

**Факултет инжењерских наука Универзитета у
Крагујевцу**



Назив студијског програма: Машинско инжењерство

Ниво студија: Основне академске студије

Модул: Машинке конструкције и механизација

Предмет: Основи транспортних машина

Број индекса: 88/2014

Никола С. Милутиновић

Порталне-лучке дизалице

завршни рад

Комисија за преглед и одбрану:

1. Др Ненад Милорадовић, доцент-ментор

2. _____

Датум одбране: _____

3. _____

Оцена: _____

У оквиру овог завршног рада кандидат треба да:

- Истакне улогу и област примене порталних – лучких дизалица при транспорту терета.
- Прикаже кратак осврт на историјски развој ових дизалица.
- Наведе и опише одговарајуће саставне дизаличне механизме и истакне њихове главне карактеристике и метод прорачуна.
- За изабрани тип дизалице и за дефинисану носивост и висину дизања терета уради конкретан рачунски пример.

Препоручена литература:

- [1] Д. Острић, С. Тошић, Дизалице, Машински факултет, Центар за механизацију, Београд, 2005.
- [2] Д. Острић, Дизалице, Машински факултет, Београд, 1992.
- [3] М. Георгијевић, Претовар контејнера, Факултет техничких наука, Нови Сад, 2003.
- [4] Р. Мијајловић, З. Маринковић, М. Јовановић, Дизалице, основе, Градина, Ниш, 1994.
- [5] Р. Мијајловић, З. Маринковић, М. Јовановић, Транспортне машине - Практикум, Ниш, 1988.

Крагујевац, 06. 03. 2017.

Ментор:

Др Ненад Милорадовић, доцент

Резиме:

Циљ овог завршног рада јесте приказ изгледа, функционисања главних делова као и рад порталних – лучких дизалица. Такође је описано како су настале и где се користе овакве врсте дизалица, као и њихови произвођачи, а затим су и детаљно описани њени главни делови. У другом делу рада наведен је метод прорачуна главних дизаличних механизма и урађен је конкретан рачунаски пример за одређени тип дизалице и за дефинисану носивост и висину дизања терета.

Кључне речи: портал, стуб, стрела, избор погона дизалице, лучке дизалице.

Abstract:

The aim of this final paper is to look at the layout, the functioning of the main parts as well as the work of port - port hoists. It also describes how they were created and where these types of cranes are used, as well as their manufacturers, and then describe in detail its main parts. In the second part of the paper, the method of calculation of the main developing mechanisms was given and a concrete calculation example was made for a particular type of crane and for the defined load capacity and load lifting height.

Key words: portal, pillar, arrow, selection of hoist drive, cranes.

Садржај

1. Увод.....	6
2. Историјски развој порталних-лучких дизалица.....	8
3. Основне карактеристике и главни радни механизми лучких дизалица.....	15
3.1. Технички параметри лучких дизалица.....	19
3.2. Механизми обртања лучке дизалице.....	21
3.3. Погон за дизање терета.....	26
3.4. Механизми за кретање лучке дизалице.....	27
3.5. Промена угла стреле.....	29
3.5.1. Промена угла стреле са криволинијским премештањем терета.....	29
3.5.2. Промена угла стреле са хоризонталним премештањем терета	31
3.6. Претоварни циклус порталних дизалица.....	33
4. Пример прорачуна механизма за промену угла стреле.....	35
5. Закључак	39
6. Литература.....	40

1. Увод

Постоје различити видови дизаличних машина које се користе за транспорт терета са једног места на друго, и оне се могу користити унутар хала (објеката) или ван њих.

Дизалице су група најшире примењиваних средстава у руковању материјалима и историјски су присутна веома дуго. На настанак и развој порталних дизалица утицала је потреба за премештањем тешких контејнера са бродова при лучном транспорту. С обзиром да људи нису могли ручно да обављају транспорт, осмислили су машине за лако транспортовање тј. лучке дизалице.

Област у којима се примењују лучке дизалице су многобројне и разне, од лука, транспортних центара, индустрије, радионица, сервиса итд. Срећу се у различитим конструкционим облицима зависно пре свега од процеса који опслужују. Ове машине су намењене за дизање и премештање терета у хоризонталној и вертикалној равни. Могу преносити комадну и расуту робу у оквиру ограниченог радног простора који је одређен конструктивним карактеристикама саме дизалице.

Период рада дизалице састоји се од следећих операција:

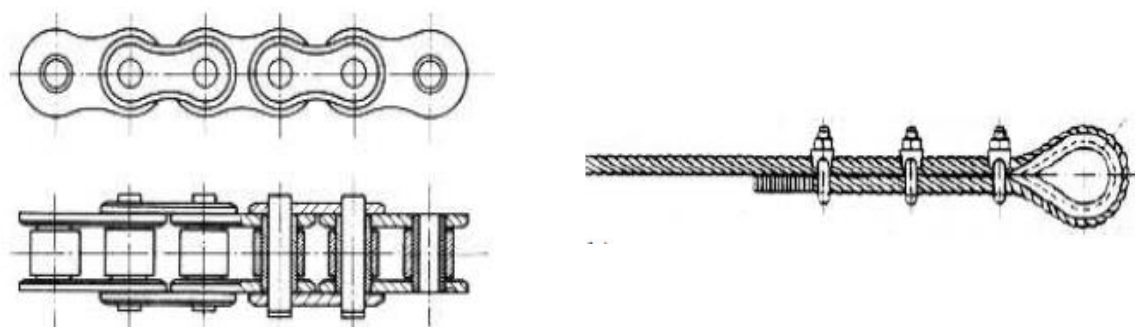
- вешања терета о носећи орган дизалице,
- радног хода (дизања, премештања у хоризонталној равни, и спуштања терета),
- скидање терета са носећег органа дизалице и
- повратног (мртвог) хода до места поновног везивања за терет.

Дизалице најчешће раде на следећи начин: терет се прихвата уређајима за качење (куке, хватачи...(слика 1)) затим се подиже ужадима или ланцима, (слика 2), преко котурова, намотавањем на добош. За заустављање терета у одређеном положају служе кочнице.

Што се тиче капацитета дизаличних постројења он је обрнуто сразмеран висини дизања и дужини хоризонталног премештања терета. Другим речима, код дизалица капацитет зависи од дужине транспорта. Ова карактеристика дизаличних постројења оштро наглашава разлику у односу на машине са непрекидним транспортом, код којих капацитет не зависи од дужине транспорта [1].



Слика 1. Хватачи



Слика 2. Ужад и ланци [1]

Монтажа и демонтажа ових машина су сложени монтерски задаци и морају се спроводити тачно за сваки тип по упутствима произвођача и свим сигурносним мерама. Трајање процеса монтаже и демонтаже може трајати неколико сати до неколико седмица, зависно од величине дизалице, врсте, марке и типа.

Приближан однос трајања монтаже-демонтаже је 60%-40%, односно брже се обавља демонтажа од монтаже порталних дизалица. Време монтаже и демонтаже је посебно битно и треба бити што краће због тога што се не могу све врсте терета захватати истим механизмом па је самим тим потребно да када терет стигне у луку изврши монтажа одређеног механизма за захватање тог терета.

2. Историјски развој порталних-лучких дизалица

Дизалице су се први пут појавиле у старој Грчкој и служиле су првенствено за премештање терета, као и за изградњу разних објеката као што су храмови, палате и други објекти. Прве дизалице су биле конструисане тако да се за премештање терета користила снага људи или животиња, како би касније била направљена дизалица на парни погон која се користила у 18-ом па све до средине 20-ог века. Развојем цивилизација створила се жеља људи за бржу размену робе између земаља. Зато су људи изградили луке тј. пристаништа за бродове. Како би се тај процес размене робе обављао јавила се и потреба за адекватном дизалицом која би обављала премештање терета са бродова у луку и обрнуто. Те дизалице се зову портално–лучке дизалице [2].

Под порталним дизалицама се подразумевају дизалице са стрелом које су причвршћене за портал и имају могућност обртања за 360°, оне се најчешће користе у речним и поморским лукама за истовар, утовар као и за складиштење робе. Постоји више конструктивних решења портално–лучких дизалица, карактеристичан изглед приказан је на слици 3.



Слика 3. Лучке дизалице [2]

Порталне-лучке дизалице се састоје од:

- стреле,

Порталне – лучке дизалице

- стуба,
- кабине са механизмима,
- портала,
- покретног контратега,
- непокретног контратега и
- управљачке кабине [3].

У оквиру основне поделе на основу конструкције порталнообртне дизалице могу да се поделе у две групе и то:

- дизалице са дуплом стрелом и
- дизалице са обичном стрелом.

Порталне дизалице могу вршити претовар робе тако што ће се портал налазити на броду или на копну тј. у луци. Када се портал налази на копну постоји проблем због тога што већина лука располаже са малом површином тако да нема довољно места за лако маневрисање камиона и вагона. Као једно од решења је да се портал поставља тако да премошћава саобраћајну површину тј. испод њега се одвија неометан пролаз вагона или камиона на којима се утоварује роба зависно од тога којим видом превоза се превози терет. Оваквим видом постављања портала постиже се бржи транспорт и бржи утовар робе.

