FRI-1.202-1-MR-01

PARETO OPTIMIZATION OF THE GANTRY CRANES LEVEL-LUFFING JIB SYSTEMS [6]

Emil Bargazov, MSc. (Eng)
Department "Repair, Reliability, Mechanisms, Machines, Logistics and Chemical Technologies", University of Ruse, Ruse 7017, Bulgaria
Tel.: (082) 888-239
E-mail: ebargazov@uni-ruse.bg

Abstract: *An optimization mathematical model of the gantry crane level luffing jib system with an upper swing of balancing device was built. The parameters, optimization criteria and their limitations are defined according to Pareto's optimization algorithm in MATLAB. All the components, details and assemblies of the level luffing jib system with an upper swing of balancing device have optimized practically. The results have compared with those of the optimization of the system with a lower swing of balancing device.*

Keywords: *Gantry cranes, Level-luffing jib system, Optimization mathematical model, Pareto optimization procedure, MATLAB.*

ВЪВЕДЕНИЕ

При решаване на задачите стоящи пред съвременното краностроене за повишаване на надеждността и производителността на машините при едновременно снижаване на разходите за материали и енергоемкостта е необходимо широко внедряване на методите и резултатите от научните изследвания в практиката на проектно-конструкторските разработки. Една от най-важните позиции в тази област заемат научните методи за оптимизация на структурата и параметрите на машините, насочени към създаване на обекти с най-добри характеристики.

Към тях се отнасят на първо място проектирането на системи и техните съставни части, планиране и анализ на функционирането на съществуващи системи, инженерния анализ и обработката на информация, управлението на динамични системи (Reklaitis, G. V., Ravindran A., Ragsdell K. M., 1983).

Термина „Оптимален" означава „Най-добър". Думата „Оптимум" в смисъл „Най-благоприятни условия за нещо" има латински произход и се е употребявала още в Древния Рим. Така например в „Медицинската енциклопедия" на Авъл Корнелий Целз (I в. пр.н.е.) е написано: „*Optimum medicamentum quies est*" – „Най-доброто лекарство е покоя" (Serlin, L. G., Orlov A. N., 1987).

От определението за понятието оптимален следва, че са безсмислени изрази като: „най-оптимален", „по-оптимален", „по-малко оптимален" и т.н.

Целта на статията е да представи резултатите от експерименталните изследвания на системата за изменение на обсега (СИО) на портален кран с горно люлеене на уравновесяващото устройство проведени с помощта на Парето многокритериална оптимизационна процедура осъществена в MATLAB.

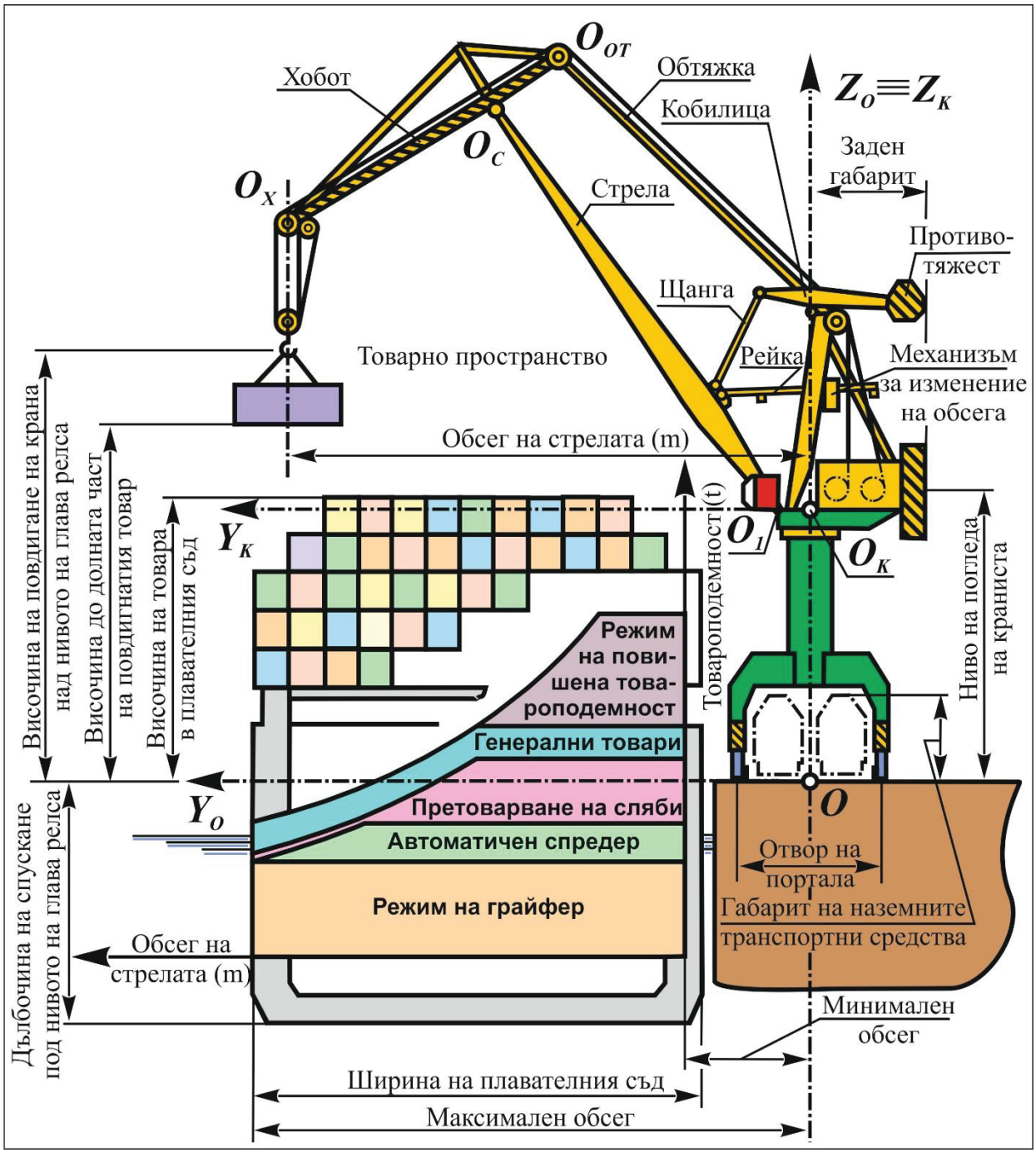
От всички части на крана СИО е с най-голяма обща маса на задвижваните елементи и възли, освен това тя осигурява преместването на захванатия товар в периметъра на работа на крана, което определя в значителна степен производителността на машината. Тези особености определят актуалността за оптимизация на СИО.

