omega^2$$

Xususiy qiymatlarni yechish.

$$\left|\mathbf{A} + \omega^2\mathbf{I}\right| = 0 = \begin{vmatrix} \omega^2 - \beta & \alpha \\ \alpha & \omega^2 - \beta \end{vmatrix}$$

$$\left(\omega^2 - \beta\right)^2 - \alpha^2 = \omega^4 - 2\beta\omega^2 + \left(\beta^2 - \alpha^2\right) = 0$$

Biz xususiy qiymatlari xarakteristik tenglama tuzish orqali topamiz. $\text{so } \omega^2 = \frac{2\beta \pm \sqrt{4\beta^2 - 4\left(\beta^2 - \alpha^2\right)}}{2} = \beta \pm \alpha$

$$\omega_1^2 = \beta + \alpha = \frac{k_1 + 2k_2}{m} = 3$$

$$\omega_2^2 = \beta - \alpha = \frac{k_1}{m} = 1$$

Soddalashtirish maqsadida biz k_1=k_2=m=1 holini ko‘ramiz. Shunday qilib,

Endi biz xususiy vektorlarni ham topishimiz mumkin. Birinchi xususiy vektor uchun

$$\left(\mathbf{A} + \omega_1^2\mathbf{I}\right)\mathbf{v}_1 = 0$$

$$\left(\begin{bmatrix} -2 & 1 \\ 1 & -2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 3 & 0 \\ 0 & 3 \end{bmatrix}\right)\mathbf{v}_1 = 0$$

$$\begin{bmatrix} 1 & 1 \\ 1 & 1 \end{bmatrix}\begin{bmatrix} v_{1,1} \\ v_{1,2} \end{bmatrix} = 0$$

$$v_{1,1} = -v_{1,2}$$

yechimni topamiz.

Shunday qilib biz birinchi xususiy vektorni tanlaymiz. Bu vektorni ixtiyoriy o‘zgarmas kattalikka ko‘paytirishimiz mumkin.

$$\mathbf{v}_1 = \begin{bmatrix} 1 \\ -1 \end{bmatrix}$$

Ikkinchi xususiy vektor uchun

$$\left(\mathbf{A}+\omega_2^2\mathbf{I}\right)\mathbf{v}_2=0$$

$$\left(\begin{bmatrix}-2 & 1\\ 1 & -2\end{bmatrix}+\begin{bmatrix}1 & 0\\ 0 & 1\end{bmatrix}\right)\mathbf{v}_2=0$$

$$\begin{bmatrix}-1 & 1\\ 1 & -1\end{bmatrix}\begin{bmatrix}v_{2,1}\\ v_{2,2}\end{bmatrix}=0$$

$$v_{2,1}=v_{2,2}$$

$$\mathbf{v}_2=\begin{bmatrix}1\\ 1\end{bmatrix}$$

ni topamiz. Harakatlanuvchi tizim uchun umumiy yechim. Biz ikkita massali tizimning harakat tenglamasi uchun umumiy ko‘rinishni aniqlaymiz. $\mathbf{x}(t)=c_1\mathbf{v}_1e^{j\omega_1t}+c_2\mathbf{v}_1e^{-j\omega_1t}+c_3\mathbf{v}_2e^{j\omega_2t}+c_4\mathbf{v}_2e^{-j\omega_2t}$

E’tibor berish kerakki, har bir chastota ikki martadan ishlatiladi, sababi biz tanlagan yechim chastotaning kvadratiga bog‘liq (musbat va manfiy yechimlar kelib chiqadi)

Differensial tenglamalarning yechimini topishga o‘xshab, noma’lum koeffisiyentlarni topish uchun boshlang‘ich shartlarni aniqlaymiz.

Real yechimni topish uchun c_1 vac_2 yoki c_3 va c_4 lar bir biriga kompleks bog‘langan bo‘lishi zarur. Tenglamani boshqacha ko‘rinishda yozamiz:

$$\mathbf{x}(t)=\gamma_1\mathbf{v}_1\cos(\omega_1t)+\gamma_3\mathbf{v}_1\sin(\omega_1t)+\gamma_2\mathbf{v}_2\cos(\omega_2t)+\gamma_4\mathbf{v}_2\sin(\omega_2t)$$

$$\mathbf{x}(0)=\gamma_1\mathbf{v}_1\cos(\omega_10)+\gamma_3\mathbf{v}_1\sin(\omega_10)+\gamma_2\mathbf{v}_2\cos(\omega_20)+\gamma_4\mathbf{v}_2\sin(\omega_20)$$

$$\mathbf{x}(0)=\gamma_1\mathbf{v}_1+\gamma_2\mathbf{v}_2$$

Noma’lumlar topish uchun boshlang‘ich shartlardan foydalanamiz. $\dot{\mathbf{x}}(0)=\omega_1\gamma_3\mathbf{v}_1+\omega_2\gamma_4\mathbf{v}_2$