Лучке порталне дизалице имају широку примену у индустријском транспорту. Производе се различити модели дизалица у зависности од потреба које треба да обављају и од расположивог простора. Њихова главна предност у односу на друге врсте дизалица је максимална тежина дизања и премештање терета на већу раздаљину. Као погон ове дизалице користи се електромотор који се бира на основу добијеног прорачуна за одређени тип дизалице [3].

Најпознатији произвођачи порталних дизалица јесу Konecranes и Libher.

Конесанес постоји још од 1910 године и данас је водећи лидер у производњи лучких дизалица које се користе у разним гранама индустрије, посебно у бродоградилиштима и у лучким претоварним терминалима. Карактеристичне конструкције лучке дизалице овог произвођача приказане су на слици 4.



Слика 4. Лучке дизалице са карактеристичном конструкцијом стреле [3]

Оно са чиме могу посебно да се похвале јесу Голијат дизалице. Кабина ових дизалица је дизајнирана са прилагођеним контролама за лакше коришћење, са побољшаном видљивости, ефикасности и безбедности за оператора. Компоненте и седиште су унутар конструкције, тако да се обезбеђује безбедност за оператора, чак и у тешким временским условима.

Основни подаци:

- носивост до 50 t,
- висина дизања до 21 m,
- брзина дизања терета 45 m/min,
- брзина кретања дизалице 70 m/min,
- дужина колосека до 20 m,
- ширина између ногу 15 m.

Конструисање дизалица и њихова серијска производња један је од основних покретача за оснивање фирме Libher. Ова компанија је основана 1949 године, када је и први пут израђена покретна дизалица. Данас је компанија Libher један од водећих произвођача грађевинских машина. Њен развој и производња се одвија на 29 локација у 12 земаља на 4 континента, а све ово опслужује око 38000 радника.

Овде се производе разни видови дизалица као и помоћних хидрауличних машина као што су:

- торањске дизалице,
- камион дизалица,
- хидраулични багер,

- камион кипер,
- утоваривач на точковима и др [3].

После првог светског рата ова компанија је учествовала у реконструкцији разрушених објеката као и у изградњи нових, у тим акцијама су учествовале многе компаније као и занатлије тако да је њен први производ био конструисан заједно са занатлијама а то је био први мобилни кран ТК 10 који се може лако транспортовати, а на градилишту лако склапати и расклапати. Поред мобилног крана ова компанија је свој асортиман производње проширила 1953 год. производњом хидрауличних багера D300 који је своју примену пронашао у Европи где је највише и остварио своју продају [4].

Због малог простора у лукама, Libher нуди јединствену комбинацију тестиране технологије Libher лучких дизалица, где постоје више модела ових дизалица као што су LPS, TCC и LPM као идејно решење овог проблема.

Под LPS дизалицама подразумевају се дизалице које су смештене у лукама и направљене тако да заузимају што мање простора. Могу бити фиксиране за подлогу или се могу кретати по шинама које су идеалне за луку која је тежа за маневрисање. На слици 5 је приказана LPS лучка дизалица.



Слика 5. LPS лучка дизалица [5]

Порталне – лучке дизалице

Приказана LPS дизалица је специфичне конструкције, врло флексибилна и штеди простор. С обзиром на висину портала најчешће се користе на пристаништима која су повезана са железницом при чему се испод неометано одвија саобраћај.

Предности LPS лучке дизалице су:

- број точкова може да се разликује у односу на оптерећење,
- дизајн и облик који одговара простору,
- израда заснивана на најсавременијим технологијама.

Основни подаци:

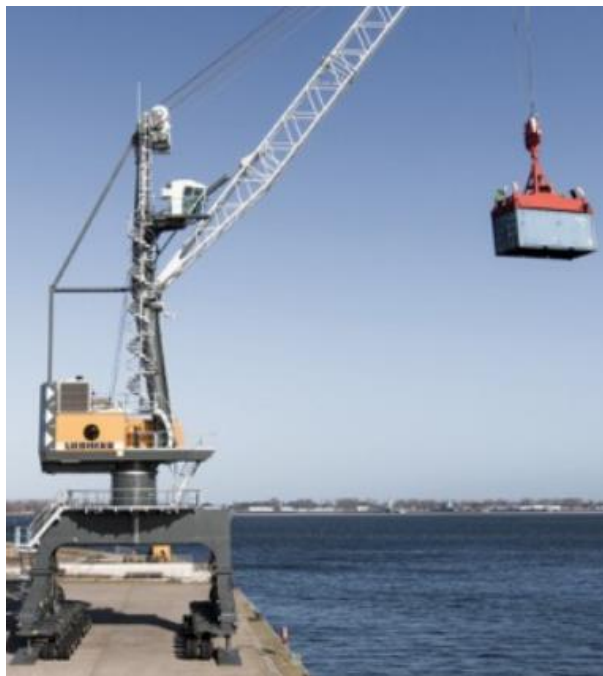
- носивост до 60 t,
- висина дизања до 21 m,
- брзина дизања терета 28 m/min,
- брзина кретања дизалице 70 m/min,
- дужина колосека до 25 m,
- ширина између ногу 20,8 m [5].

ТСС је такође један од модела Libher лучких дизалица који се користи за премештање контејнера и расуте робе. Поседује могућност уградње хватача на моторни погон за лакше манипулисање и захватање расуте робе. ТСС модел у комбинацији са доњим покретним порталом који се креће по шинама представља практично решење за пристаништа са ограниченим простором. На слици 6 је приказана лучка дизалица модела ТСС.



Слика 6. ТСС лучка дизалица [5]

Поред модела LPS и TCC који се постављају на покретни портал који се креће по шинама LPM се поставља на портал који се креће помоћу точкова. Сам модел LPM је настао као комбинација мобилне лучке дизалице и као одговарајуће решење за монтажу на точковима. Један од LPM модела приказан је на слици 7.



Слика 7. LPM лучка дизалица [5]

Даљи развој лучких дизалица допринео је да се компаније које их прооизводе и власници бродова фокусирају како на бржи претовар терета тако и на сигурније руковање тим теретом. Timars компанија нуди многобројна решења за сигурније и брже руковање робом, а један од њих је Gravity Centraliser. Овим механизмом руковаоцу дизалице се омогућава да ако се контејнер подиже под неким углом он га исправља тј. враћа у хоризонталан положај и приликом транспорта омогућава да контејнер не удари о други контејнер и самим тим не оштети робу. Овим механизмом је такође омогућено заокретање терета за 360° и тиме олакшано складиштење робе. Овај механизам је приказан на слици 8 [6].



Слика 8. Приказ механизма за сигурније руковање робом [6]

Timars компанија поседује велики број механизма за сигуран претовар контејнера као и мањих терета тј. расуте робе. Неки од механизма за руковање мањим контејнерима и расуте робе јесу: Timars C, Timars HCL и Timars HCA. Што се тиче Timars HCL система он поседује крути правоугаони рам за руковање стандардним контејнерима. Дизајниран је да се може користити под тешким условима рада као што су климатске непогоде. Timars HCL је приказан на слици 9.



Слика 9. Приказ Timars HCL механизма за руковање контејнера [6]

Timars HCA је намењен за претовар стандардних контејнера, примењује се на нижим нивоима тј. руковање контејнером се обавља на мањим висинама. Испоручују се тако да се могу одмах монтирати на дизалици, а максимална тежина дизања се креће од 32 t до 36 t [6].

У данашње време поред развоја лучких дизалица и њихових механизма за сигурније и брже транспортовање робе, ради се и на развоју самих контрола које се налазе у кабини због лакшег манипулисања робом. Овим видом развоја лучких дизалица омогућено је оператеру, који опслужује одређену дизалицу, лакше и сигурније маневрисање робом, као и потпуну контролу над њом. Такође је смањена шанса за људском грешком као и закашњења у транспорту робе [7].

3. Основне карактеристике и главни радни механизми лучких дизалица

Портално - лучке дизалице се могу дефинисати као средство са цикличним дејством намењено утовару, истовару и складиштењу командне и расуте робе у оквиру ограниченог радног простора, који је одређен конструктивним карактеристикама дизалице. Оне се класификују према различитим критеријумима, а за избор претоварне технологије, односно пројектовање претоварних процеса најцелосходнија је класификација према врсти погона и конструкцији.

Према врсти погона дизалице се разврставају у две групе:

- са електричним погоном и
- SUS моторима.

Дизалице са електричним погоном се крећу по шинама, док се дизалице са погоном помоћу SUS мотора имају носећи рам и погонски систем сличан друмском возилу.

Конструкција и избор дизалице може се обавити према:

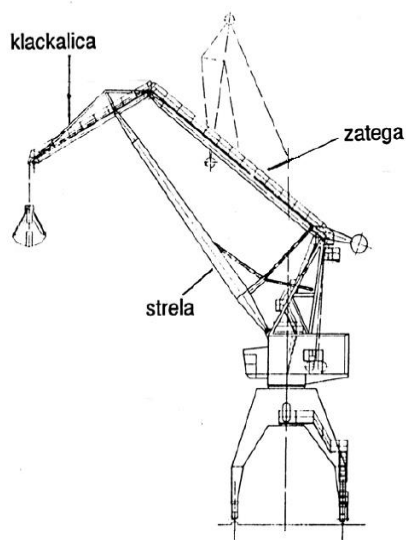
- носивости,
- предметима који се преносе,
- захватним направама,
- врсти транспортног пута,
- начину управљања и
- евентуалној надоградњи.

