

**МЕТОД НА ПРЕПОДАВАНЕ НА ДИСЦИПЛИНАТА
ТЕХНИЧЕСКИ ЕКСПЕРТЕН АНАЛИЗ НА МЕХАНИЧНИ
КОНСТРУКЦИИ В БСУ**

проф. д-р инж. Радостин Долчинков
Бургаски свободен университет

**TEACHING METHODS OF COURSE TECHNICAL EXPERT
ANALYSIS OF MECHANICAL STRUCTURES IN BFU**

Prof. Radostin Dolchinkov, PhD
Burgas Free University

***Abstract:** The design gives multivariance decisions. It allows to obtain an optimal structure for the given conditions for the given time. Developing a multivariate structures is associated with labor-intensive calculations, multi-factor analysis, and a large volume of a graphical work. Systems shall be aided design (CAD). Besides improving the quality of engineered products and reduce onerous, CAD systems allow to cut and terms of design and technology to modify the design.*

***Key words:** design, CAD systems, education*

Разгледани са въпроси необходими при технически анализ и проектиране на технологични съоръжения и машини. В магистърската степен на специалности СИТЕ, САТЕ и ТБЕЕ, на ЦИТН на БСУ една от изучаваните дисциплини е Технически експертен анализ на механични конструкции.

Проектирането дава многовариантност на решенията. То позволява получаване на оптимална конструкция за дадените условия и за даденото време. Разработването на многовариантни конструкции е свързано с трудоемки изчисления, многофакторен анализ и голям обем графически работи. Внедряват се системи за автоматизирано проектиране (CAD). Освен повишаване качеството на проектираните изделия и намаляване на трудоемкостта, CAD системите позволяват да се съкратят и сроковете за проектиране и да се измени технологията на проектирането. CAD системите позволяват да се оптимизира конструкцията по маса, габарити, стойност, надеждност и други параметри, а също така да се моделират изпитванията.

Всеки който тръгва да се занимава със сложната задача на техническия анализ на машини и съоръжения, трябва да има много знания, умения и практика. Техническият анализ е една комплексна задача, която предивява основни изисквания към машините и съоръженията като:

1. Добри експлоатационни показатели – висока производителност, висок к.п.д., ниски експлоатационни разходи.
2. Работоспособност – подходящи конструктивни и технологични решения, гарантиращи ниски експлоатационни разходи.



3. Надеждност – свойството на машината да изпълнява своите функции при запазване на експлоатационните си показатели в определени граници и за определено предварително зададено или необходимо време.

Съвършенството на конструкциите на машинните елементи се оценява по тяхната надеждност и икономичност.

Икономичността се определя от стойността на материала, загуби за производство и експлоатация.

Надеждността е комплексно свойство и се оценява чрез критериите безотказност, дълготрайност и ремонтпригодност.

Безотказност – свойство на изделието да запазва работоспособността си без принудителни прекъсвания при зададените условия на експлоатация за определено време.

Дълготрайност – свойство на изделието да запазва работоспособността си до граничното състояние с необходимите прекъсвания за техническо обслужване и ремонт.

Ремонтпригодност – провеждане на техническо обслужване и ремонт. Надеждността на машината винаги е по-малка от надеждността на всеки един от нейните елементи и намалява с увеличаване броя на елементите.

Основен етап в анализа е доброто познаване на машината. Това е свързано с класификацията на машините, принципа на работа и предназначението им. Необходимо е да се познават добре машините, съоръженията, машинните елементи от които са структурирани и др.

Машина се нарича техническа система, която формобразува материали, обработва и транспортира материални обекти, предава и преобразува механични движения, сили, енергия и информация. Според функционалното си предназначение машините могат да бъдат класифицирани в четири групи: *енергетични, работни, информационни и кибернетични*.

Енергетични машини. Предназначението на енергетичните машини е преобразуването на енергия. Силовите машини – *двигателите*, преобразуват определен вид енергия (топлинна, електрическа, водна и др.) в механична, която се използва за задвижване на работни машини. *Генераторите* са енергетични машини, които преобразуват един вид енергия в друг вид. Според вида на преобразуваната енергия, енергетичните машини се делят на: *хидравлични, пневматични, термични и електрически*.

Силовите хидравлични и пневматични машини преобразуват енергията на даден флуид в механична енергия. Например водните или вятърните турбини превръщат енергията на флуида в механична енергия на ротор, която впоследствие се превръща от електрогенератор в електрическа енергия.

Хидравличните и пневматични двигатели преобразуват налягането на флуид във въртене на ротор или възвратно-постъпателно движение на бутало. Хидравличните и пневматичните двигатели намират приложение в полиграфическите, метало-режещите, металообработващите, земеделските, подемно-транспортните и др. видове машини, както и за задвижване на различни модули и хващачи на промишлени роботи и манипулатори.