[6] Докладът е представен на паралелна сесия в стая 1.202 на 27 октомври 2017 с оригинално заглавие на български език: ПАРЕТО ОПТИМИЗАЦИЯ НА СИСТЕМИ ЗА ИЗМЕНЕНИЕ НА ОБСЕГА НА ПОРТАЛНИ КРАНОВЕ

ИЗЛОЖЕНИЕ

Експлоатационни характеристики на порталния кран

На фиг.1 са показани основните съставни части на порталния кран и СИО, която се състои от следните групи елементи: 1) Стрелова система (СС) включваща: стрела, хобот и обтяжка; 2) Уравновесяващо устройство (УУ) съставено от щанга, кобилица и противотяжест; 3) Механизъм за изменение на обсега (МИО) състоящ се от рейка и задвижваща лебедка.



Фиг.1. Основни съставни части и експлоатационни характеристики на порталния кран.

На същата фигура са показани и експлоатационни характеристики. Върху силуета на плавателния съд под обработка е изобразена товарната характеристика на крана. Тя представлява зависимостта на товароподемността в различните режими на работа от обсега. В режим на грайфер тя е постоянна по обсега и е най-малка, защото тогава поради честата работа се натрупват най-много повреди от умора в металната конструкция и механизмите. При загребването на насипния товар грайферът практически винаги е пълен. Товародателите са заинтересовани пълноценно да използват товароподемността на контейнера. Това е причината режимът

на автоматичен спредер също да се изпълнява с капацитет близък до този на грайферния. Малкото повишение е поради това, че този режим се характеризира с по-ниска честота на използване на машината, защото е необходимо допълнително време за насочването на празния спредер върху контейнера при захващане, за поставянето на контейнера на определеното място и освобождаване на спредера при разтоварване. Претоварването на сляби и режимът на генерални товари винаги се осъществяват с помощта на прикачвачи. Това е причината времената за захващане на товара към товароподемната кука на крана и неговото откачане да се увеличат, което е и в интерес на безопасността на работата. Така поради още по-малката честота на работа на металната конструкция и механизмите има възможност капацитета на крана да бъде увеличен в рамките на конструктивните особености на СИО осигурени от устройствата за безопасност (УБ), които характеризират криволинейните участъци от товарната характеристика. Режимът на повишена товароподемност е най-лекият по отношение на броя на включванията на механизмите и оттам и по умората на металната конструкция. Затова допуска максималната товароподемност, осигурена единствено за този режим от кратност на товарния полиспаст 2 (две) за да не се претоварват подемните двигатели, изпълнено при претоварващите кранове. Единствено за този режим обсега на крана се намалява наполовина, отново обусловено от конструктивните особености на СИО и осигурено от УБ.

Други експлоатационни характеристики са показаните на фиг.1 геометрични размери на товарното пространство, както за обработка на плавателен съд, така и за обслужване на склада и наземните транспортни средства. Съществуват и такива кинематични експлоатационни характеристики, като скоростта и ускорението на товара при изменение на обсега. Всички те взети заедно определят производителността на крана и изискванията към СИО включително. Експлоатационните характеристики са в основата на изграждането на изследователски и изчислителни модели, оптимизационни, математически и т.н. Ето защо въпросите за оптимизацията на многопараметрични системи, каквато е СИО стоят с особена актуалност в днешните динамични времена.

Необходимост от многокритериална оптимизация

От направените досега изследвания и съгласно методиката (Bortyakov, D. E., A. N. Orlov, 2009), (www.bortyakov.ratte.ru) се вижда, че СИО е с много параметри. За да работи в съответствие с изискванията е необходимо да бъдат в съответните граници много на брой критерии, всеки от които е важен. Не следва да се определя тяжест на определени критерии за сметка на други. Всички те трябва да бъдат удовлетворени в максимално възможна степен, но като крайно решение много се държи на сравнително ниската цена на крана, зависеща от количеството вложен метал, при правилно отработване на експлоатационните характеристики, осигуряващи необходимата производителност. За да бъдат конкурентни на пазара производителите на съвременни портални кранове решават достатъчно сложни задачи, при което възнакват редица противоречия, затрудняващи вземането на решения за избора на най-добър вариант. Накратко тези трудности се свеждат до следното:

1. Вариантите образуващи множеството от допустимите решения са разнообразни по своята структура. Не е изключено, че действително най-добрия вариант не се съдържа в множеството на известните, вече осъществени структури, а е извън него.

2. За всяка конструкция може да се приложи множество от допустими варианти, които се различават по числените стойности на параметрите.

3. Структурата на изискванията поставяни към обекта е достатъчно разнообразна, а самите изисквания често са в противоречие едно с друго, изменението на параметрите на обекта в посока на подобряване на някои негови свойства води до влошаване на други.

Например, за да отговорят на всички съвременни изисквания СИО на порталните кранове трябва да имат възможно най-малка маса, малко отклоняваща се траектория на товара от хоризонталната линия, удовлетворителни характеристики на изменението по обсега на товарния неуравновесен момент и стреловия неуравновесен момент; те трябва да притежават статична якост, уморна дълготрайност, динамична коравина и др.

При тези условия избора на оптимален вариант вече не е възможен на нивото на интуицията на конструктора, а изисква специална оптимизационна методология. Оптималното ре-

шение – това е най-доброто решение в изследваното множество на вариантите (Reklaitis, G. V., Ravindran A., Ragsdell K. M., 1983). Етапите при преследване на тази цел са:

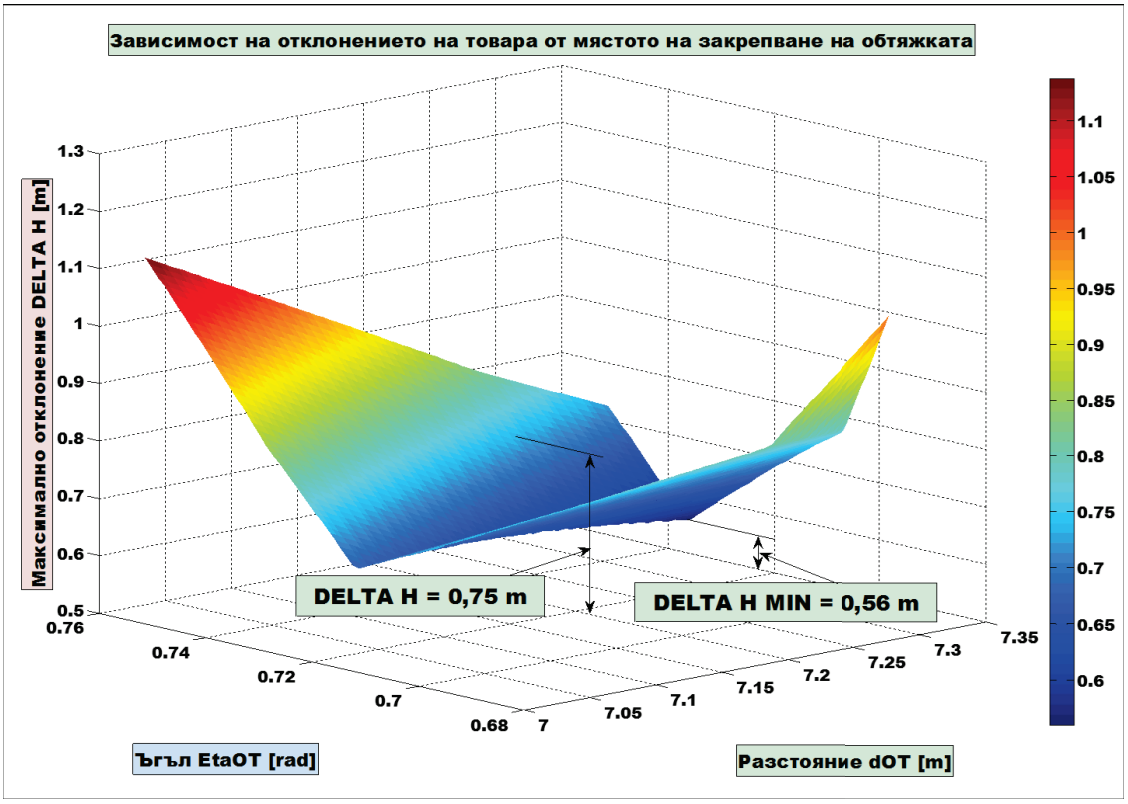
1. Разработване на система от параметри на обекта, такива независими величини, задаването на стойностите на които е достатъчно за описване на всеки вариант принадлежащ на изследваното множество.