У оквиру основне поделе порталне дизалице се деле још и на:

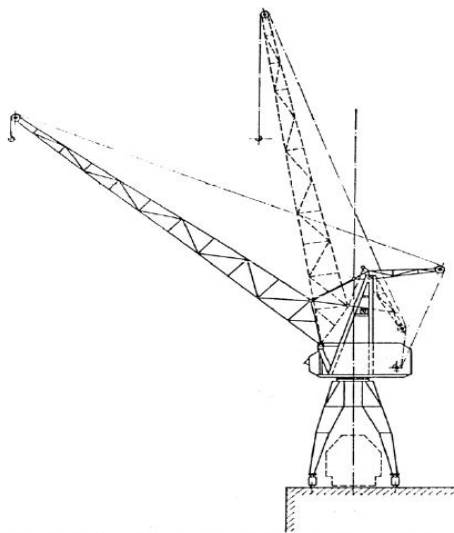
- дизалице са дуплом стрелом и
- дизалице са обичном стрелом.

На слици 10 и 11 су приказане порталне дизалице са дуплом и обичном стрелом.

Порталне – лучке дизалице



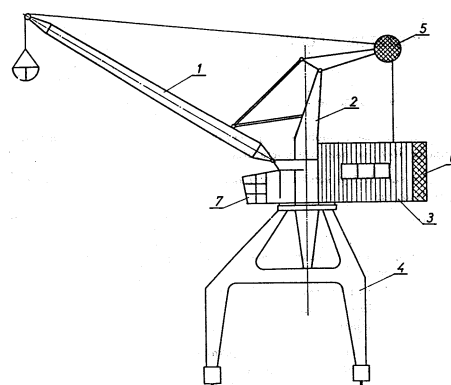
Слика 10. Портална – лучка дизалица са дуплом стрелом [8]



Слика 11. Портална – лучка дизалица са обичном стрелом [8]

Шематски приказ порталне дизалице са главним деловима приказаним на слици 12:

- 1 – стрела
- 2 – стуб
- 3 – кабина са механизмима
- 4 – портал
- 5 – покретни контратег
- 6 – непокретни контратег
- 7 – управљачка кабина



Слика 12. Портална – лучка дизалица са главним деловима [8]

Носећа конструкција порталних дизалица се састоји од портала на коме је причвршћен обртни део (стуб) са стрелом и машинском кућицом са механизмима. Код дизалица са обичном стрелом један од захтева је да се при промени дохвата терета креће што више хоризонтално и у том случају систем за промену дохвата неће бити оптерећен силом од терета. Док код дизалица са дуплом стрелом која има три елемента у својој конструкцији: притиснут стуб (стрелу), затегнути стуб и клацкалицу се постиже боље хоризонтално кретање терета. Ово се постиже избором геометријских величина стуба, притиснуте стреле, затегнуте стреле и клацкалице, а код дизалица са обичном стрелом помоћу компензационих котурача смештених између врха стуба и стреле.

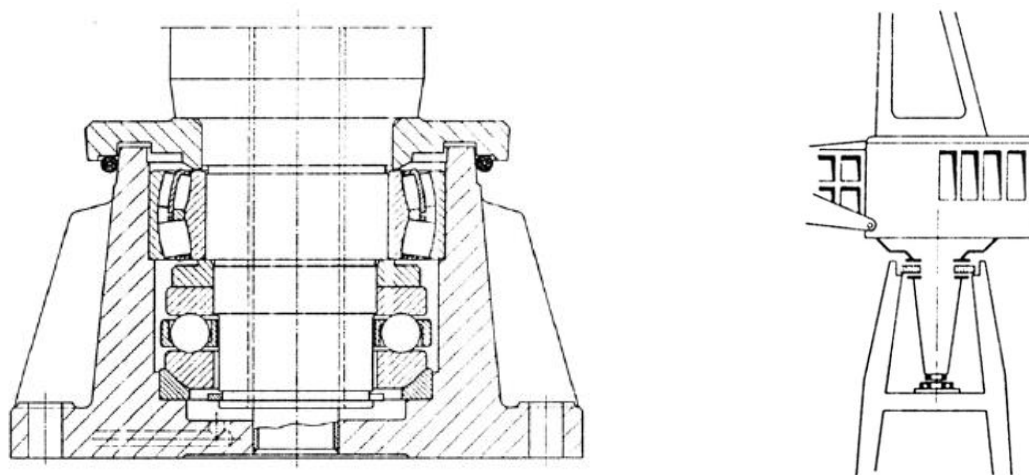
Портални рам порталних дизалица се израђује као портал или полупортал, а његови окретни делови се ослањају на:

- кружну шину која је уграђена на порталу,
- или се okreћу помоћу окретног или неокретног стуба.

Углавном је стуб портала окретан. Улежиштење стуба се углавном изводи на два начина и то:

- укљештење стуба у две равни портала,
- укљештење стуба у једној равни портал, преко великог радијаксијалног лежаја.

На слици 13 је приказано улежиштење стуба у портал.



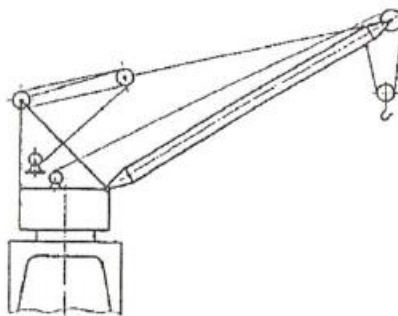
Слика 13. Приказ улежиштења обртног стуба у портал и конструктивно решење [8]

Доњи лежај прима силе у вертикалној равни (маса стуба, стреле, терета, машинске кућице са механизмима итд.) и силе од момената у хоризонталној равни, а горњи ослонац стуба, преко хоризонталних точкова прима само хоризонталне силе које се преносе на портал преко такозваног прстена портала [8].



Слика 14. *Покретни лежај лучке дизалице [8]*

Када тежина стреле није уравнотежена тада тежине стреле и дизање терета при промени угла стреле захтева моћан механизам за промену угла стреле. Овакви типови дизалице су старе конструкције, мање ефикасне, јер се за заустављање терета троши дуже време, као што је приказано на слици 15 стрела која при промени угла не обезбеђује хоризонтално кретање терета.

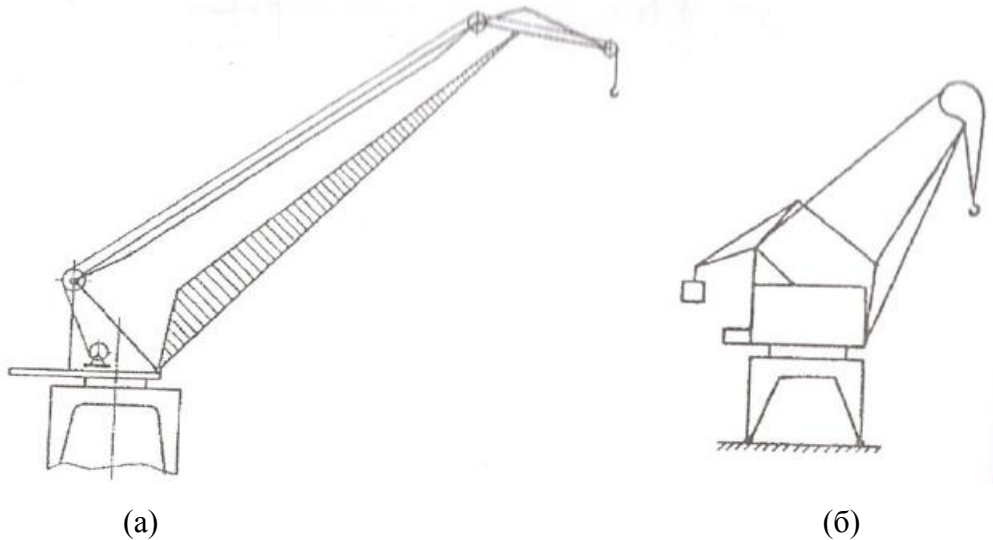


Слика 15. *Приказ стреле која не обезбеђује хоризонтално кретање терета[9]*

Савремена портална – лучка дизалица обезбеђује премештање терета путањом блиској хоризонталу при промени угла стреле. Снага електро мотора за промену угла стреле при хоризонталном премештању терета троши се на:

- савладавање трења у зглобовима,
- савијање ужета преко котурова,
- оптерећења услед ветра и инерцијалне силе,
- непоклапање у потпуности трајекторије терета са хоризонталом,
- савлађивање неуравнотеженог дела момента од тежине стреле [9].

Поред порталних дизалица са стрелом која не обезбеђује хоризонтално кретање терета постоје још и порталне дизалице које обезбеђују хоризонтално кретање терета при промени угла стреле са крутом затегом (слика 16 (а)) и еластичном затегом (слика 16 (б)).