Хидравлични и пневматични машини се наричат генераторите, които преобразуват механична енергия в енергия на флуид. Когато машината работи с течност се нарича *помпа*, а при работа с газ се нарича *компресор* (за високо налягане) и *вентилатор* (за ниско налягане).

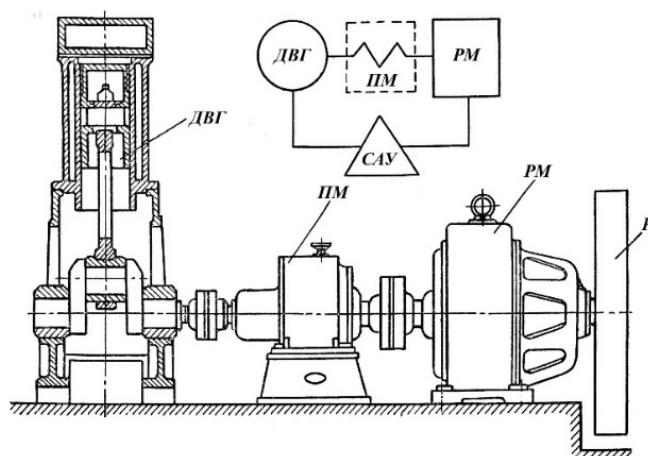
Термичните машини са двигатели, които преобразуват топлинна енергия в механична – парни машини и двигатели с вътрешно горене. Външен източник на топлина (парогенератор) подава пара с висока температура на парната машина, която преобразува топлинната енергия на парата в механична посредством бутален (коляно-мотовилков) или ротационен (турбинен) механизъм. Основният механизъм на буталните двигатели с вътрешно горене е отново коляно-мотовилков.

Електрическите машини са най-разпространените енергетични машини. По принцип те могат да работят както като двигатели, така и като генератори. Според вида на тока електрическите машини са *променливотокови* (синхронни и асинхронни) и *постояннотокови*. Най-голямо приложение имат асинхронните електродвигатели поради добрите си икономически и експлоатационни показатели, вкл. възможността да бъдат управлявани по скорост, което беше постигнато в последното десетилетие на миналия век. Затова все по-широко се използват в робототехниката, традиционно се използват в промишлеността, транспорта, земеделието, строителството и бита.

Работни машини. Тези машини преобразуват един вид енергия в друг с цел изменение на размерите, формата, свойствата, състоянието или положението на материали или материални обекти. Разделят се на две групи – технологични и транспортни машини.

Технологичните машини са предназначени за осъществяването на определени технологични процеси. Всяка технологична машина се задвижва от двигател, който заедно с машината, образува т. нар. *машинен агрегат*. Машинни апарати са не само транспортните средства (автомобили, кораби, самолети и др.), но и технологичните машини (металорежещи, металообработващи, металургични, текстилни, полиграфически и много други видове машини).

Пример за машинен агрегат е даден на фиг.1. В структурата на агрегата са включени: двигател с вътрешно горене (ДВГ); предавателен механизъм (ПМ) – зъбен редуктор; работна машина (РМ) – генератор на електрическа енергия; регулатор (Р) под формата на маховик. В структурната схема на агрегата може да се включи и *система за автоматично управление (САУ)*, с което се избягва намесата на човека, каквато например е необходима при “подаване на газ” при автомобилите.



Фиг. 1. Машинен агрегат: ДВГ – двигател с вътрешно горене, ПМ – предавателен механизъм; РМ – работна машина; САУ – система за автоматично управление



Информационни машини. Предназначението на информационните машини е получаване и преобразуване на информация. Информационните машини се подразделят на контролно-управляващи и математически машини. *Контролно-управляващите машини* приемат и преобразуват контролно-измервателна информация за целите на управлението на енергетични или работни машини, както и на технологични процеси. Все по-често такива машини се използват за автоматизиран контрол на размерите на различни детайли и тяхната сортировка по различни признаци.

Математическите машини заменят умствения труд на човека. Известни са още като *логически машини*. Приемат и преобразуват информация под форма на различни математични образи, представени алгоритмично – аналогово или числено. Когато информацията е във вид на числа, информационните машини се наричат *изчислителни машини* или *компютри*. Всъщност те не представляват машини според възприетите дефиниции за машина, тъй като при тях само спомагателните операции са механични. Въпреки това се наричат машини благодарение на историческата приемственост – изчислителните устройства в миналото са се наричали сметачни машини.

Кибернетични машини. Тези машини притежават елементи на изкуствен интелект. Известни са още като *интелигентни (интегрални) машини* или *роботи*. Предназначението им е да заменят или имитират различни механични, физиологични или биологични процеси, присъщи на живата природа и човека. Примери са: машините, възпроизвеждащи човешка реч по зададен акустичен спектър; машините, изпълняващи движения по устна команда; машините, заменящи човешки органи и т. н. Когато тези органи са човешки крайници, които изпълняват зададени технологични операции, тогава машините се наричат *промишлени роботи*.