2. Разработване на система от критерии за качество, т.е. функции на параметрите, характеризиращи свойствата на обекта, които ни интересуват.

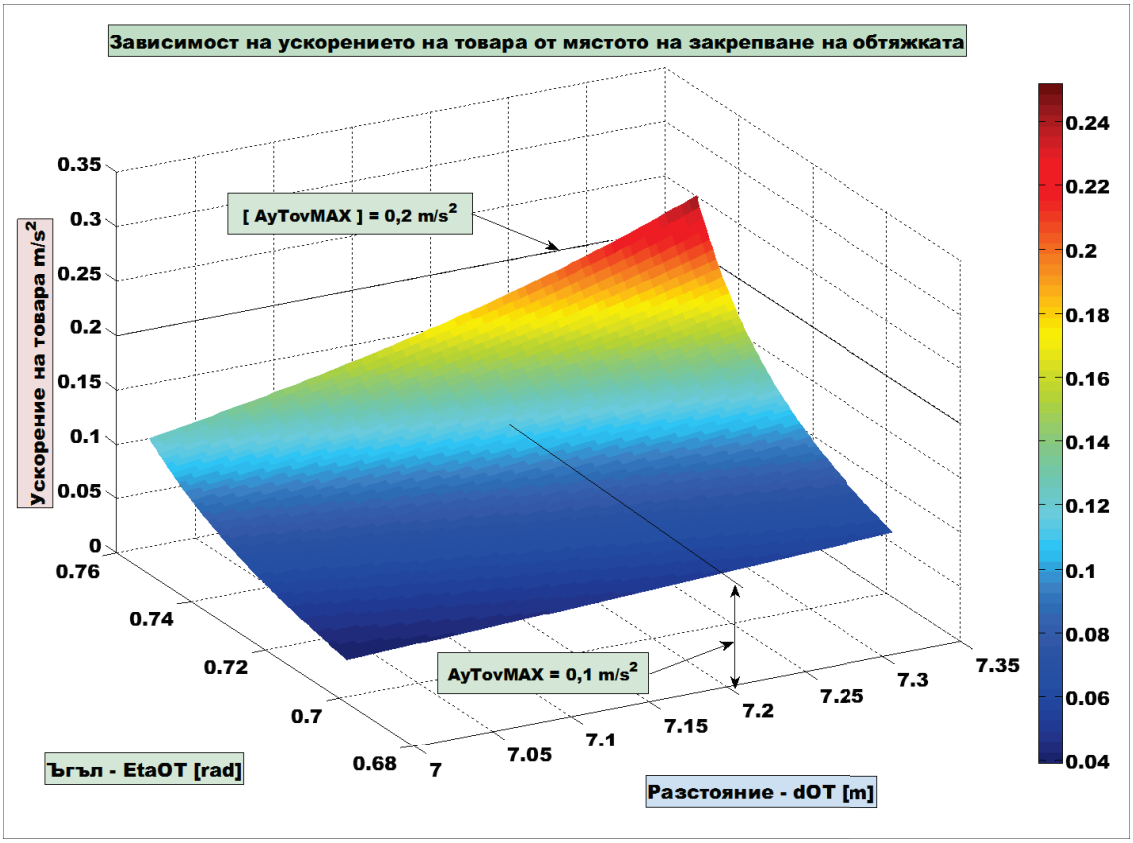
3. Разработване на система от ограничения на числените стойности на параметрите и критериите за качество и по този начин формиране на множество от варианти където се намира оптималното решение.

4. Разработване на алгоритъма на оптимизация и реализирането му в среда на компютърно приложение.

В подкрепа на тази теза на фиг.2 е показана «Зависимостта на отклонението на товара от хоризонталната линия от мястото на закрепване на обтяжката», а на фиг.3 «Зависимостта на ускорението на товара при изменение на обсега от мястото на закрепване на обтяжката». Те са построени с помощта на програма в MATLAB, разработена на основата на (Bortyakov, D. E., A. N. Orlov, 2009) и в съответствие с блок-схема в (Bargazov, E., T. Uzunov, O. Alipiev, D. Bortyakov., 2016). Двете графики по недвусмислен начин показват как местоположението на закрепване на обтяжката, зависещо от два от параметрите d_{OT} и η_{OT}, влияе противоречиво на два от основните кретерии за качеството на работата на СИО. Така например, при място на закрепване където се постигат ниски, оптимални стойности на отклонението от хоризонталната траектория (фиг.2), там са недопустимо високи стойностите на ускорението на товара (фиг.3). Освен тези, съществуват и други противоречия при влиянието на други параметри върху критериите. От графиките се вижда, че е възможно зависимостите да не са гладки или равнинни повърхнини. Наличието на зависимости представени с такива повърхнини предполага използването на вариационни методи на изчисление, които са по-сложни. Затова в настоящото изследване е избран метода на Парето многокритериалната оптимизация, основаващ се на комбинирането на числови масиви. Той е достъпен и лесен, но с огромни възможности за организация на изчислителния процес.



Фиг.2. Зависимост на отклонението на товара от хоризонталната линия от мястото на закрепване на обтяжката т. O_2 на фиг.6



Фиг.3. Зависимост на ускорението на товара при изменение на обсега от мястото на закрепване на обтяжката т. O_2 на фиг.6

Парето многокритериална оптимизационна процедура

Дефиниция на метода

Нека в пространството на критериите $\mathbb{R}^m$ е известна достижимата област $\boldsymbol{K}$. Ще означаваме с $\boldsymbol{k}'' \succ \boldsymbol{k}' : \{(\forall i \in 1 \dots m : k_i'' \geq k_i') \wedge (\exists i \in 1 \dots m : k_i'' \geq k_i')\}$

обстоятелството, че $\boldsymbol{k}'' : \{\boldsymbol{k}'' \in \boldsymbol{K}\}$ е доминираща точка спрямо $\boldsymbol{k}' : \{\boldsymbol{k}' \in \boldsymbol{K}\}$.