Слика 16. Приказ порталних дизалица са крутом (а) и еластичном (б) затегом [9]

3.1. Технички параметри лучких дизалица

Постоји средњи часовни капацитет лучких дизалица који се означава ознаком K_C , t/h и израчунава се формулом:

$$K_C = Q_n \cdot n \cdot K_t \cdot K_i \quad (3.1)$$

где су:

Q_n - корисна носивост,

n - број циклуса на сат при непрекидном раду,

K_t - коефицијент испуњења полазне носивости Q_n ,

K_i - коефицијент искоришћења дизалице при њеном раду.

Коефицијент искоришћења дизалице има вредност:

$$K_i = 0,7 \div 0,8 \quad (3.2)$$

У зависности од врсте уређаја за захватање терета, корисна носивост се дефинише као:

$Q_n = Q$ – за дизалице са куком,

$Q_n = 0,4 \cdot Q \div 0,6 \cdot Q$ – за дизалице са грабилицом,

$Q_n = 0,7 \cdot Q \div 0,85 \cdot Q$ – за дизалице са куком при раду са посудама.

Важи да је:

$$n = \frac{3600}{T}$$

$$T = \varepsilon \sum_{l=1}^n t_i$$

$$t_i = \frac{S_i}{V_i} + 0,5 (t_u + t_k) \quad (3.3)$$

где су:

T – средње трајање циклуса,

S_i – средња величина пута,

V_i – брзина устаљеног кретања,

t_u – време убрзања,

t_k – време кочења,

l – број радних дана у години,

m – број радних часова у дану [9].

Табела 1. Утицајни фактори при прорачуну капацитета лучких дизалица [9]:

Тип дизалице	K_t	K_i	ε	l	M	n
Лучке са куком дизалице	0,4	0,4 ÷ 0,6	0,6 ÷ 0,7	100 ÷ 300	14 ÷ 21	12 ÷ 13
Монтажне дизалице	0,2 ÷ 0,5	0,3 ÷ 0,4	0,9 ÷ 1	300	14	

Лучке дизалице се разликују по дохватима стреле стим што њихова носивост остаје иста за све врсте и она се креће у границама $Q=1,5 \div 20$ t. Дохват лучких дизалица се може кретати у границама од $L=1,5 \dots 40$ m, а њихов минимални дохват се одређује из конструктивних разлога.

Препоручене брзине:

- v_d , m/min = 15 ... 90 - брзина дизања,

- v_{str} , m/min = 20 ... 60 - брзина промене угла стреле,
- v_{po} , m/min = 15 ... 35 - брзина кретања портала,
- n_o , min^{-1} = 0,5 ... 3 - број обртаја обртног дела [9].

Ради правилног димензионисања саставних елемената одговарајућих радних механизма треба одредити отпорне силе које настају при раду механизма лучких дизалица.

Силе инерције настају од:

- силе инерције изазване убрзањем и кочењем,
- центрифугалне силе инерције,
- силе инерције изазване љуљањем терета.

Дејством сила инерције на еластичне елементе лучких дизалица као и њихових механизма и металне конструкције долази до осцилација, које су све неповољније што је време дејства тих сила мање.

За прорачун притиска на точковима порталних дизалица на којима делују вертикална и хоризонтална оптерећења усвајају се следеће претпоставке:

- главе дизаличних шина леже у једној хоризонталној равни,
- сви точкови крана су у контакту са шинама,
- систем портала преко којег се предају оптерећења на шине је крут у вертикалној равни [9].

3.2. Механизми обртања лучке дизалице

Механизми обртања лучке дизалице састоје се из:

- ослоначко – обртног постројења и
- погона за обртање.

Погони механизма обртања се састоји од пужног редуктора који је конструисан са уређајем који омогућава проклизавање на конусним површинама трења у случају наглог повећања обртног момента. Електромотор механизма за обртање се бира према средњем квадратном моменту и то:

$$M_{sr} = M_{tr} + 0,7 \cdot (M_v + M_\gamma) \quad (3.4)$$

где су:

Порталне – лучке дизалице

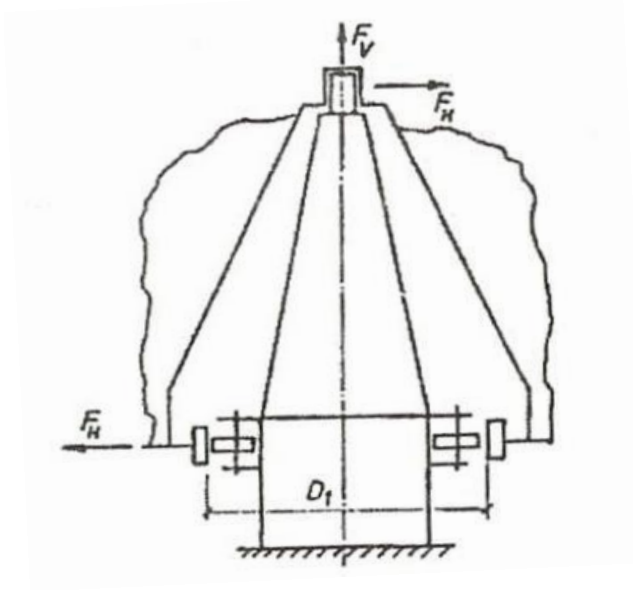
M_{sr} – средњи квадратни момент,

M_{tr} – момент сила трења обртног дела,

M_v – највећи момент притиска ветра управно на правац стреле који делује на обртни део дизалице и терета,

M_γ – највећи момент од нагиба осе обртања дизалице.

На слици 17 се може видети шема котрљања ваљка или точкова по обртном прстену.



Слика 17. Приказ обртања точкова по обртном прстену [9]

На основу слике 17 момент сила трења обртног дела (M_{tr}) је једнак:

$$\begin{aligned} M_{tr} &= \sum F_{Wtr} \cdot \frac{D_l}{2} \\ F_{Wtr} &= F_{Wtr1} - F_{Wtr2} \\ F_{Wtr1} &= F_x \left(\frac{\mu \cdot d}{D} + \frac{2 \cdot f}{D} \right) \\ F_{Wtr2} &= \frac{2 \cdot f}{D} \cdot F_x \end{aligned} \quad (3.5)$$

где су:

D – пречник ваљка точка,

μ – коефицијент трења у лежишту ваљка или точка,

F_x – нормална сила на ваљак или точак,

f – коефицијент трења или котрљања,

D_l – унутрашњи пречник обртног прстена.

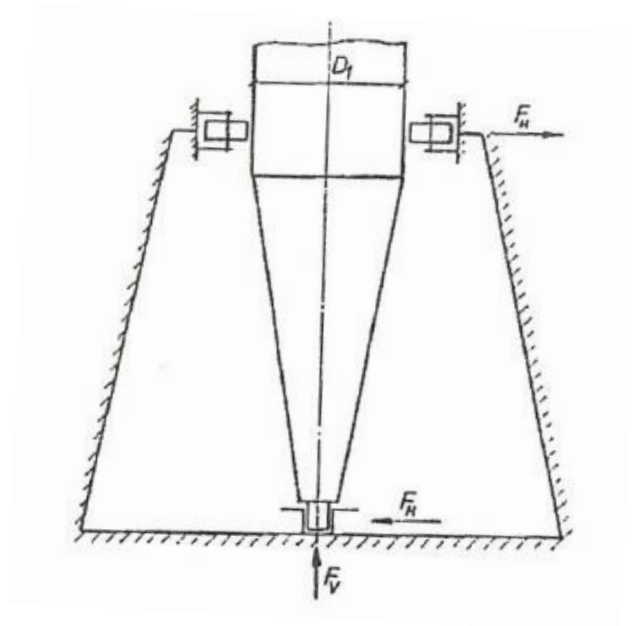
Сада је:

$$F_{Wtr} = F_x \cdot \left(\frac{\mu \cdot d}{D} + \frac{2 \cdot f}{D} - \frac{2 \cdot f}{D_l} \right) = F_x \cdot C_k$$

$$C_k = \left(\frac{\mu \cdot d}{D} + \frac{2 \cdot f}{D} - \frac{2 \cdot f}{D_l} \right)$$

$$M_{tr} = C_k \cdot \frac{D}{2} \sum F_x \quad (3.6)$$

За разлику од слике 17 на слици 18 је приказано обртање ваљака или точкова по окретном стубу.



Слика 18. Приказ обртања точкова по окретном стубу [9]

Пошто се разликује начин обртања точкова самим тим ће се разликовати и формуле па је:

$$\begin{aligned} F_{Wtr} &= F_{Wtr1} + F_{Wtr2} \\ F_{Wtr1} &= F_x \left(\frac{\mu \cdot d}{D} + \frac{2 \cdot f}{D} \right) \\ F_{Wtr2} &= \frac{2 \cdot f}{D_l} \cdot F_x \end{aligned} \quad (3.7)$$

Сада је:

$$\begin{aligned} F_{Wtr} &= F_x \cdot \left(\frac{\mu \cdot d}{D} + \frac{2 \cdot f}{D} + \frac{2 \cdot f}{D_l} \right) \\ F_{Wtr} &= F_x \cdot C_k \end{aligned} \quad (3.8)$$

Поред обртања ваљка или точкова по обртном прстену и окретном стубу постоји још и обртање точкова по непокретном венцу и по непокретној колони. Одатле следе формуле:

$$F_{Wtr} = F_x \cdot \left(\frac{\mu \cdot d}{D} + \frac{2 \cdot f}{D} \right)$$

$$M_{tr} = \sum F_{Wtr} \cdot \frac{D_2}{2}$$

$$M_{tr} = C_k \cdot \frac{D_2}{2} \sum F_x \quad (3.9)$$

Код обртних постројења на обртном кругу момент сила трења садржи:

- момент сила трења у лежиштима централног стуба и
- момент сила трења точкова или ваљака.