Най-обща класификация на машините е представена в систематизиран вид в табл.1.

Табл.1.

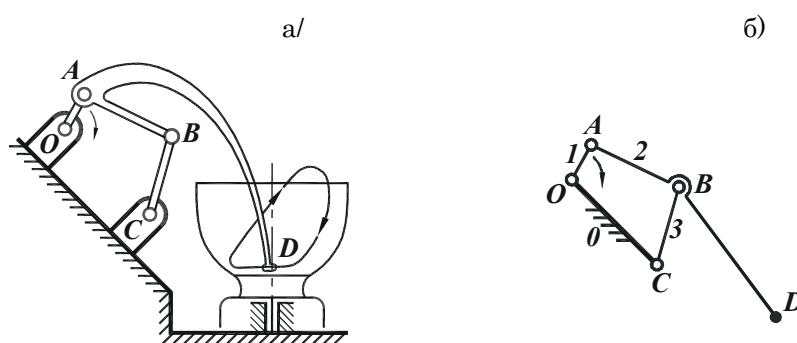
Енергетични машини		Работни машини	
<i>двигателни</i>	<i>генераторни</i>	<i>технологични</i>	<i>транспортни</i>
<i>хидравлични пневматични електрически други</i>		<i>металорежещи текстилни полиграфически други</i>	<i>автомобили кораби самолети други</i>
Информационни машини		Кибернетични машини	
<i>контролно-управляващи математически</i>		<i>биологични машини роботи</i>	

Машините и механизмите са изградени от машинни елементи, обединени във възли и групи. Голяма част от тях се срещат във всички машини и механизми и имат едни и същи функции – винтове, гайки, оси, валове, лагери, зъбни колела, съединители и др. Те се наричат машинни елементи и възли с общо предназначение.

Винтовият механизъм не е единствен за получаване на транслационно движение в машините. Често се използват механизми със зъбен гребен и зъбно колело. Ротацията на колелото се трансформира в транслация на гребена посредством зацепените им зъби. Този механизъм има висок коефициент на полезно действие и широко се

прилага в металорежещите, тъкачните, земеделските, полиграфическите и други видове машини.

Шарнирни четиризвезни механизми – равнинни или пространствени, се използват още в много машини и уреди. На фиг.2. е показан механизъм на машина за месене на тесто. Ако механизмът е равнинен, месене по целия обем ще се получи, ако освен равнинната траектория на точка D се внесе допълнителна ротация на съда около вертикална му ос. Съчетаването на двете движения превръща траекторията в пространствена по отношение на въртящия се съд. Пространствена траектория на точка D може да се получи и спрямо неподвижен съд, ако механизмът е пространствен.



Фиг. 2. Машина за месене на тесто: а) конструктивна схема; б) кинематична схема

Механични предавки се наричат механизмите, които предават енергията на двигателя на изпълнителния орган на машината, като осъществяват необходимото преобразуване на скоростите и съответно въртящите моменти.

Структурата и компоновката на механичните предавки се обуславят от взаимното разположение на двигателя и работната машина, от общото предавателно отношение, от ъгловите скорости на входящия и изходящия вал, от големината на предаваната мощност, от режима на работа, от експлоатационните удобства, от икономичността и др.

За да се направи точен и правилен анализ са необходими знания от дисциплини изучавани в бакалавърската степен като: Механика, Съпротивление на материалите, Материалознание, Машинни елементи и др. В процеса на експлоатация механичните конструкции и техните елементи се натоварват със сили и моменти с различна големина и характер. Тези натоварвания се наричат работни. Ако в процеса на работа те не се изменят по големина и посока се наричат постоянни. Най-често те са променливи и зависят от системни или от случайни фактори.

В зависимост от характера на изменението им, с течение на времето, натоварванията се разделят на статични и динамични. Статичните натоварвания са постоянни. Динамичните натоварвания могат да изменят своята големина и посока с течение на времето.

При анализа е необходимо да се провери правилното оразмеряване на конструкцията. За оразмеряване на машинните елементи се въвеждат и понятията номинално, еквивалентно и изчислително натоварване.



Номинално натоварване се приема най-продължителното действащо работно натоварване, а в някои случаи – максималното работно натоварване. Това е проектно-натоварване.

Еквивалентното натоварване зависи от характера на изменение на работното натоварване и се определя с помощта на коефициента на дълготрайност.

Точното определяне на изчислителното натоварване е сложен въпрос и трябва да се решава за конкретната конструкция.