Ko‘pchilik hollarda biz vaziyatning boshlang‘ich shartlarida tezlikni nolga teng deb qabul qilamiz.

$$\mathbf{x}(0)=\begin{bmatrix}x_1(0)\\ x_2(0)\end{bmatrix},\ \dot{\mathbf{x}}(0)=\begin{bmatrix}0\\ 0\end{bmatrix}$$

$$\dot{\mathbf{x}}(0)=\omega_1\gamma_3\mathbf{v}_1+\omega_2\gamma_4\mathbf{v}_2$$

Boshlang‘ich tezlikning shunday shartidan foydalanib, biz quyidagini yozamiz $\dot{\mathbf{x}}(0)=\begin{bmatrix}0\\ 0\end{bmatrix}=\omega_1\gamma_3\begin{bmatrix}1\\ -1\end{bmatrix}+\omega_2\gamma_4\begin{bmatrix}1\\ 1\end{bmatrix}$

Bu quyidagi tenglamalarga olib keladi.

$0=\omega_1\gamma_3+\omega_2\gamma_4$

$0=-\omega_1\gamma_3+\omega_2\gamma_4$

Bizga ma’lumki, chastota nolga teng bo‘lmaydi va bu esa quyida bittagina yechimda shunday bo‘ladi

$\gamma_3=\gamma_4=0$

Shunday qilib, agar boshlang‘ich tezlik nolga teng bo‘lsa cosinus funksiyaning hadlari qoladi va sodda yechim topiladi

$$\mathbf{x}(t)=\gamma_1\mathbf{v}_1\cos(\omega_1t)+\gamma_2\mathbf{v}_2\cos(\omega_2t)$$

Noma’lum koeffisiyentlarni topish

Boshlang‘ich shartlardan foydalanib, γ_1 va γ_2 koeffisiyentlarni topishimiz mumkin. $\mathbf{x}(0)=\gamma_1\mathbf{v}_1\cos(\omega_1\cdot 0)+\gamma_2\mathbf{v}_2\cos(\omega_2\cdot 0)=\gamma_1\mathbf{v}_1+\gamma_2\mathbf{v}_2$

Bu bir qancha usullarda yechishimiz mumkin bo‘lgan 2x2 tenglamani beradi. Buning eng sodda usuli kompyuterda matrisalar sifatida qarab yechimini topishdir. Ustunlari masalaning xususiy vektorlaridan iborat bo‘lgan 2x2 matrisani tuzamiz. $\mathbf{v}=\begin{bmatrix}\mathbf{v}_1 & \mathbf{v}_2\end{bmatrix}=\begin{bmatrix}1 & 1\\ -1 & 1\end{bmatrix}$

Boshlang‘ich shartlar uchun tenglama

$$\mathbf{x}(0)=\mathbf{v}\begin{bmatrix}\gamma_1\\ \gamma_2\end{bmatrix}=\gamma_1\mathbf{v}_1+\gamma_2\mathbf{v}_2\,\mathbf{x}(0)=\mathbf{v}\begin{bmatrix}\gamma_1\\ \gamma_2\end{bmatrix}=\gamma_1\mathbf{v}_1+\gamma_2\mathbf{v}_2$$

dan iborat bo‘ladi.

Bunda γ_1 va γ_2 koeffisiyentlarni x(0) ga ko‘paytirilgan teskari v kattalik deb osongina topishimiz mumkin.

$$\begin{bmatrix}\gamma_1\\ \gamma_2\end{bmatrix}=\mathbf{v}^{-1}\mathbf{x}(0)$$

Namuna. 2 massadan iborat tizimda tebranish

$k_1=k_2=m=1$ bo‘lgan holda ko‘rib chiqaylik. Boshlang‘ich shart quyidagicha $\mathbf{x}(0)=\begin{bmatrix}1\\ 0\end{bmatrix}$

Faraz qilaylik, yechim quyidagicha

$$\mathbf{x}(t)=\gamma_1\mathbf{v}_1\cos(\omega_1t)+\gamma_2\mathbf{v}_2\cos(\omega_2t)$$

Bizga ma’lumki,

$$\mathbf{x}(0)=\begin{bmatrix}1\\ 0\end{bmatrix}=\gamma_1\mathbf{v}_1\cos(\omega_1\cdot 0)+\gamma_2\mathbf{v}_2\cos(\omega_2\cdot 0)=\gamma_1\mathbf{v}_1+\gamma_2\mathbf{v}_2$$

$$\begin{bmatrix}1\\ 0\end{bmatrix}=\gamma_1\mathbf{v}_1+\gamma_2\mathbf{v}_2=\gamma_1\begin{bmatrix}1\\ -1\end{bmatrix}+\gamma_2\begin{bmatrix}1\\ 1\end{bmatrix}$$

