

Получена: 15.09.2017 г.

Приета: 19.12.2017 г.

МЕТОДИКА ЗА ИЗБОР НА ХИДРАВЛИЧНА ПРЕСА ЗА УСИЛВАНЕ НА СТОМАНОБЕТОННИ КОНСТРУКЦИИ ЧРЕЗ ВЪНШНО ПРЕДВАРИТЕЛНО НАПРЯГАНЕ

Г. Иванов¹, К. Радлов², Ив. Павлов³

Ключови думи: хидравлична преса, технически параметри, външно предварително напъгане, усилване на стоманобетонни конструкции

РЕЗЮМЕ

Настоящата разработка разглежда съвременен подход за извършване на оптимален избор на хидравлична преса за външно напъгане при усилване на стоманобетонни конструкции. Описани са основните технически параметри за оценка на хидравличните преси, които се базират на предварително зададени геометрични, кинематични, динамични и експлоатационни характеристики на напъгателните преси. Разработен е подход за напъгане на многокритериална оценка на различни варианти хидравлични преси за извършване на оптимален избор. Накрая е предложен конкретен числен пример, който илюстрира приложението на разглеждания подход.

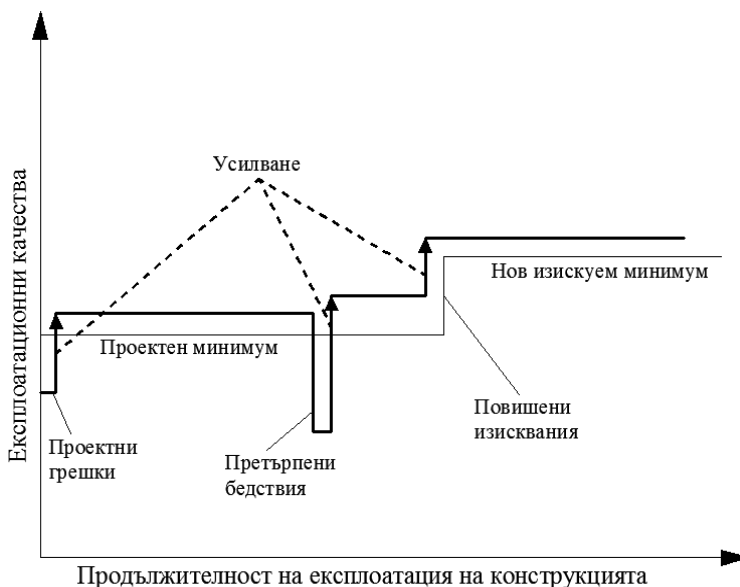
1. Въведение

Стоманобетонните конструкции се налага да бъдат усилвани при необходимост от повишаване на сигурността им или при настъпили повреди в тях [1, 2]. Един от начините за усилване е чрез външно предварително напъгане на високоякоствена арматура. Този вид напъгане може да се прилага за нови и съществуващи конструкции поради няколко причини: влошаване на конструктивните качества (носеща способност, експлоатационна пригодност и др.), промени в предназначението, недостатъци във фазата на проектиране или строителство [3] (фиг. 1).

¹ Георги Иванов, докторант, кат. „Технология и механизация на строителството“, УАСГ, бул. „Хр. Смирненски“ № 1, 1046 София, e-mail: givanov_fce@uacg.bg

² Калин Радлов, доц. д-р инж., кат. „Технология и механизация на строителството“, УАСГ, бул. „Хр. Смирненски“ № 1, 1046 София, e-mail: kradlov@abv.bg

³ Иван Павлов, доц. д-р инж., кат. „Технология и механизация на строителството“, УАСГ, бул. „Хр. Смирненски“ № 1, 1046 София, e-mail: pav_fce@uacg.bg