Тогава, Парето-оптималното решение или Парето фронтът $\boldsymbol{P}(\boldsymbol{K})$, който търсим, се определя като множеството от доминиращи точки в достижимата област $\boldsymbol{K}$:

$$\boldsymbol{P}(\boldsymbol{K}) = \{\boldsymbol{k}' \in \boldsymbol{K} : \{\boldsymbol{k}'' \in \boldsymbol{K} : (\boldsymbol{k}'' \succ \boldsymbol{k}') \wedge (\boldsymbol{k}'' \neq \boldsymbol{k}')\} = \emptyset\}$$

Особености на реализацията

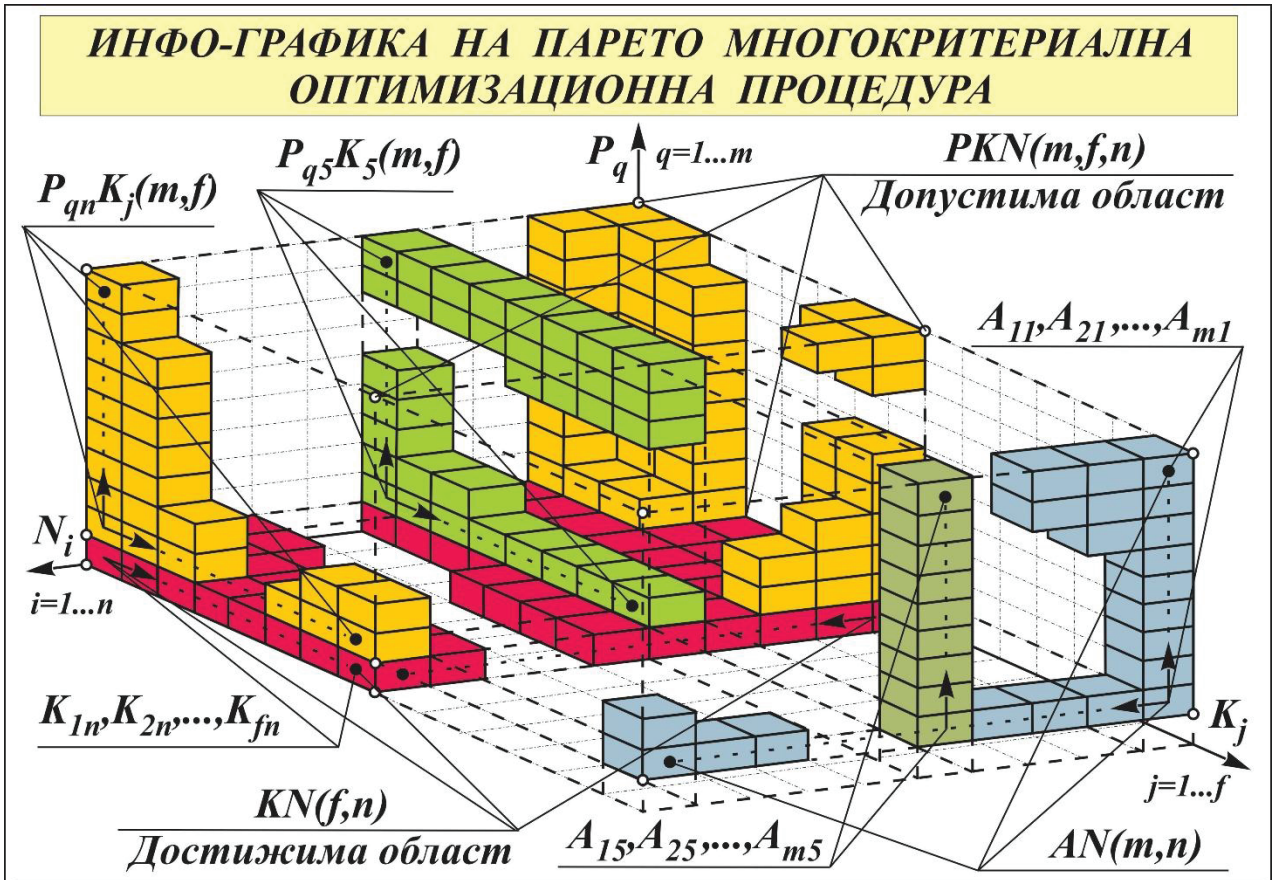
При съставянето в MATLAB на нов комплекс от програми в съответствие с (Dyakonov, V. P., 2012), са използвани също идеи и разработки представени в (Jordanov, J. T., 2010, 2007, 2009) и (Tonchev, J. J., V. G. Vitliemov, 2013). Комплексът обслужва алгоритъма показан на Фиг.4, а част от изчислителните процеси са илюстрирани на инфо-графиката изобразена на Фиг.5.

Входящия модул № 1 (фиг.4) осигурява задаването на броя пробни точки n, броя параметри m с граници определящи диапазона на изменението им и броя критерии f. Реализираната процедура разглежда влиянието на m = 30 параметъра върху f = 20 критерия. Следва модула № 2 (фиг.4) където се осъществява генерирането поотделно на вектор-стълбове от случайни числа за формиране на матрицата ***AN(m,n)***. Тя е показана в бледо синьо на фиг.5. В модула с № 3 (фиг.4) се изчисляват стойностите на параметрите за определяне на критериите в поредния вектор-ред от матрицата ***KN(f,n)***, а в модула № 4 (фиг.4) се извършва проверка дали изчислените параметри се вписват в наложените им ограничения. Едва тогава се признава принадлежността им към допустимата област. На фиг.5 в жълто е изобразен масива, представляващ допустимата област ***PKN(m,f,n)*** от стойности на параметрите във всички пробни точки. Той се състои от n матрици $\boldsymbol{P_{qn}K_j(m,f)}$ в състава на всяка от които, са включени еднакви помежду си f броя вектор-стълбове от параметри, изчислени с помощта на съответния вектор-стълб от матрицата ***AN(m,n)***. Тези вектор-стълбове са еднакви за да може да са

съпоставими критериите в съответната пробна точка. Така например, на вектор-стълба в бледо-зелено в петата пробна точка $A_{15}A_{25}\ldots A_{m5}$, съответства матрицата $P_{q5}K_5(m,f)$ в ярко-зелено (фиг.5). Тази матрица от параметри е пета по ред от допустимата област и формира критериите в петата пробна точка.

След като параметрите преминат проверките в модул № 4 (фиг.4), с тяхна помощ в модул № 5 (фиг.4) се изчисляват критериите. Към критериите в модул № 6 (фиг.4) биват предявени ограничения. Преминали през проверките в този модул, критериите вече са част от достижимата област в състава на вектор-редовете $K_{1n}K_{2n}\ldots K_{fn}$ за съответните пробни точки, показани на фиг.5 в червено като матрицата $KN(f,n)$. Следва да се има предвид, че във всяка от условно изобразените кутийки на инфо-графиката на фиг.5 има само по едно число-скалар, получено според процедурата описана по-горе.