Пошто се момент сила трења у лежиштима централног стуба занемарује биће дефинисан само момент сила трења на точковима или ваљцима.

$$M_{sr} = F_{Wtr} \cdot R$$

$$F_{Wtr} = G \cdot \left(\frac{\mu \cdot d}{D} + \frac{2 \cdot f}{D} \right) \cdot c \quad (3.10)$$

где су:

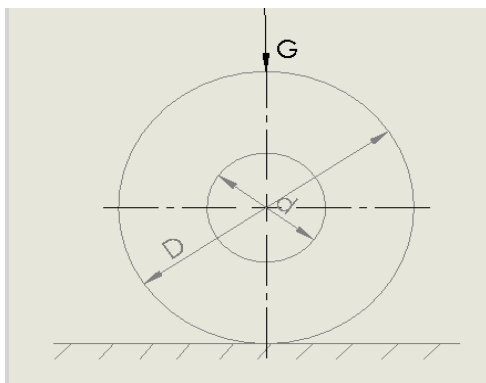
F_{Wtr} – сумарни отпор кретања свих точкова или ваљака сведен на осу кружне шине,

G – тежина обртног дела дизалице са корисним теретом,

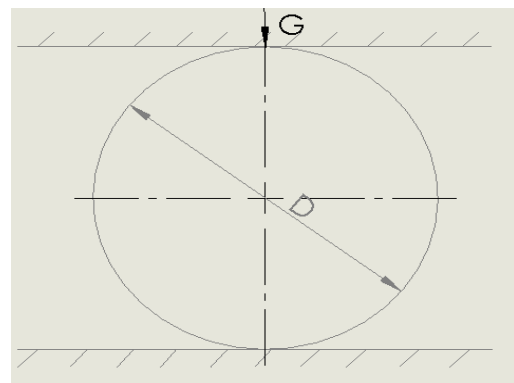
c – коефицијент који обухвата допунска трења (бочно клизање),

R – полупречник кружне шине.

Ови обрасци важе само за случај трења према слици 19.



Слика 19. Приказ кретања точка по подлози [9]



Слика 20. Приказ точка између две површине [9]

У случају да се точак налази између две површине као на слици 20 онда је:

$$M_{tr} = F_{Wtr} \cdot \frac{D}{2} \cdot 2 = F_{Wtr} \cdot D$$

$$F_{Wtr} = \frac{2 \cdot f}{D} \cdot G \cdot c$$

$$M_{tr} = 2 \cdot f \cdot G \cdot c \quad (3.11)$$

$c=1,3 \dots 1,5$ код ваљака

$c=1,3 \dots 1,5$ точкови са клизним лежиштима

$c=2,0 \dots 2,5$ точкови са лежиштима са котрљањем

Поред деловања точкова са трењем по подлози и точка у контакту са обе стране површине где постоји трење јављају се и моменти као што је момент M_γ који се дефинише по формули:

$$M_\gamma = G \cdot \sin \gamma \cdot x_o \cdot \sin \varphi \quad (3.12)$$

где су:

G – тежина обртног дела са теретом,

x_o – полупречник круга који описује тежиште обртног дела са теретом при највећем дохвату стреле.

Највећа апсолутна вредност за момент M_γ је за $\varphi = \frac{\pi}{2}$ и $\varphi = \frac{3\pi}{2}$.

Избор електромотора се обавља тражењем у каталогу приближно веће вредности од добијене формулом:

$$P_{sr} = \frac{M_{sr} \cdot n}{9550 \cdot \eta}, [\text{kW}] \quad (3.13)$$

Оваквим избором електромотора проверава се:

- време убрзања треба да је мање од допуштеног,
- момент електромотора ограничен електронском заштитом $M_3 = 2.35 \cdot M_\mu$ треба да је већи од збира момената највећих отпора обртања при устаљеном кретању, радног дејства ветра, највећег одклона терета од вертикале и момента од нагиба осе обртања дизалице.

У случају да су у фази убрзања следи релација:

$$M_{sr}^m = M_{tr}' + M_{in1}' + M_{in2}' + M_{in3}' + M_V' + M_\gamma' \quad (3.14)$$

где су:

M_{sr}^m , [Nm]- средњи момент пуштања електромотора,

M_{tr}' , [Nm]- момент отпора обртања сведен на вратило електромотора,

M_{in1} , [Nm]- момент силе инерције обртних делова погона,

M_{in2} , [Nm]- момент силе инерције терета у односу на осу обртања при највећем дохвату терета сведен на вратило електромотора,

M_{in3} , [Nm] - момент силе инерције обртних делова конструкције сведен на вратило електромотора,

M_V , [Nm]- момент ветра сведен на вратило електромотора,

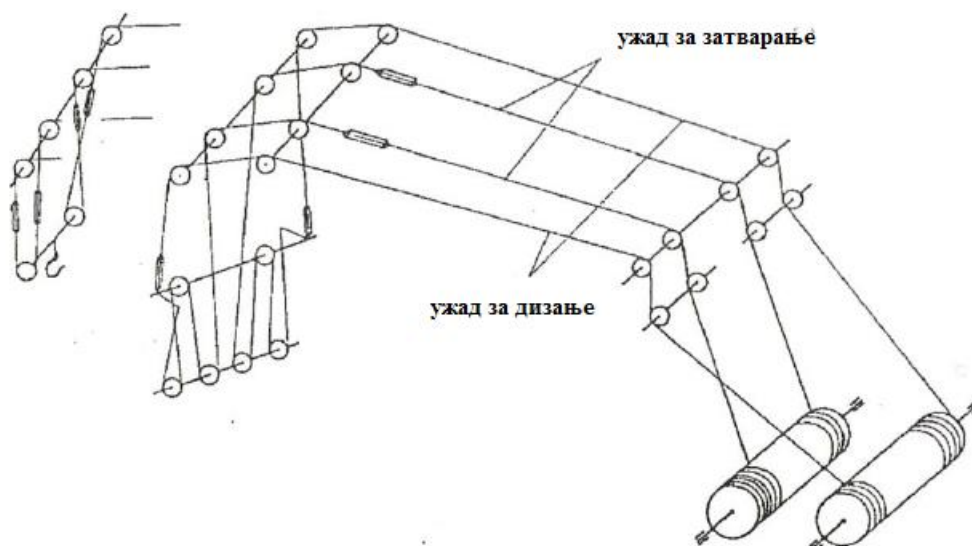
M_γ , [Nm]- момент од нагиба осе обртања сведен на вратило електромотора,

$M_{sr}^m = (1,5 \dots 1,6) \cdot M_n$ – трофазни мотор са фазним ротором,

M_n , [Nm]- номинални момент електромотора [9].

3.3. Погон за дизање терета

Један од механизма за дизање терета јесте механизам са четвороужетним грајфером, а за повремени рад са куком дизалица је снабдевена двокотурном катурачом. Ако катурачу при раду опслужује само један од два електромотора онда се брзина куке умањује за половину, бржи прелаз од рада са грајфером на рад са куком омогућавају ужетне браве. Ове ужетне браве прелазе преко катурова који имају специјални профил. Једна од таквих дизалица која има могућност дизања терета уз помоћ четвороужетним грајфером и двокотурном катурачом приказан је на слици 21.



Слика 21. Дизалица са могућност дизања са четвороужетним грајфером и двокотурном катурачом [9]

3.4. Механизми за кретање лучке дизалице

Мотор за погон механизма за кретање код дизалица са точковима бира се према номиналној снази из формуле:

$$P_n = \frac{(F_{Wtr} + F_V + F_\gamma + F_{in}) \cdot v}{1000 \cdot \eta}, [\text{kW}] \quad (3.15)$$

где су:

P_n – снага при пуштању дизалице са номиналним теретом, против ветра и са нагибом пута,

$F_{Wtr}, [\text{N}]$ - отпор трења,

$F_V, [\text{N}]$ - отпор радног ветра који делује на дизалицу и терет,

$F_{in}, [\text{N}]$ - сила инерције при полазу,

$v, \text{ m/s}$ - брзина кретања,

η - степен корисности.

Отпор трења F_{Wtr} се добија на основу једначине:

$$F_{Wtr} = (G_{kr} + Q) \cdot \left(\frac{\mu \cdot d}{D_T} + \frac{2 \cdot f}{D_T} \right) \cdot \beta, [\text{N}] \quad (3.16)$$

где су:

$Q, [\text{N}]$ – носивост дизалице,

$G_{kr}, [\text{N}]$ – тежина дизалице,

$\mu=0,012$ – за лежиште са котрљањем,

$d, [\text{cm}]$ - пречник осовинице точка,

$D_T, [\text{cm}]$ - пречник точка,

$f=0,05, [\text{cm}]$ - коефицијент трења котрљања,

β – коефицијент закошења.