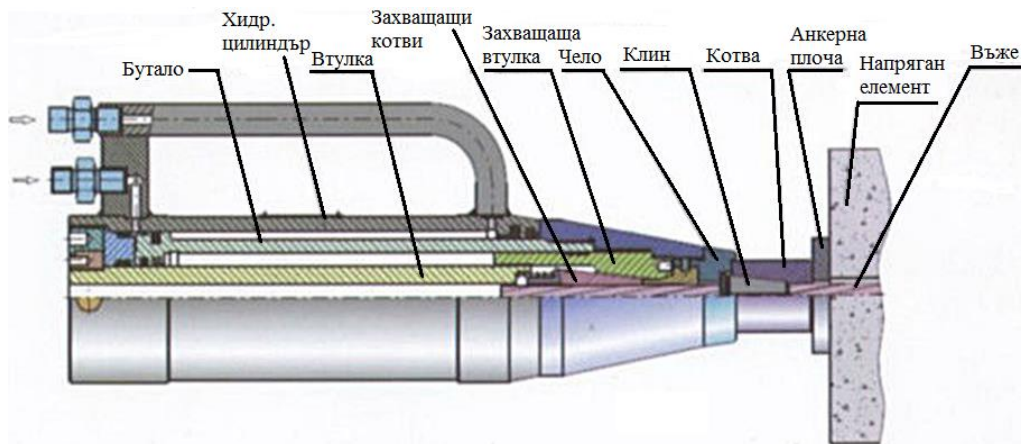


Фиг. 1. Промяна на експлоатационните качества на конструкцията във времето

При тази техника напрегащата армировка се разполага отвън на бетонното сечение на конструктивния елемент, като връзката помежду им е посредством девиатори и анкерни устройства в двата края. Напрегателният процес се реализира чрез хидравлични преси, чиито правилен подбор осигурява качество и сигурност на работа [4].

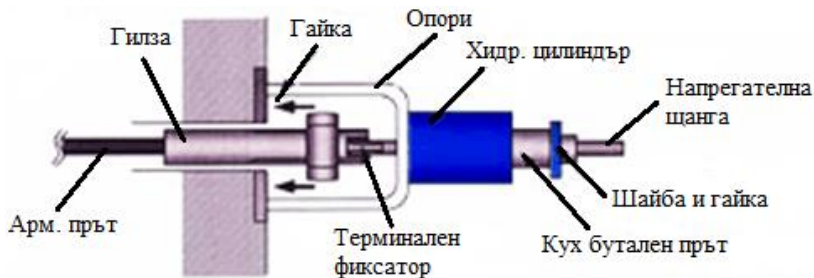
В практиката се прилагат различни по вид, устройство, принцип на действие и технически показатели хидравлични преси за външно предварително напрегане. Много от тях са непосредствено свързани с определена система (метод) на напрегане. Независимо от голямото им разнообразие те могат най-общо да бъдат разгледани/класифицирани въз основа на принципа на действие и приложението им [5]:

- Преси с прихващащо действие за напрегане на единични въжета (фиг. 2);



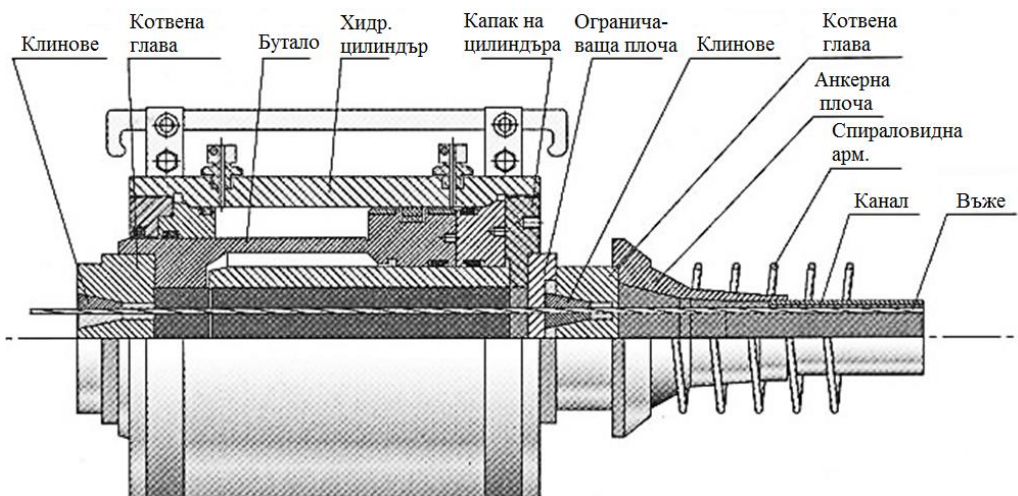
Фиг. 2. Инсталиране и устройство на преса с прихващане

- Преси с бутална налягаща шанга за налягане на единични пръти (фиг. 3);



Фиг. 3. Инсталиране и устройство на преса с бутална налягаща шанга

- Преси с двойно действие за налягане на сноп от въжета (фиг. 4).