Фиг.4. Алгоритъм на Парето многокритериална оптимизационна процедура



№	Обозначение - Цвят	Наименование
1.	AN(m,n)	Матрица с размерност **(m,n)** състояща се от **n** вектор-стълбове, по отделно генерирани от случайни числа.
2.	$A_{15},A_{25},...,A_{m5}$	Вектор-стълб от случайни числа в пета-та пробна точка, който съответства на матрицата $P_{q5}K_5(m,f)$
3.	PKN(m,f,n) Допустима област	Масив състоящ се от **n** матрици от параметри, всяка с размерност **(m,f)** съответстващи на вектор-стълбовете от матрицата **AN(m,n)**.
4.	$P_{q5}K_5(m,f)$	Матрица с размерност **(m,f)**, пета по ред в масива **PKN(m,f,n)** съответстваща на петия вектор-стълб в **AN(m,n)**.
5.	KN(f,n) Достижима област	Матрица с размерност **(f,n)** състояща се от вектор-редовете на критериите $K_{1n},K_{2n},...,K_{fn}$ във всяка пробна точка.

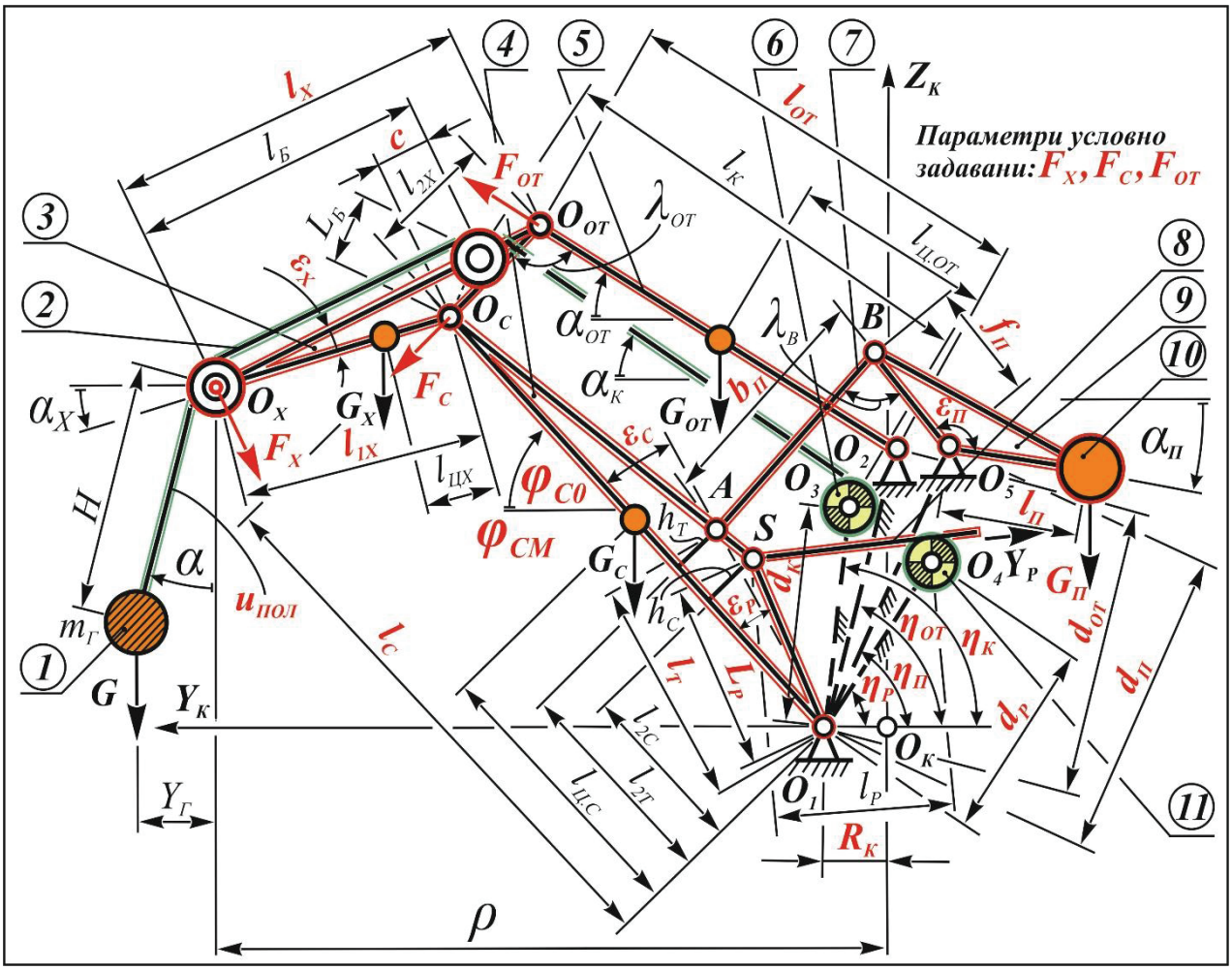
Фиг.5. Инфо-графика на Парето многокритериална оптимизационна процедура

Подбора на вектор-редовете с критериите и съответстващите им вектор-стълбове с параметри, съгласно Парето-метода, за определяне на Парето-фронта, се извършва в модул № 7 (фиг.4). След това в модул № 8, след допълнително наложени изисквания, от експерти се взема решение кой вариант ще бъде приет за оптимален.

Оптимизационен модел на СИО

Изграден е оптимизационен модел на СИО основан на универсалната методика (Bortyakov, D. E., A. N. Orlov, 2009), (Serlin, L. G., Orlov A. N., 1987), (bortyakov.ratte.ru), такъв че да се вписва в разяснената по-горе Парето оптимизационна процедура. Благодарение на възможностите на MATLAB за организиране на работата с m-файлове, различни типове функции и масиви е създадена стройна реализация на оптимизационния модел (Dyakonov, V. P., 2012), (McMahon David., 2007),. С помощта на този модел са направени експериментални изследвания на СИО на портален кран с горно люлеене на противотежестта на уравновесяващото устройство. Представители на този тип конструктивни схеми на СИО в българските претоварни обекти са портални кранове немско производство с имена на птици: „Сокол“, „Албатрос“, „Фламинго“ и „Кондор“, силуета на СИО на които съответства на този от фиг.9, б).

В Парето оптимизационната процедура се използва взаимодействието на 30 параметъра, характеризиращи възлите и детайлите на СИО, показани с червени обозначения на фиг.6, които участват при формирането на 20 критерия, определящи качеството на нейната работа (Jordanov, J. T., 2010, 2007, 2009), (Tonchev, J. J., V. G. Vitliemov, 2013). Параметрите графично са изобразени на фиг.6, а наименованията им са показани по-долу в текста. Адекватността на оптимизационния модел е проверена чрез задаване на минимален диапазон на изменение на параметрите, съобразен с конкретна конструкция, при което резултата е сходен с предшестващи изследвания на такъв тип СИО (Bargazov, E., T. Uzunov, O. Alipiev, D. Bortyakov., 2016), където са описани и наименованията на номерираните на фиг.6 възли и детайли.