Електромотор се проверава на време пуштања и при одсуству проклизавања, а једначине су сведене на вратило електромотора:

$$\begin{aligned} m \cdot M_{sr}^m &= M'_{st} + M'_{in1} + M'_{in2} \\ M'_{in1} &= (1,1 \dots 1,2) \cdot \frac{J_1 \cdot n_1}{9,55 \cdot t_u}, [\text{Nm}] \\ M'_{in2} &= \frac{(m_{kr} + m_Q) \cdot D_l^2 \cdot n_1}{38,2 \cdot t_u \cdot i_o^2 \cdot \eta}, [\text{Nm}] \end{aligned} \quad (3.17)$$

где су:

M_{sr}^m , [Nm] - средњи момент пуштања електромотора,

m_{kr} , [kg]- маса дизалице,

m_Q , [kg]- маса терета,

J_1 , [kgm^2]- момент инерције масе на вратилу електромотора,

n_1 , [min^{-1}]- број обрта електромотора,

t_u - време убрзања,

i_o – преносни однос $i_o = \frac{n_l}{n_T}$,

n_T – број обрта точка,

η - степен корисности механизма,

m – број електромотора.

Степен сигурности против проклизавања при пуштању растеређене дизалице против ветра и кретању нагоре по нагибу је дефинисан изразом:

$$K = \frac{F_{pt} \cdot \mu_k}{(F_{Wtr} + F_v + F_\gamma + F_{in}) - \mu \cdot \frac{d}{D_T} \cdot F_{pt}} \quad (3.18)$$

где су:

K – степен сигурности против проклизавања,

F_{pt} – притисак на погонске тачкове растеређене дизалице,

μ_k – коефицијент клизања точка и шине $\mu_k=0,12$,

F_{Wtr} , F_v , F_γ , F_{in} – одређују се при растеређеној дизалици.

$k \geq 1$

Ако је $k < 1$ смањује се моменат пуштања електромотора (помоћу отпорника) или повећавањем броја погонских тачкова.

Када се терет креће надоле и под утицајем ветра притиска 400 N/m^2 сума момената свих кочница треба да је довољна за заустављање дизалице са номиналним теретом то је доказано из једначина које следе:

$$m \cdot M_k = M'_{in1} + M'_{in2} - M'_M$$

$$M'_{in1} = (1,1 \dots 1,2) \cdot \frac{J_1 \cdot n_1}{9,55 \cdot t_u}, [\text{Nm}]$$

$$M'_{in2} = \frac{(m_{kr} + m_Q) \cdot D_l^2 \cdot n_1 \cdot \eta}{38,2 \cdot t_u \cdot i_o^2}, [\text{Nm}]$$

t_k , сес – време кочења

$$t_k = \frac{1}{m \cdot M_k + M'_{st}} \cdot ((1,1 \dots 1,2) \cdot \frac{J_1 \cdot n_1}{9,55} + \frac{(m_{kr} + m_Q) \cdot D_l^2 \cdot n_1 \cdot \eta}{38,2 \cdot i_o^2})$$

$$M_{st} = \frac{(F_{Wtr} - F_v - F_\gamma) \cdot D_T}{2 \cdot i_o \cdot \eta} \quad (3.19)$$

3.5. Промена угла стреле

Код порталних дизалица постоје два основна решења за промену угла стреле а то су:

- при промени угла стреле терет се креће криволинијски
- при промени угла стреле терет се креће хоризонтално.

3.5.1. Промена угла стреле са криволинијским премештањем терета

Код порталних дизалица за криволинијско премештање терета обично је стрела неуравнотежена, и примењује се тамо где се промена угла стреле обавља устаљеним кретањем или се обавља ретко, промена угла стреле се остварује помоћу котураче, зупчaste летве или хидрауличним системом.

Једна од разлика ова два решења промене угла стреле јесте да ако се при промени угла стреле корисни терет креће криволинијски онда се при промени угла стреле троши снага за његово дизање, док се код хоризонталног премештање терета не троши.

За подизање стреле са теретом против ветра потребан је моменат:

$$M_A = G_c \cdot l_c + F_v \cdot h_v + Q \cdot l_r + T \cdot h_2 - s \cdot b + F_c \cdot h_c \quad (3.20)$$

где су:

T - хризонтална сила изазвана отклоном терета,

$F_c, \text{ min}^{-1}$ - центрифугална сила масе стреле која настаје обртањем крана,

F_c - се занемарује,

F_v - сила ветра на стубу,

G_c - тежина стреле.

Сила за промену угла стреле износи:

$$U = \frac{M_a}{a} \quad (3.21)$$

Брзина промене дохвата је средња брзина хоризонталног премештања терета:

$$\Delta L = r_{max} - r_{min}$$
$$V_h = \frac{\Delta L}{t_1} \quad (3.22)$$

где су:

V_h , m/s - брзина промене дохвата,

t_1 – време потребно за промену дохвата од r_{max} до r_{min} .

За промену угла стреле поред брзине постоји и обимна сила на добошу која се одређује на основу формуле:

$$F_O = \frac{F_z}{m \cdot \eta_k} \quad (3.23)$$

где су:

F_O – обимна сила на добошу,

m – број кракова катураче,

η_k – степен корисности катураче.

$$M_{dob} = F_O \cdot \frac{D_d}{2}, \text{Nm} \quad (3.24)$$

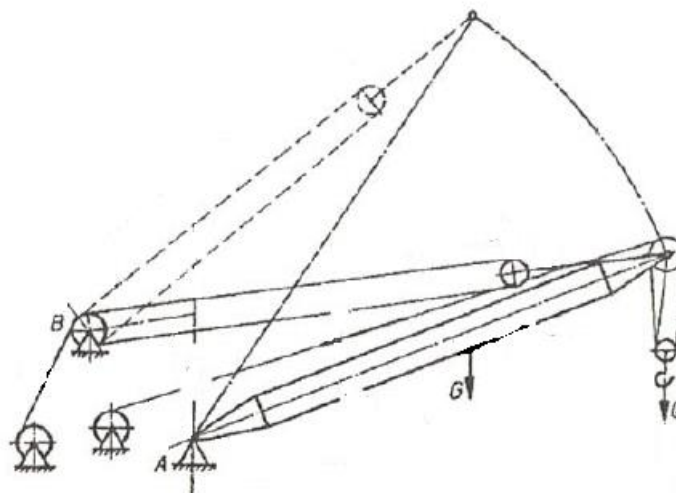
Број обрта добоша износи:

$$n_d = \frac{60 \cdot (l_1 - l_2) \cdot m}{\pi \cdot D_d \cdot t_1}, \text{min}^{-1} \quad (3.25)$$

И на крају средња снага на добошу износи:

$$P = \frac{M_{dob} \cdot n_d}{9550 \cdot \eta}, \text{kW} \quad (3.26)$$

На слици 22 је дат приказ промене угла стреле помоћу катураче а терет се креће криволинијски.

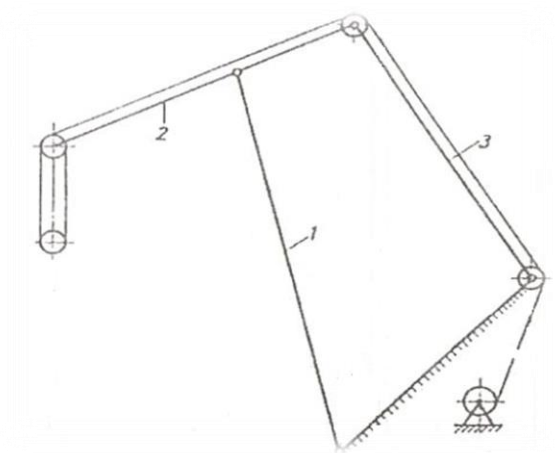


Слика 22. Приказ промене угла стреле помоћу катураче а терет се креће криволинијски [9]

3.5.2. Промена угла стреле са хоризонталним премештањем терета

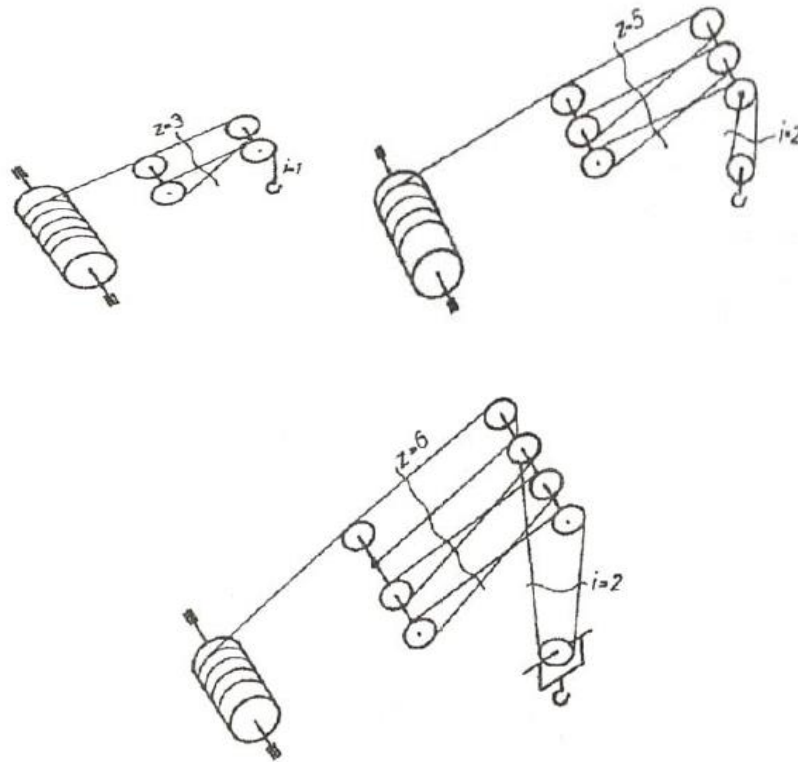
Једно од могућих решења оваквог вида конструкције јесте стрела за хоризонтално премештање терета, са клацкалицом и крутом затегом. Оно ради на таквом принципу да је уже механизма за дизање пребачено преко круте затеге које при промени угла стреле не мења дужину. Када врх клацкалице иде хоризонтално и кука са теретом иде хоризонтално. Овакав вид конструкције приказан је на слици 23.