Най-голямото напрежение, при достигането на което якостта и дълготрайността на детайлите може да се считат осигурени, се нарича допустимо. Конструирването на всеки детайл задължително е свързано с избор на допустимо напрежение. То осигурява не само нормална работа на детайла в машината (якост и дълготрайност), но и нейната икономичност, т.е. най-малък разход на материали за изработване на детайла.

Допустимите напрежения се избират от таблици и норми, получени чрез теоретични изчисления и експериментални изследвания.

$$(1) \quad [\sigma] = \frac{\sigma_{гр}}{[S_{\sigma}]} \quad [\tau] = \frac{\tau_{гр}}{[S_{\tau}]}$$

където $[\sigma]$ и $[\tau]$ са граничните (опасните) нормално и тангенциално напрежения за дадения материал; S_{σ} и S_{τ} са съответните допустими коефициенти на сигурност.

Прилагат се два вида изчисления на машинните конструкции и елементи: **проектни и проверочни**.

Проектните изчисления се изпълняват в процеса на разработване на конструкцията на детайла, за да се определят необходимите размери. В редица случаи размерите се приемат конструктивно или от практически препоръки. Тук е невъзможно да се отчетат всички фактори, които влияят на якостта, коравината и т.н. на детайла.

Проверочните изчисления се изпълняват при проверка или анализ на готов детайл, съединение, машинен елемент, конструкция или машина.

Техническата документация съдържа всичко необходимо за изработване, монтаж, изпитвания, експлоатация и анализ на създаваната конструкция.

Анализа се осъществява в следната последователност:

1. Съставя се изчислителна схема на машината или машинния елемент, в която до максимум се опростява конструкцията му /ако няма такава в наличност/.
2. Определят се големините на действащите върху елементите сили и моменти.
3. Проверява се избора на материал.
4. Проверяват се основните размери на елементите, като се съгласуват със стандартите и нормите, ако има такива. Тези изчисления се наричат проверочни.
5. Анализира се общият вид на възела на конструкцията и елементите му. След това се извършва подробна конструктивна проверка на всеки елемент. На работните чертежи се проверяват всички размери, допуски, класове на грапавост, специални технологични изисквания и др.
6. Извършват се проверочни изчисления за осигуряване на основните критерии за работоспособност. Определят се коефициентите на сигурност в застрашените сечения, деформациите и пр. и се съпоставят с допустимите стойности за съответните случаи.

Кинематичната схема се свързва с изчислителната схема на машината или съоръжението. Тя се обвързва с машинните елементи, тяхните движения, моменти, ъглова скорост, мощност и др. Анализират се видовете движения и се отбелязват по-

соките, например, вдигането на товари се осъществява от механизмите за вдигане. Повдигателният механизъм се състои от електродвигател, зъбна предавка (редуктор), барабан (съоръжен най-често с полиспаст, който представлява механизъм за вдигане на тежести, състоящ се от система макари) и въжета. Анализират се видовете схеми. Кинематичните схеми на задвижване на повдигателните механизми могат да бъдат няколко вида – фиг. 3.

Схемата от фиг.3а., почти не се използва, тъй като тя е без редуктор. От това следва, че за задвижване на барабана е необходим бавноходен електродвигател.

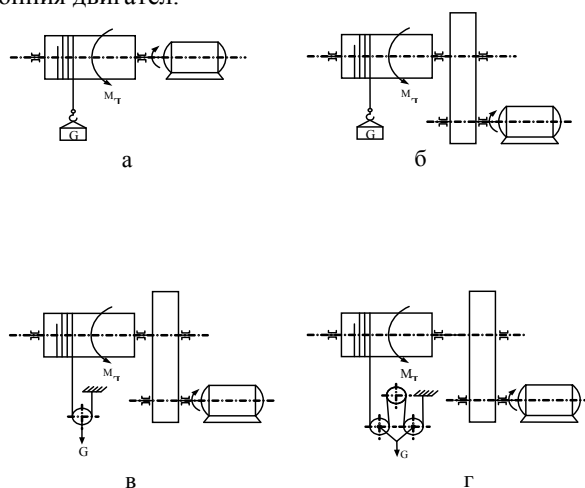
При схемите от фиг.3 б, в, г това неудобство е избегнато. Въвеждането на допълнителен блок-полиспаст, намалява скоростта на вдигане на товара (2 пъти за фиг.3в и 4 пъти за фиг.3 г). Операциите, които извършва повдигателният механизъм, обикновено се заключават във вдигане и спускане на товар, вдигане и спускане на празно товароопазващо устройство.

Установяват се режимите на работа за крановете с машинно задвижване. Режимите на работата се определят за всеки механизъм, като се взема под внимание типът на крана. Като правило за общ режим на работа на крана се приема режимът на работа на главния повдигателен механизъм.

В повечето случаи крановете работят в тежки условия, при чести претоварвания, повторно-кратковременен режим на работа, голяма честота на пусканията и голям диапазон на регулиране на скоростта.