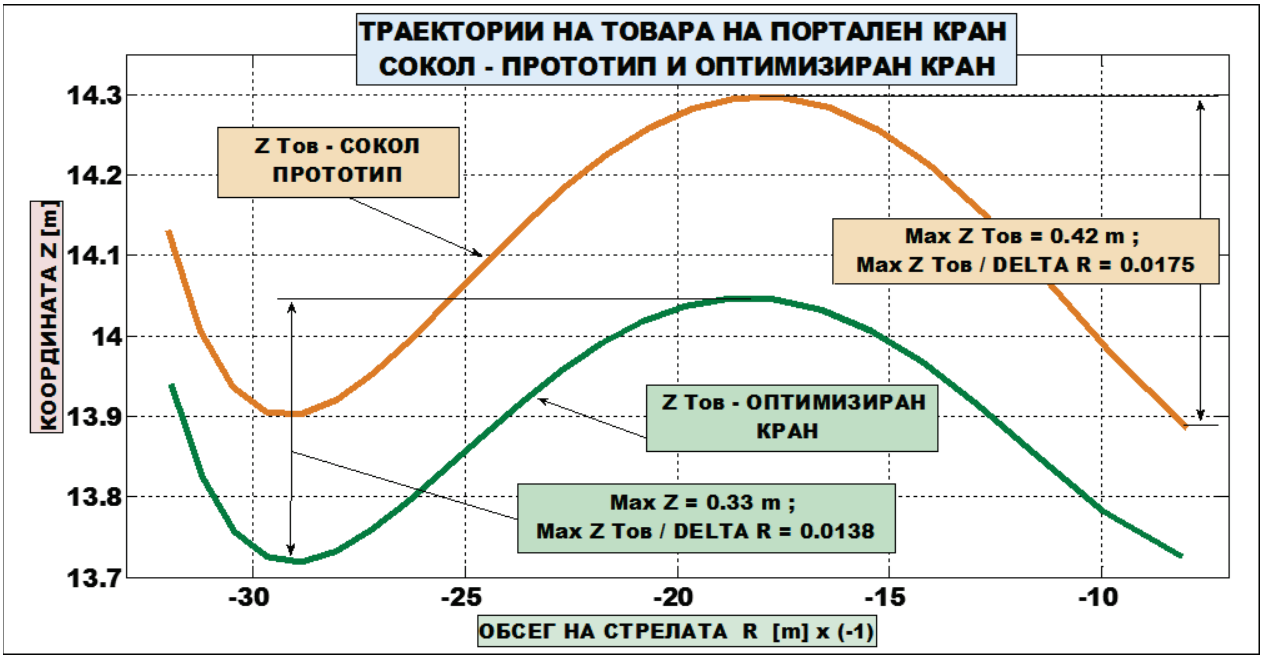


Фиг.6. Схема на оптимизационния модел за Парето многокритериална оптимизационна процедура на СИО

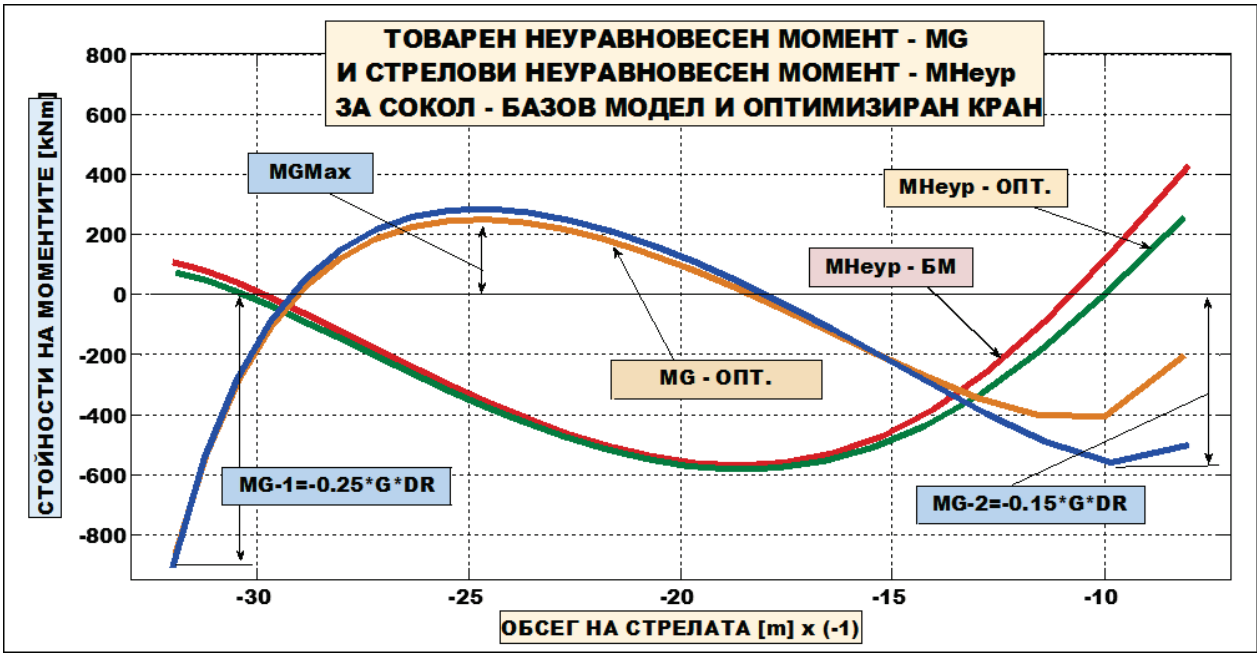
Резултатите от експерименталното изследване

При провеждане на експерименталното оптимизационно изследване с товароподемност 160 kN са получени резултати, представени на графичните зависимости на фиг.7 и фиг.8.

Подобрена е траекторията на товара показано на фиг.7, като отклонението й от хоризонталната линия достига 0.33 m сравнено с 0.42 m на базовия модел. Незначително са намалени силовите фактори влияещи върху работата на СИО – товарен неуравновесен момент и стрелови неуравновесен момент, представено на фиг.8, както и силите, действащи върху отделните елементи на СИО. Зададените условно сили са необходими за да може да се затвори кръга „сили – размери на сечението – маса“, необходимо за изследването. Видно от зависимостите на моментите на фиг.8, подобрението е незначително на малък обсег. При постигане на по-висока скорост по обсега, ускорението на товара остава в приемливи граници защото МИО е изместен зад колоната, както е показано по-долу с посочените данни d_P и η_P.