- 1 стрела
- 2 клацкалица
- 3 крута затега



Слика 23. *Промена угла стреле са хоризонталним премештањем терета [9]*

Поред ове конструкције постоји још један тип система који се често користи а то је систем који се састоји од котураче, од уравнотежавајуће котураче, стреле и добоша који покреће обе котураче. При промени угла стреле мења се растојање између тачака и због промене дужине ужета мења се дужина вертикалног положаја терета, а укупна дужина ужета при промени угла стреле остаје непромењена. На слици 24 су приказана различита могућа конструктивна решења у погледу броја котурова и изгледа котурача [9].



Слика 24. Шема различите конструктивне могућности броја кракова z [9]

i – број кракова котураче,

z – број кракова уравнотежавајуће котураче.

$$s = z \cdot l_z + i \cdot l_i = \text{const} \quad (3.27)$$

Такође са слике 21 следи:

$$y = L \cdot \sin \varphi - l_i = L \cdot \sin \varphi - \frac{s - z \cdot l_z}{i} \quad (3.28)$$

Ако се уведе да је $k = \frac{c}{L}$ и да је $z_0 = \frac{z}{i}$ следи:

$$l_z^2 = L^2 + c^2 - 2 \cdot L \cdot c \cdot \cos[(90 - \varphi) + \delta]$$

$$l_z^2 = L^2 + c^2 - 2 \cdot L \cdot c \cdot \cos[90 - (\varphi - \delta)] \quad (3.29)$$

Из ових формула следи:

$$l_z = L \cdot \sqrt{1 + k^2 - 2 \cdot k \cdot \sin(\varphi - \delta)} \quad (3.30)$$

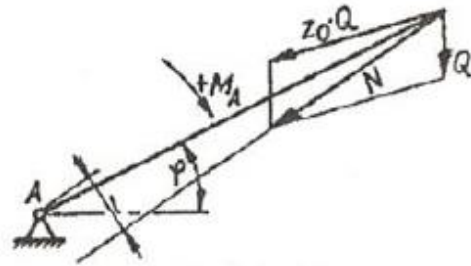
На основу формуле (3.30) следи да је:

$$y = L \cdot \sin \varphi - \frac{l}{i} \left[s - z \cdot L \cdot \sqrt{1 + k^2 - 2 \cdot k \cdot \sin(\varphi - \delta)} \right]$$

$$y = L \left[\sin \varphi + z_0 \sqrt{1 + k^2 - 2 \cdot k \cdot \sin(\varphi - \delta)} \right] - \frac{s}{i} \quad (3.31)$$

Како би се терет кретао хоризонтално при промени угла стреле треба бити задовољен један услов а то је да је $y = \text{const}$, али овакав услов је немогуће постићи. Избором

параметара z_0 , k и δ може се постићи да се при промени угла стреле терет креће приближно хоризонтално. Хоризонтално кретање терета при промени угла стреле може се посматрати и статичком равнотежом приказаном на слици 25.



Слика 25. Статичка равнотежа [9]

Са слике можемо видети да ако је момент у тачки А $M_A = 0$ тада ће се при промени угла стреле терет кретати хоризонтално и наниже, а ако усвојимо супротан смер тј. негативан момент M_A значи да би се стрела под дејством терета Q кретала навише [9].

3.6. Преговарни циклус порталних дизалица

Код портално – лучких дизалица концепт прорачунског циклуса може се описати следећим временима:

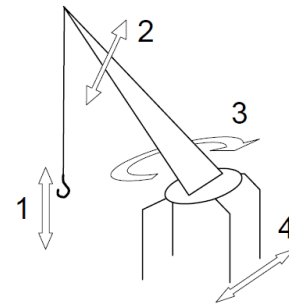
- t_1 , [s] - време захватања терета за уобичајене услове оса 20 – 30,
- t_2 , [s] - време подизања терета $t_2 = \frac{H_d}{V_d}$ где су H_d висина на коју се терет подиже и V_d брзина подизања терета,
- t_3 [s] – време ротације стреле до позиције у зони истовара $t_3 = \frac{\alpha_1}{360} \cdot \frac{1}{w}$, где су α_1 угао ротације стреле и w угаона брзина ротације,
- t_4 , [s] – време продужења дохвата стреле $t_4 = \frac{L_{DS}}{V_{DS}}$ где је L_{DS} дужина хоризонталне пројекције скраћења, а V_{DS} хоризонтална пројекција брзина скраћења продужења стреле. Треба напоменути да је трајање ове фазе радног циклуса могуће посматрати и преко угла подизања – спуштања стреле и угаоне брзине тог кретања,
- t_5 , [s] – време спуштања терета аналогно,
- t_6 , [s] – време одлагања терета аналогно,
- t_7 , [s] – време подизања неоптерећене захватне направе аналогно,

Порталне – лучке дизалице

- $t_8, [s]$ – време ротације стреле до позиције у зони захватања терета аналогно,
- $t_9, [s]$ – време продужења (скраћења) дохвата стреле аналогно,
- $t_{10}, [s]$ – време спуштања неоптерећене захватне направе аналогно,
- $t_{11}, [s]$ – време премештања дизалице терета $t_{11} = \frac{L}{v}$ где су L за коју се дизалица помера и v брзина кретања [10].

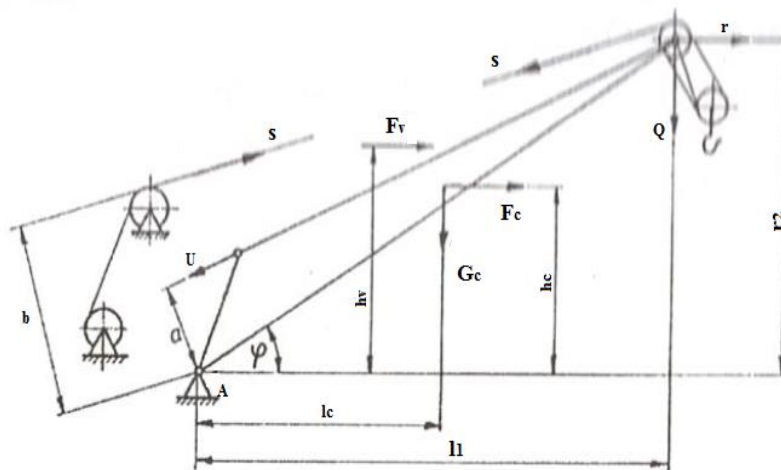
Радна кретања код лучке дизалице:

- 1 – вертикално дизање терета,
- 2 – ротација стреле,
- 3 – обртно кретање стуба (носеће конструкције),
- 4 – хоризонтално кретање портала.



4. Пример прорачуна механизма за промену угла стреле

Стрела се може кретати криволинијски и хоризонтално као што је већ објашњено у поглављу 3.4. а за даљи прорачун биће узето у обзир кретање стреле криволинијски и где се у саставу механизма налази котурача. На слици 26 приказана је промене угла стреле при криволинијском кретању терета.



Слика 26. *Шема промене угла стреле при криволинијском кретању терета*

Као основа за рачунски пример, узета је лучка дизалица Terex (G НМК) дата на слици 27.