Режимите на работа на зададеният ни повдигателен механизъм на кран е следния:

- 1/ След вдигане или спускане на празна кука или след вдигане на товар спирането ще се осъществява от механичната спиратка;
- 2/ След спускане на товара спирането ще става чрез противовключване на асинхронния двигател;
- 3/ Спускането на товара ще става с постоянна скорост чрез еднофазен спиращ режим на асинхронния двигател.



Фиг. 3. Кинематичните схеми на задвижване на повдигателните механизми



Всяка една предавка, независимо от нейната сложност, има две основни характеристики:

1. Мощност на входящия N_1 , и на изходящия N_n валове или въртящи моменти M_1 и M_n на тези валове;

2. Ъглова скорост на входящия ω_1 и на изходящия ω_n валове или честоти на въртене n_1 и n_n на съответните валове.

Допълнително за предавките се определят още механичен коефициент на полезно действие (2) и предавателно отношение (3)

$$(2) \quad \eta = \frac{N_n}{N_1};$$

$$(3) \quad i = \frac{\omega_1}{\omega_n} = \frac{n_1}{n_n}$$

За многостъпални предавки общият механичен коефициент на полезно действие и общото предавателно отношение се определят, съответно по изразите (4) и (5):

$$(4) \quad \eta_{\text{общ}} = \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot \dots \cdot \eta_k$$

където $\eta_1, \eta_2, \dots, \eta_k$ – к.п.д. на всяка кинематична двойка в предавката (зъбни, червячни, ремъчни и други предавки, лагери, съединители и др.).

$$(5) \quad i_{\text{общ}} = i_1 \cdot i_2 \cdot \dots \cdot i_k$$

където i_1, i_2, \dots, i_k - предавателни отношения на всяко стъпало на предавката.

Връзката между η, i, M_1 , и M_n се дава чрез (6):

$$(6) \quad \eta = \frac{M_n}{M_1 \cdot i}$$

При изчисляване на преводни механизми се препоръчва ред на работа, както следва:

1. Съставяне на кинематична схема;
2. Определяне на общия механичен к.п.д.;
3. Изчисляване на необходимата мощност и избиране на електродвигател;
4. Определяне на общото предавателно отношение;
5. Определяне на предавателните отношения на отделните стъпала.

В случай, че е зададен въртящият момент $M_n, N.m$ на работния вал, мощността му се определя по формулата:

$$(7) \quad N_n = M_n \cdot \omega_n, \quad W.$$

Връзката между ъгловата скорост и честотата на въртене е:

$$(8) \quad \omega = \frac{\pi \cdot n}{30}, \quad \text{rad/s}$$

Задачата, която се поставя пред студентите е да се направи технически анализ на машинен агрегат, включващ кинематични и якостни изчисления. В лабораториите на ЦИТН на БСУ се намират работещи машинни агрегати с възможности да се променят последователността на монтиране на отделни възли и предавки. Всеки студент получава свой вариант /кинематична схема на задвижване на лентов транспортър/ машинен агрегат. Необходимо е да се определи мощността и се избере електродвигател за превод на лентов транспортър по кинематична схема, показана на фиг.4., да се определи общото предавателно отношение на превода и разпределянето му на стъпала, да се изчислят честотите на въртене и въртящите моменти на всички валове на превода, да се изчислят геометричните размери на зъбните колела на редуктора, да се избере шпонково съединение между главината на зъбно колело Z_2 и междинния вал на редуктора и да се пресметне и избере еластичен съединител.

Дадено:

1. Кинематична схема на задвижване на лентов транспортър.
2. Схема на редуктора – фиг.5.
3. Брой на зъбите на колелата Z_1, Z_2, Z_3 и Z_4 .
4. Модул на първата m_{12} и втората m_{34} двойки зъбни колела.
5. Мощност на изходящия вал на превода, N ;
6. Обороти на въртене на изходящия вал, min^{-1} .

Първите десет студента от списъка в групата разработват съосен двустепенен редуктор с цилиндрични зъбни колела – схема а/ от фиг.5.(с редуване на схеми 2 и 4 от фиг.4.)

Вторите десет студента от списъка в групата разработват несъосен двустепенен редуктор с цилиндрични зъбни колела – схема б/ от фиг.5. (с редуване на схеми 1 и 3 от фиг.4.)