Фиг.7. Траектории на товара на базовия модел и оптимизирания кран



Фиг.8. Графики на моментите за базовия модел и оптимизирания кран

Параметрите, представени на фиг.6, на подбрано оптимално решение са описани според наименованията и получените след оптимизацията стойности както следва:

1. Координатата на основата на стрелата т. O_1 по координатната ос $O_K Y_K - R_K$ = 1.800 m;
2. Полярният радиус на основата на обтяжката т. O_2 спрямо т. O_1 - d_{OT} = 11.870 m;
3. Полярният ъгъл на разстоянието d_{OT} до основата на обтяжката т. O_2 спрямо отрицателната посока на оста $O_K Y_K$ - η_{OT} = 1.3059 rad;
4. Полярният радиус на оста т. O_3 на ОТ (ОТМ, МВТ) спрямо т. O_1 - d_K = 11.870 m;
5. Полярният ъгъл на разстоянието d_K до т. O_3 спрямо отрицателната посока на оста $O_K Y_K - \eta_K$ = 1.3059 rad;
6. Дължината на стрелата - l_C = 26.036 m;
7. Дължината на хобота - l_X = 16.224 m;
8. Дължината на предната част на хобота - l_{1X} = 11.924 m;
9. Ъгълът при предната част на хобота между осите $O_X O_C$ и $O_X O_{OT}$ - ε_X = 0.052 rad;
10. Дължината на обтяжката - l_{OT} = 20.312 m;
11. Координатата на отклоняващите ролкови блокове по дълж. на хобота - c = 4.295 m;
12. Разстоянието от т. O_1 до т. A - l_T = 6.435 m;
13. Ъгълът между надлъжната ос на стрелата $O_1 C$ и $O_1 A$ - ε_C = 0.1639 rad;
14. Полярният радиус на оста на люлеене на противотежестта т. O_5 спрямо т. O_1 - $d_П$ = 11.574 m;
15. Полярният ъгъл на разстоянието $d_П$ до т. O_5 спрямо отрицателната посока на оста $O_K Y_K - \eta_П$ = 1.4966 rad;
16. Дължината на рамото на противотежестта - $l_П$ = 6.149 m;
17. Ъгълът при оста на люлеене на противотежестта - $\varepsilon_П$ = 2.543 rad;
18. Ъгълът на наклона на $b_П$ спрямо оста $A\ O_5$ на максимален обсег - δ_0 = 0.2798 rad;
19. Ъгълът на завъртане на противотежестта на минимален обсег - θ_M = 0.0347 rad;
20. Разстоянието от O_1 до S - L_P = 5.778 m;
21. Ъгълът между надлъжната ос на стрелата $O_1 C$ и $O_1 S$ - ε_P = 0.1655 rad;
22. Полярният радиус на оста т. O_4 на МИО спрямо т. O_1 - d_P = 6.253 m;
23. Полярният ъгъл на разстоянието d_P до т. O_4 спрямо отрицателната посока на оста $O_K Y_K$ η_P = 1,0824 rad;
24. Максималната сила огъваща хобота, зададена условно - F_{XMax} = 195 kN;
25. Максималната сила огъваща стрелата, зададена условно - F_{CMax} = 56 kN;
26. Максималната сила разтягаща обтяжката, зададена условно - F_{OTMax} = 613 kN;
27. Масата на противотежестта - $m_П$ = 16.552 t;
28. Ъгълът на наклона на стрелата, съответстващ на максимален обсег - φ_{C0} = 0.7589 rad;
29. Ъгълът на наклона на стрелата, съответстващ на минимален обсег - φ_{CM} = 1.3809 rad;
30. Кратността на товарния полиспаст - $u_{ПОЛ}$ = 1;

Стойностите на $b_П$ и $f_П$ от фиг.6 се изчисляват в зависимост от параметрите δ_0 и θ_M.

Критериите на подбрано оптимално решение са описани по-долу, според наименованията, получените след оптимизацията стойности и основанието за разглеждане на величината в качеството й на критерий, както следва:

1. Максималното отклонение на траекторията на товара без отчитане на еластичността на елементите – ΔZ_T = 0.33 m, - една от определящите характеристики на СИО, съвместно и при водещата роля на товарния неуравновесен момент M_G;
2. Максималното отклонение на траекторията на товара с отчитане на еластичността на елементите - ΔZE_T = 0.47 m – виж т. 1;
3. Максималното статично преместване на товара породено от еластичността на елементите - λ_T=0.1479 m – определя общата коравина на конструкцията на СИО;
4. Масата на хобота – m_X = 7.16 t – следва да бъде минимална, защото се намира най-далече от оста на въртене на крана;
5. Масата на стрелата – m_C = 12.16 t – стремим се към оптимална маса и конструкция;
6. Масата на обтяжката – m_{OT} = 2.15 t – зависи от конструкцията на опората на СИО;

7. Общата маса на стреловата система - $m_{\Sigma} = m_X + m_C + m_{OT}$ = 21.480 t – един от определящите критерии в оптимизацията на СИО;

8. Стойността на товарния неуравновесен момент на максимален обсег – M_{G0} = -870 kNm – следва да е с отрицателна стойност за да движи СИО назад към устойчиво равновесно положение, в случай на разрушаване на рейката или отказ на МИО;

9. Максималната стойност на товарния неуравновесен момент - M_{GMax} = 250 kNm - следва да бъде положителна стойност, която да е близка до абсолютната стойност на M_{GM}, осигурява симетричен цикъл на нестационарно натоварване на стрелата и уморна дълготрайност;

10. Стойността на товарния неуравновесен момент на минимален обсег - M_{GM} = -200 kNm – следва да има отрицателна стойност, която е по абсолютна стойност близка до M_{GMax}, осигурява симетричен цикъл на нестационарно натоварване на стрелата и уморна дълготрайност;

11. Стреловият момент на максимален обсег – M_{C0} = 1870 kNm – важна характеристика на уравновесяването на СС;

12. Моментът от противотежестта на максимален обсег – $M_{ПР0}$ = 1610 kNm – съпоставим с M_{C0};

13. Максималната стойност на стреловия неуравновесен момент – M_{HMax} = 260 kNm – основна характеристика на уравновесяването на СС;

14. Максималната стойност на силата в обтяжката - F_{OTMax} = 360 kN – определя размерите на напречното сечение и масата на обтяжката;

15. Максималната стойност на напречната сила във върха на хобота - F_{XMax} = 135 kN – определя размерите на напречното сечение и масата на хобота;

16. Максималната стойност на напречната сила във върха на стрелата - F_{CMax} = 30 kN – определя размерите на напречното сечение и масата на стрелата;

17. Максималната стойност на осовата сила на натиск във върха на стрелата - N_{CMax} = 650 kN – определя размерите на напречното сечение и масата на стрелата;

18. Максималната стойност на ускорението на товара по обсега - A_T = 0.36 m/s^2 – влияе върху разлюляването на товара при работа на СИО;

19. Средноквадратичната сила в рейката – F_P = 182 kN - характеризира натоварването на МИО;

20. Средноквадратичната мощност на двигателя – $N_{ДВ}$ = 22.61 kW – интегрална характеристика за работата и ефективността на СИО.