Слика 27. Лучка дизалица Terex (G НМК)

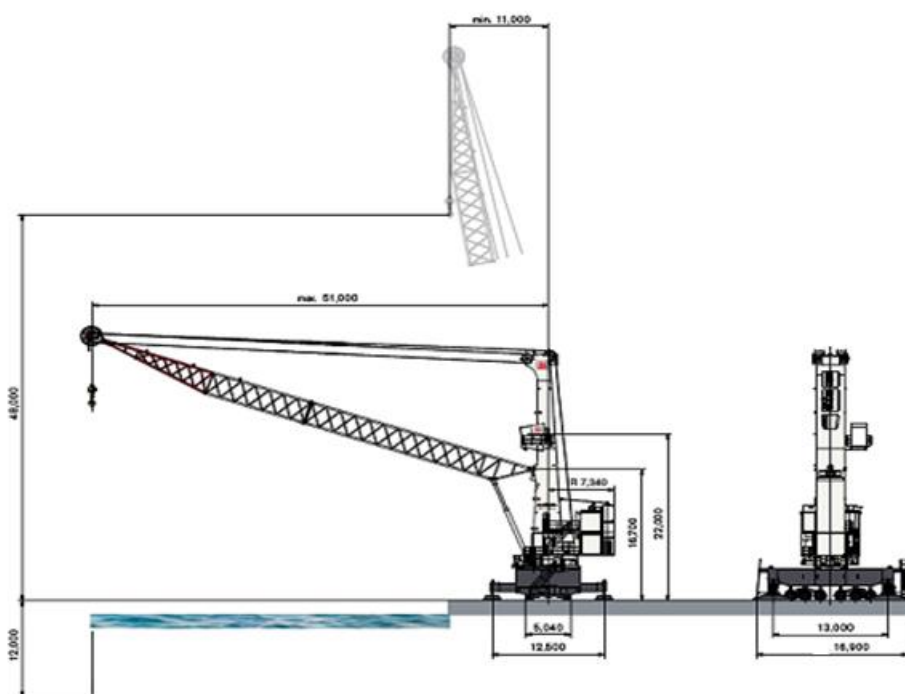
TPS (Terex Port Solution) нуди велики асортиман технологије лучких дизалица. Понуђено је 5 модела дизалица од којих је свака конструисана за одређени тип терета као и за одређени тип лука. За одређену дизалицу типа Terex (G НМК) модела 5 из

каталога TPS-MHC-M5-TD-EN приказаног на слици 28 могу се видети њене техничке параметре као на пример њену максималну брзину, тежину као и удаљеност на којој може пренети терет.

Crane types	Variants	Max. lifting capacities [t]		Max. hoisting speed [m/min]	Max. radius [m]
		100	125		
G HMK (G HSK) (G HPK)	G HMK 5506		✓	✓	✓
	G HMK 5406	✓		✓	✓

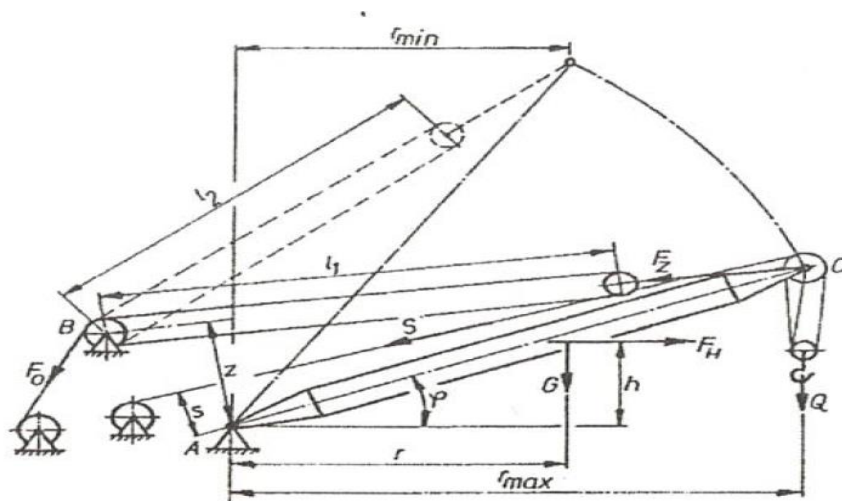
Слика 28. Технички параметри дизалице G HMK

На слици 29 је приказана дизалица која је узета за прорачун са њеним основним димензијама.



Слика 29. Лучка дизалица Terex (G HMK) са основним димензијама

С обзиром да се у систему механизма за дизање терета налази котурача, систем за промену угла стреле за дефинисано кретање терета помоћу котурача приказан је на слици 30.



Слика 30. Шема промене угла стреле помоћу котурача

где су:

- F_Z – сила у затези,
- Q – корисни терет,
- G – тежина стреле,
- F_H – резултанта хоризонталних сила од утицаја ветра и љуљања терета,
- S – сила у ужету механизма за дизање терета,
- r_{min} и r_{max} – минимални и максимални дохват стреле.

На основу усвојених техничких података из каталога произвођача Terex следи:

- носивост дизалице $Q = 100 \text{ [t]} = 1000 \text{ [kN]}$,
- тежина стреле $G = 30 \text{ [t]} = 300 \text{ [kN]}$,
- сила у ужету $S = 10 \text{ [t]} = 100 \text{ [kN]}$,
- $F_H = 100 \text{ kN}$,
- $s = 3 \text{ m}$; $z = 4 \text{ m}$; $r = 25 \text{ m}$; $r_{min} = 11 \text{ m}$; $r_{max} = 51 \text{ m}$; $h = 17 \text{ m}$.

$$F_Z = \frac{Q \cdot r_{max} + G \cdot r + F_H \cdot h - S \cdot s}{z} = \frac{1000 \cdot 51 + 300 \cdot 25 + 100 \cdot 17 - 100 \cdot 3}{4} = \frac{51000 + 7500 + 1700 - 300}{4} = 14975 \text{ [kN]}$$

Обимна сила на добошу за промену угла стреле је:

$$F_O = \frac{F_Z}{m \cdot \eta_k} = \frac{14975}{8 \cdot 0,97} = \frac{14975}{7,76} = 1929,768 \text{ [kN]}$$

усваја се $m = 8$

степен корисности $\eta_k = 0,97$

Момент на добошу износи:

Порталне – лучке дизалице

$$M_{dob} = F_o \cdot \frac{D_d}{2} = 1929,768 \cdot \frac{0,4}{2} = 1929,768 \cdot 0,2 = 385,954 \text{ [kNm]}$$

Број обртаја добоша износи:

$$n_d = \frac{60 \cdot (l_1 - l_2) \cdot m}{\pi \cdot D_d \cdot t_1} = \frac{60 \cdot (16,9 - 8,3) \cdot 8}{\pi \cdot 0,4 \cdot 0,5} = \frac{4128}{0,628} = 6573,248 \text{ [s}^{-1}\text{]} \\ = 109,554 \text{ [min}^{-1}\text{]}$$

где су:

$$l_1 = 16,9 \text{ m и } l_2 = 8,3 \text{ m}$$

$$t_1 = 0,5 \text{ min}$$

Средња снага на добошу износи:

$$P = \frac{M_{dob} \cdot n_d}{9550 \cdot \eta} = \frac{385,954 \cdot 109,554}{9263,5} = 4,564 \text{ [kW]}$$

На основу израчунате снаге из каталога изабран је YEJ2-13252-2 мотор снаге 5,5 kW.



Слика 31. Приказ целокупне конструкције лучке дизалице.

5. Закључак

Лучке – порталне дизалице се примењују у многобројним областима као што су луке, транспортни центри, радионице, сервиси као и у индустријском транспорту где имају широку примену. Производе се различити модели дизалица у зависности од потреба купаца, места и начина коришћења. Значајно је да се поред куке могу користити и други видови захватања терета као што су грабилице, кофе, узенгије итд.. Неки од познатијих и највећих произвођача порталних – лучких дизалица јесу Konecranes и Libher, које се поред лучких дизалица баве и производњом мањих дизалица као и производњом багера. Предност порталних дизалица јесте могућност подизања великих тежина терета и његово премештање на већу раздаљину. Због конструкције порталних дизалица идеалне су за постављање шина или саобраћајне мреже испод портала како би се омогућио бржи и лакши претовар контејнера и робе. Самим тим се може боље искористити место на коме се извршавају радне операције тј. луке.

Развојем лучких дизалица као и њених механизма омогућен је бржи транспорт робе и сигурнија манипулација исте, као и лакше захватање саме робе. Компаније поред сигурности и бржег транспорта окренуле су се и развоју сигурности самог оператера који опслужује дизалицу као и обезбеђењу дужег радног века дизалице.

Што се тиче избора лучких дизалица он се врши на основу прорачуна у односу на насивост, димензије, висину подизања терета као и потребну снагу за извршавање операција.

6. Литература

- [1] М. Георгијевић, Претовар контејнера, Факултет техничких наука, Нови Сад, 2003.
- [2] Д. Острић, Дизалице, Машински факултет, Београд, 1992
- [3] Д. Острић, С. Тошић, Дизалице, Машински факултет, Центар за механизацију, Београд, 2005.
- [4] Liebherr <https://www.liebherr.com/en/deu/about-liebherr/history/1949-1960.html> (приступљено 12.08.2017).
- [5] Liebherr <https://www.liebherr.com/en/bgr/products/maritime-cranes/port-equipment/portal-cranes/portal-cranes.html> (приступљено 15.08.2017).
- [6] Timars http://www.timars.se/port_equipment.htm (приступљено 27.09.2017).
- [7] Konecranes <http://www.konecranes.com/crane-technology-0> (приступљено 27.09.2017).
- [8] Р. Мијајловић, З. Маринковић, М. Јовановић, Дизалице, основе, Градина, Ниш, 1994.
- [9] Д. Острић, С. Тошић, Дизалице, Машински факултет, Центар за механизацију, Београд, 2005.
- [10] Р. Мијајловић, З. Маринковић, М. Јовановић, Транспортне машине Практикум, Ниш, 1988.