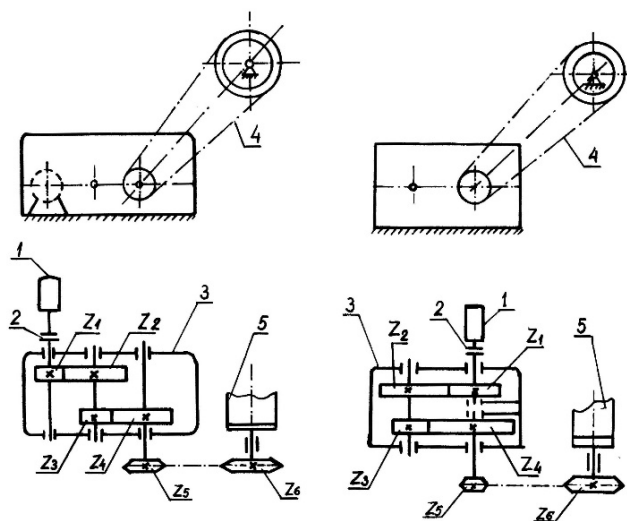
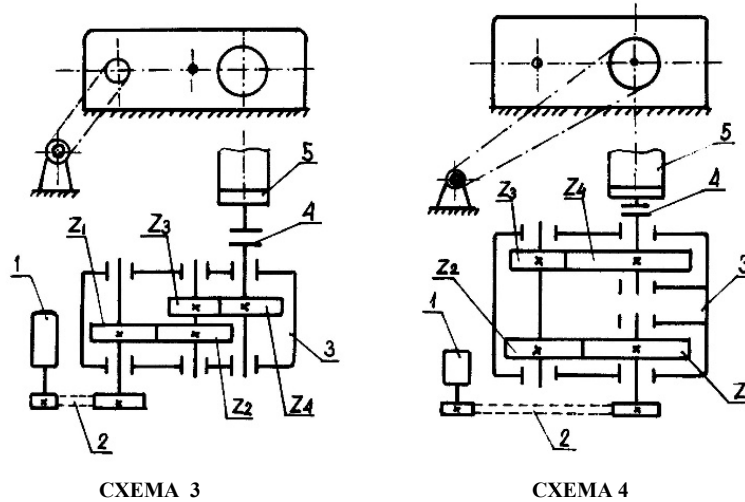
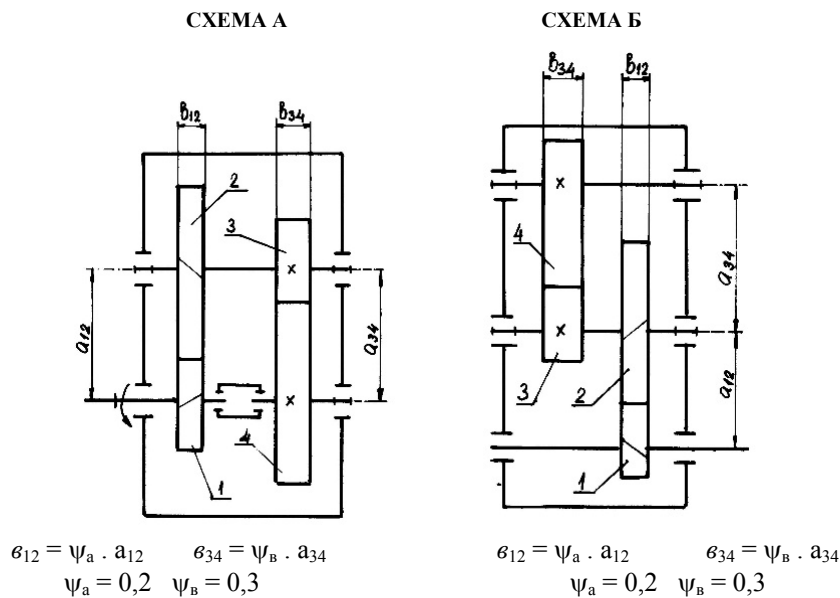