а) б) в) г)

Фиг.9. Видове СИО според основата върху която са монтирани:
а) пространствена ферма; б) колона цяла; в) колона горна и долна част разделени от опорно-въртящ кръг; г) пространствена рамка монтирана върху въртящата платформа

ИЗВОДИ

Стремежът към оптималност в историята на човечеството е постоянен и се простира в границите на технологичните възможности на обществото. Така е и при порталните кранове, конструктивните схеми се развиват в съответствие с изискванията за подобяване на експлоатационните характеристики и начините за изработване на самите кранове, включително СИО.

През време на работата с Парето многокритериалната оптимизационна процедура са обосновани следните изводи:

1. Стремежът към подобряване (намаляване) на отклонението на траекторията на товара от хоризонталната линия води до създаването на СС с по-дълги елементи. От там следва по-голяма обща маса на СИО, свързано и с по-големите сили действащи върху елементите.

2. С цел да се постигне по-добро уравновесяване на масата на СС расте масата на противотежестта на УУ, при спазен заден габарит. Решава се чрез разполагане на УУ на подходящо място върху основата на СИО (фиг.9, а) и проектиране с подходящи параметри.

3. Мощността на двигателя зависи до голяма степен от уравновесяването. Независимо от голяма маса на СС при добро уравновесяване, понякога свързано с по-голяма маса на противотежестта на УУ се постига по-малка мощност на двигателя.

4. При експертната оценка на критериите след Парето подбора особено внимание се обръща на масата на СИО, траекторията на товара, моментите приложени върху стрелата, силите действащи върху елементите, ускорението на товара и мощността на двигателя.

5. Добрите, ниски максимални стойности на ускорението на товара на минимален обсег се постигат при по-голяма маса на СИО, включително СС и маса на противотежестта на УУ.

6. Преместването назад и нагоре на т. O_2 (фиг.6) с до 10 % може да намали мощността на двигателя с до 15...25 %. Проследявайки развитието на СИО на Фиг. 9 следва да отбележим, че конструкцията на фиг.9, а) от 70-те години на XX век във вид на пространствена ферма определя много добро място на т. O_2 в това отношение. На фиг.9, б) е показана технологичната конструкция от 70...80-те години с плътностенно, кутиеобразно сечение на елементите, която премества т.O_2 напред, но решава увеличеното ускорение по друг начин, описан в (Bargazov, E., T. Uzunov, O. Alipiev, D. Bortyakov., 2016). На фиг.9, в се вижда съвременно решение на СИО, от последните десетилетия на XX век, монтирана върху колона разделена на две от опорно-въртящ кръг. Тази конструкция позволява диагонално разположение на горната част на колоната за оптимално разполагане на т.O_2. Монтажните кранове нямат ограничение за заден габарит на въртящата част (фиг.1) и това позволява по-добро уравновесяване. Комбинацията от опорно-въртящ кръг и пространствена рамка като опора на СИО (фиг.9, г) е изключително прогресивна и позволява съчетание на отлични решения, включително и изместен назад МИО, което води до много добри стойности на ускорението на товара.

7. Стойности на товарния неуравновесен момент според изискванията, по-горе при описанието на критериите, осигуряват по-малка обща маса на СС и влияят благоприятно на уморната дълготрайност на металната конструкция.

8. С помощта на представената за първи път Парето многокритериална оптимизационна процедура е възможно изследването, както чрез промяна на всички параметри в по-широки граници, когато може да бъдат формулирани тенденции за подобряване на определени процеси и критерии, така и чрез промяна на избрани параметри, когато могат да бъдат усъвършенствани конкретни конструктивни схеми, с локализирани в по-тесни граници параметри, както показаните на фиг.9. Може също да бъде изследвано влиянието на отделни параметри върху качеството на работата на СИО. Основното заключение е, че прототипа портален кран СОКОЛ е разработван като добре оптимизиран кран.

REFERENCES

Bargazov, E., T. Uzunov, O. Alipiev, D. Bortyakov. (2016) A comparative study of gantry cranes level-luffing jib systems. Reports Awarded with "Best Paper" Crystal Prize. University of Ruse Publishing Center. 2016. – 146...156, ISSN 1311-3321.

Bortyakov, D. E., A. N. Orlov, (2009) Specialniye gruzopodemnye mashiny. Portalnye, sudovye i plavuchie krany. Saint-Petersburg: Izdatelstvo Politechnicheskogo unuversiteta (***Оригинално заглавие:*** *Бортяков Д.Е., Орлов А.Н. Специальные грузоподъемные машины. Портальные, судовые и плавучие краны. СПб. : Изд-во Политехн. ун-та, 2009. –160 с. ISBN 978-5-7422-2266-8)*

Dyakonov, V. P., (2012) MATLAB. Polniy samouchitel. Moscow: Izdatelstvo DMK Press (***Оригинално заглавие:*** *Дьяконов В. П., MATLAB. Полный самоучитель. – М.: ДМК Пресс, 2012. – 768 с.: ил. ISBN 978-5-94074-652-2.)*

Jordanov, J. T. (2010, 2007, 2009) MATLAB. Preobrazuvaniya. Izchisleniya. Vizualizaciya. Chast I., Chast II., Chast III. Sofia: Izdatelstvo Tehnika (***Оригинално заглавие:*** *Йорданов, Й. Т. MATLAB. Преобразувания. Изчисления. Визуализация. Част I., Част II., Част III. Техника, София, 2010., 2007., 2009., 320 с., 259 с., 335 с.)*

McMahon David., (2007) MATLAB® Demystified - A self-teaching guide., McGraw Hill, Copyright © 2007 by The McGraw-Hill Companies, 2007.

Reklaitis, G. V., Ravindran A., Ragsdell K. M. (1983) Engineering optimization. Methods and Applications. A Wiley-Interscience Publication JOHN WILEY & SONS, New York – Chichester – Brisbane – Toronto – Singapore, 1983. (***Оригинално заглавие:*** *Реклейтис Г., Рейвиндран А., Рэгсдел К. Оптимизация в технике: В 2-х кн.: Пер. с англ.- М.:Мир, 1986. – 351 с; - 320 с.)*

Serlin, L. G., Orlov A. N. (1987) Optimizaciya kranovyh konstrukciy i ih avtomatizirovannoe proektirovanye. –L.: Izd. LPI, 1987. (***Оригинално заглавие:*** *Серлин Л. Г., Орлов А. Н. Оптимизация крановых конструкций и их автоматизированное проектирование. – Л.: Изд. ЛПИ, 1987. – 85 с.)*

Tonchev, J. J., V. G. Vitliemov (2013) Optimizaciya s MATLAB. Pragmatichen podhod. Ruse: Universitetsko izdatelstvo, 2013. (***Оригинално заглавие:*** *Тончев, Й., В. Г. Витлиемов. Оптимизация с MATLAB. Прагматичен подход. Университетско издателство „Ангел Кънчев“, Русе, 2013., 250 с. ISBN 978-954-712-593-3)*

www.bortyakov.ratte.ru