Фиг. 4. Инсталиране и устройство на преса с двойно действие

2. Методика

Изложената методика не е обвързана с конкретна система за налягане, а предлага обобщени критерии за оптимален избор на хидравлична преса при усилване на стоманобетонни конструкции чрез предварително външно налягане. Предвид спецификата на всеки конкретен случай, трябва да бъдат взети под внимание неговите характерни особености за удовлетворяване на необходимите технологични параметри. Настоящата методика включва следните основни стъпки:

2.1. Изясняване на архитектурно-конструктивните характеристики на стоманобетонната конструкция и технологичните особености на прилаганата система за налягане

При извършването на технологично-конструктивния анализ на конструкцията се установяват такива показатели, които влияят върху избора на хидравлична преса и нейните технически параметри, като:

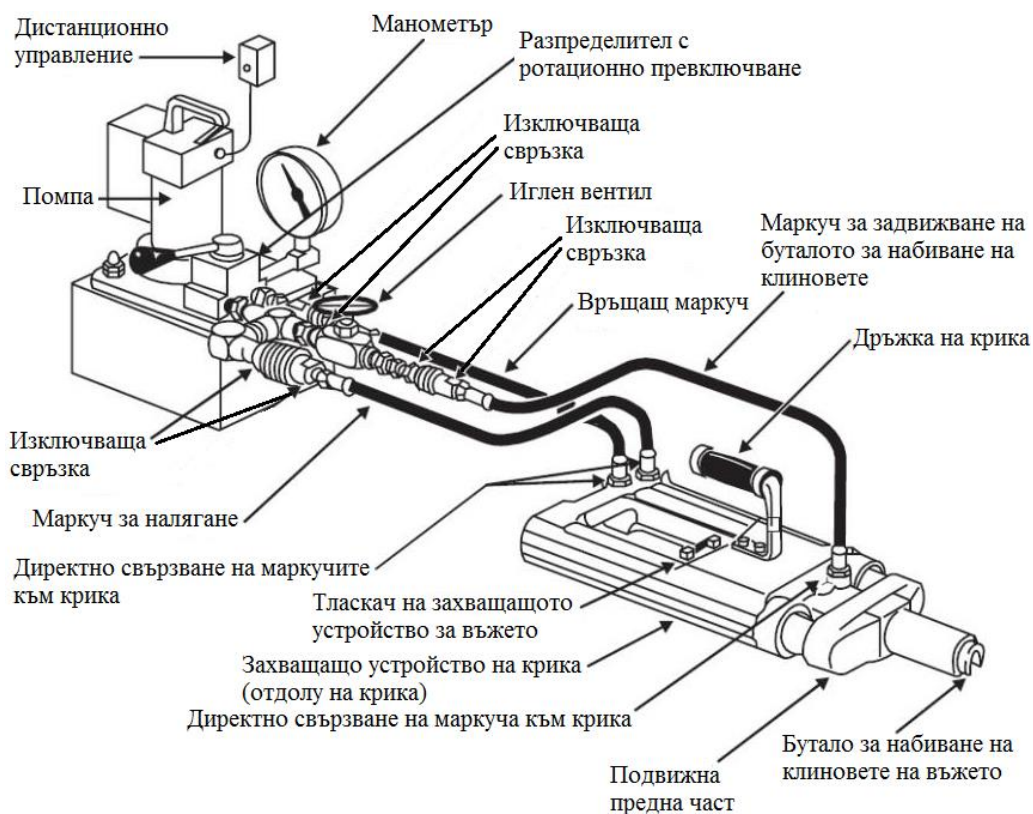
- Вид на конструктивната система и конкретен конструктивен елемент, подлежащ на усилване.
- Обемно-планировъчни характеристики – площи, обеми и височина на помещенията (пространствата, площадките), необходими за разполагане на напрегателната инсталация и временните съоръжения, обезпечаващи напрегателния процес.
- Функционални показатели – инсталации и технологично оборудване, които по някакъв начин влияят върху работата на напрегателната система и ограничават разполагането на компонентите от напрегателната система.
- Местоположение на анкерните устройства върху конструктивния елемент – осигуряване на минималните необходими габарити за работа на хидравличната преса.
- Вид на напрегаемия армировъчен елемент – единичен (въже или прът) или групов (сноп от въжета).
- Необходимо удължение на армировъчния елемент – трябва да бъде съобразено с хода на буталото на пресата.
- Големина на необходимата налягаща сила, която трябва да бъде приложена на активния край на налягащата армировка по време на налягане.
- Наличие на площадката (или възможност за монтиране) на повдигателно съоръжение – взема се под внимание само при използване на тежки преси.