СХЕМА 1

СХЕМА 2

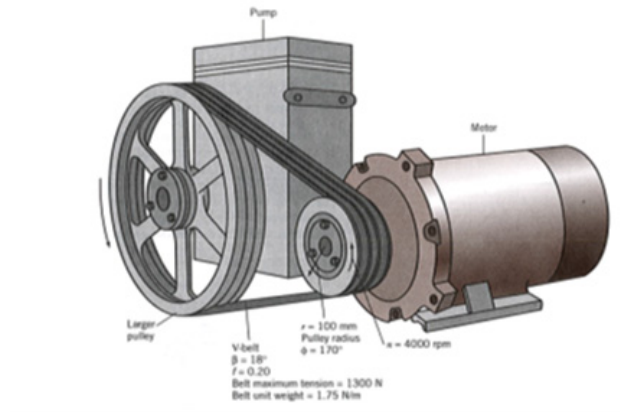


Фиг. 4. Кинематични схеми на задвижване на лентов транспортър

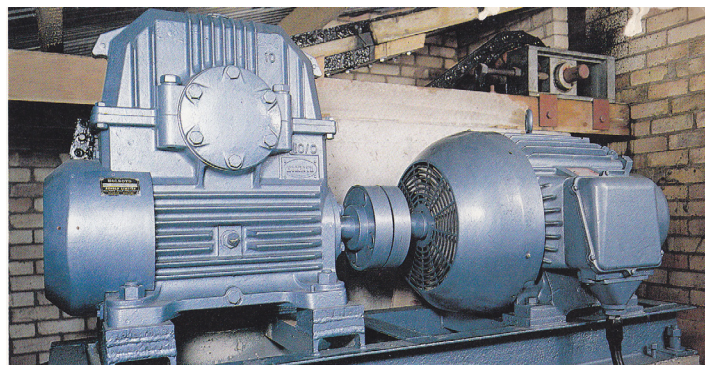


Фиг. 5. Кинематична схема на редуктор

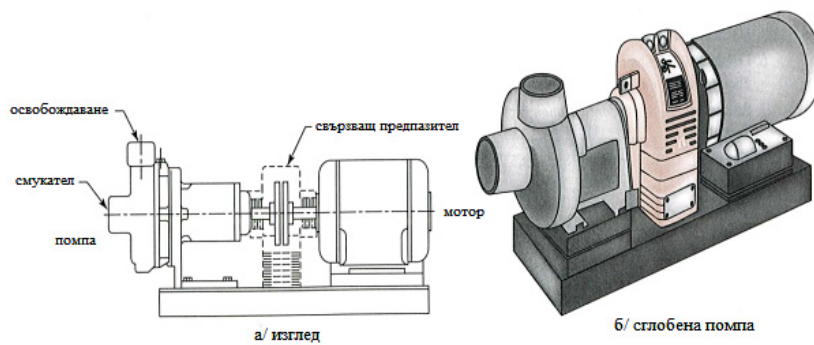
За да получат по-добра представа за това как е необходимо да започнат анализа, на студентите се предоставят различни реализирани кинематични схеми. От предоставени варианти на кинематични схеми и нагледно в лабораторията от материализирани и работещи модели, те сами стигат до изводи за реализация на своята схема, последователност на елементи, начини на установяване и др. Сами виждат реализираната редукцията с избраните елементи на задвижването.



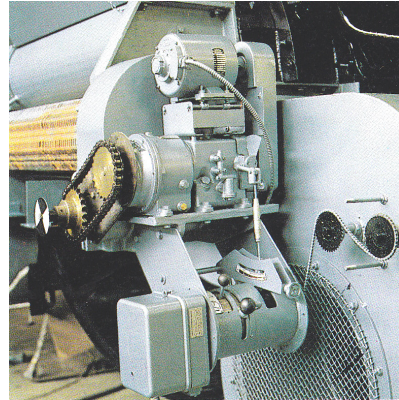
Фиг. 6. Ремъчно задвижване



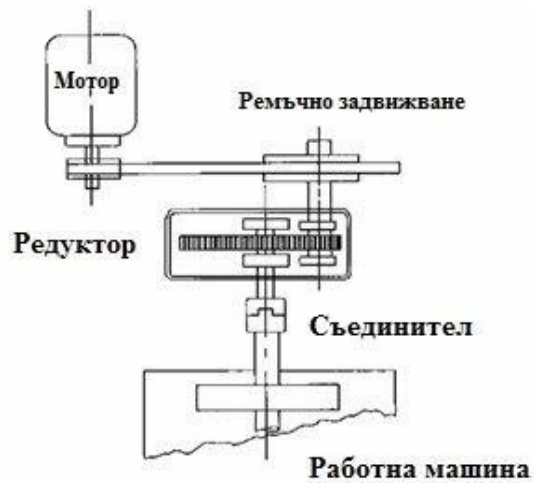
Фиг. 7. Връзка – съединител между двигателна и работна машина



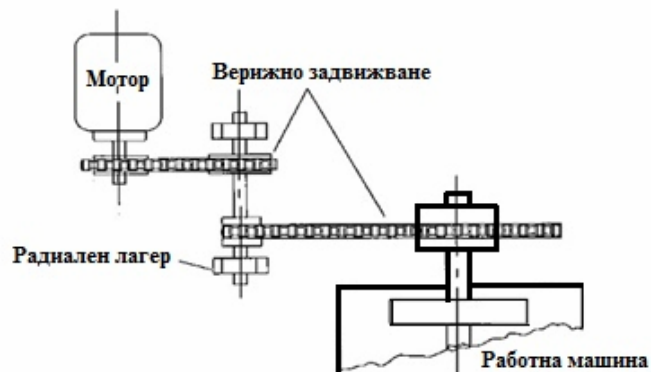
Фиг. 8. Съединител за междинен елемент



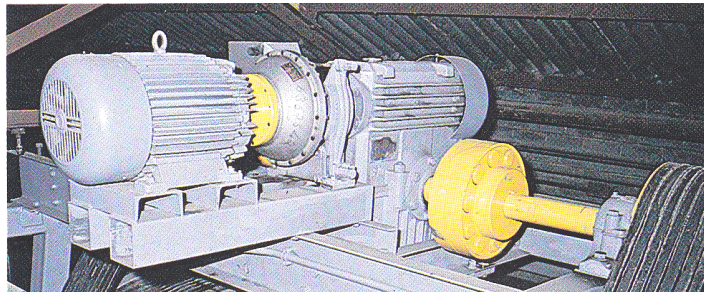
Фиг. 9. Приложение на верижното задвижване