Buni ikki noma’lumli ikkita tenglama ko‘rinishida ifodalashimiz mumkin. $1=\gamma_1+\gamma_2$, $0=\gamma_1-\gamma_2$

Bu holda koeffisiyentlar quyidagiga teng bo‘ladi

$$\gamma_1=\gamma_2=\frac{1}{2}$$

Shunday qilib, harakat tenglamasi

$$\mathbf{x}(t)=\frac{1}{2}\mathbf{v}_1\cos(\omega_1t)+\frac{1}{2}\mathbf{v}_2\cos(\omega_2t)$$

yoki

$$x_1(t) = \frac{1}{2}\cos(\omega_1 t) + \frac{1}{2}\cos(\omega_2 t)$$

$$x_2(t) = -\frac{1}{2}\cos(\omega_1 t) + \frac{1}{2}\cos(\omega_2 t)$$

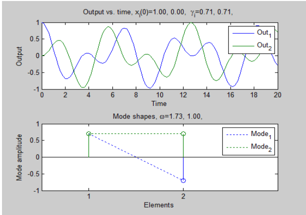
Ko’rinishda bo’ladi.Izoh: Boshlang‘ich shartlarni bilgan holda bu yechimni matrisalar ko‘rinishida ham topishimiz mumkin.

$$\mathbf{x}(0) = \gamma_1\mathbf{v}_1 + \gamma_2\mathbf{v}_2 = \begin{bmatrix}\mathbf{v}_1 & \mathbf{v}_2\end{bmatrix}\begin{bmatrix}\gamma_1 \\ \gamma_2\end{bmatrix} = \begin{bmatrix}1 & 1 \\ -1 & 1\end{bmatrix}\begin{bmatrix}\gamma_1 \\ \gamma_2\end{bmatrix} = \mathbf{v}\begin{bmatrix}\gamma_1 \\ \gamma_2\end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix}\gamma_1 \\ \gamma_2\end{bmatrix} = \mathbf{v}^{-1}\cdot\mathbf{x}(0)$$

γ_1 va γ_2 koeffisiyentlarni topish quyida MATLAB dasturida xisoblab quyidagi grafik chiziladi.

Natijalar tavsifi va tahlili



Yuqorida berilgan boshlang‘ich shartlarda tizimning o‘tish xarakteristikalari o‘zgarishi keltirilgan. Pastida tizim xususiy vektorining o‘zgarishi berilgan. Vertikal o‘qda amplituda, gorizontal o‘qda esa xususiy qiymat keltirilgan. γ1 xususiy qiymati [0.7071; -0.7071] (bu havorangda berilgan), birinchi element 0.7071 qiymatga, ikkinchi element -0.7071 qiymatga ega. γ2 xususiy qiymati [0.7071; -0.7071] (bu yashil rangda berilgan). Punktir chiziqda bilan ko‘rish yo‘nalishi berilgan (ayrim elementlarning xususiy vektorlari bir birini to‘sishi mumkin).

Xulosa. Tizimli tahlil muammoni hal qilish metodologiyasi sifatida muammoni hal qilish uchun zarur bo'lgan barcha zarur usullar, bilimlar va harakatlarni umumlashtiradigan ustun bo‘lib xizmat qiladi. U jarayonni tadqiq qilish, statistik nazariya va shunga o‘xshash boshqa sohalar o‘rtasidagi munosabatlarni belgilaydi. Tizimli tahlil u yoki bu usulni qaysi bosqichda va qanday ishlatishni belgilaydi.

Qo‘yilgan masala xulosasi: Muammoni hal qilish metodologiyasi sifatida tizimli tahlil muammoni hal qilish uchun zarur bo‘lgan barcha zarur texnikalar, bilimlar va harakatlarni umumlashtirish uchun vosita bo‘lib xizmat qiladi degan xulosaga kelishimiz mumkin. Bundan foydalanib, jarayon tahlili, statistik tahlil nazariyasi va boshqalar kabi sub'ektlar bilan munosabatlarni aniqlash mumkin. Tizimli tahlil usuli qachon va qanday shaklda qo‘llanilishi kerakligini aniqlaydi.

ADABIYOTLAR

1. D.Imboden, S.Pfenninger Introduction to Systems Analysis: Mathematically Modeling Natural Systems, Springer: Heidelberg New York Dordrecht London, 2013
2. В.Н.Романов Системный анализ. Санкт-Петербург, СЗГЗТУ, 2006.
3. В.Н.Чернышов, А.В.Чернышов Теория систем и системный анализ: Учеб. пособие. Тамбов: ТГТУ, 2008
4. А.В.Антонов, Системный анализ, Учебник для ВУЗов, М.: Высшая школа, 2004
5. http://www.swarthmore.edu/NatSci/echeeve1/Class/e12/E12Syll.html
6. https://en.wikipedia.org/wiki/Systems_analysis
7. http://www.businessdictionary.com/definition/systems-analysis-SA.html
8. https://ru.wikipedia.org/wik