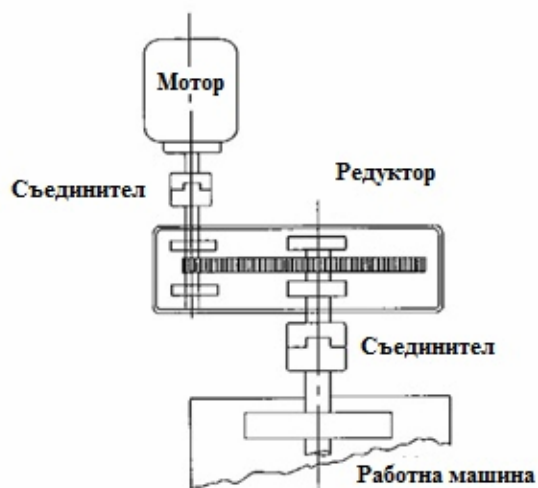
Фиг. 10. Участие на ремъчна предавка в задвижването



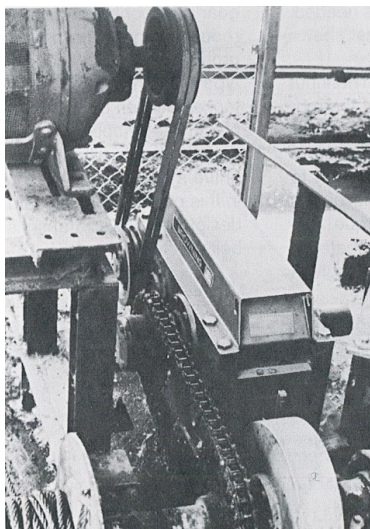
Фиг. 11. Приложение на верижна предавка в задвижване



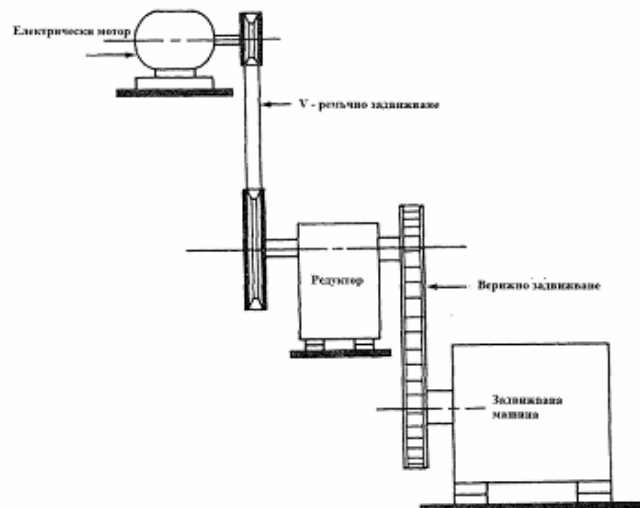
Фиг. 12. Приложение и място на монтиране на съединителя



Фиг. 13. Съединителят като междинен елемент



Фиг. 14. Приложение на комбинираното задвижване



Фиг. 15. Кинематична схема на комбинирано задвижване

Всеки студент разработва задачите по входни данни и план на работа, зададени в индивидуално задание. Разработката включва кинематични, якостни, геометрични и други изчисления, оформени в изчислително-обяснителна записка.

Литература

1. Недев Ц. и др., Машинознание, ТУ-София, 1997.
2. Нанков Н., Записки по техническа механика и елементи на финната механика – ч. 2, Варна, ТУ- Варна, 1990.
3. Минчев Н. и др., Теория на механизмите и машините, Техника, С, 1991.
4. Арнаудов К и др., Машинни елементи, Техника, С, 1989.
5. Попов З., Теория на механизмите и машините, Техника, С, 1989.
6. Генова П. и др., Механични елементи и механизми, С., 1980.
7. Маринов Х. и др., Теория на механизмите и машините, Р., 2005.
8. Долчинков Р., Ръководство за курсова работа по Машинознание, Ирита, К., 2002.
9. Долчинков Р., Задвижвания и предавки в съвременните машини, Ирита, К., 2005.
10. Долчинков Р. и др., Ръководство за решаване на задачи по теоретична механика, Ирита принт, К., 2009.
11. Долчинков Р., Технически експертен анализ на механични конструкции, Янита-ЯС, К, 2015.