2.2. Описание на техническите характеристики на хидравличната преса

Напрегателната инсталация, която се използва за извършване на външно предварително налягане, обикновено включва: хидравлична преса (състои се от хидравлични крикове в комплект с допълнително оборудване) и хидравлична помпа. Общо устройство на примерна хидравлична инсталация за налягане е показана на фиг. 5.

Основните технически характеристики, влияещи при избора на хидравлична преса за външно предварително налягане, са [6]:

- налягаща сила (P), създадена от хидравличната преса;
- налягане на хидравличното масло (p) в цилиндъра;
- ход на буталото (s) в хидравличния цилиндър;
- тегло на пресата (G);
- габарити на пресата.



Фиг. 5. Примерна напрегателна инсталация с хидравлична преса

2.3. Оптимизационна задача

Предлага се подход за оптимален избор на хидравлична преса, чрез използване на метода на претеглените суми, който е, може би, най-широко разпространеният при многокритериалната оптимизация. Целта е да се намери Парето-оптимално решение, при което се постига максимум на скаларната функция, получена от сумирането на векторни критерии, умножени по тегловни коефициенти [7].

2.3.1. Общо описание на предлагания подход

Оптималният избор на хидравлична преса се извършва по пътя на многоцелева оптимизация по обобщена функция на полезност [8]. При този подход се задават „песимистични“ (минимално допустими) изисквания за препоръчаните стойности y_j^{pes} на целевите параметри $y_j(x)$ и се максимизират надхвърлянията над тях, наречени „ползност“ ($\eta_j \rightarrow \max$).

Целевият параметър $y_j(x)$ в условията x се трансформира в коефициент на ползност $\eta_j(x)$ по формулата:

$$\eta_j(x) = \left| \frac{y_j(x) - y_j^{pes}}{y_{jmax} - y_{jmin}} \right|, \quad j = 1, 2, \dots, m,$$

където y_j^{pes} е най-безполезният резултат (най-неблагоприятният резултат) за целевия параметър, зададен по стандарт, вътрешни норми и др., или получен в границите на допустимото за управляващите параметри пространство;

y_{jmax} и y_{jmin} са граници на полезност, т.е. максималната и минималната стойност за $y_j(x)$. Избирането на границите на полезност се прави по предварително зададени изисквания или по най-добрия и най-неблагоприятния резултат, получени за $y_j(x)$ в областта на изследване.

Обобщената функция на полезност се получава по формулата:

$$F_{aw}^p(x) = \sum_{j=1}^m \eta_j(x) W_j \rightarrow \max_x,$$

където W_j е тегловен коефициент, като $W_j > 0$ и $\sum_{j=1}^m W_j = 1$.

2.3.2. Дефиниране на критерии за оптимален избор на хидравлична преса

Предлагат се следните пет критерия за оптималност (целеви параметри), дефинирани въз основа на базови технически характеристики на хидравличните преси, както следва:

- Големина на налягащата сила (y_1) – по-голяма от минимално необходимата.
- Максимално допустимо налягане на хидравличното масло в цилиндъра на пресата от якостна гледна точка (y_2) – по-голямо от максималното, което създава хидравличната помпа (от гледна точка на безаварийност и безопасност).
- Минимално необходимо налягане на хидравличното масло в цилиндъра на пресата за реализиране на минимално необходимата налягаща сила (y_3) – по-малко от максималното, което създава хидравличната помпа, за да се реализира необходимата налягаща сила.
- Ход на буталото в хидравличния цилиндър (y_4) – по-голям от минимално необходимия (без и с прихващане).
- Собствено тегло на пресата (y_5) – колкото е възможно по-малко.
- Дължина на пресата при максимален ход на буталото (y_6) – колкото е възможно по-малка. Към този размер трябва да се прибавят още 20 см за безопасно разстояние от най-близкото препятствие зад пресата.

2.3.3. Определяне на тегловните коефициенти чрез подреждане по значимост на целевите параметри

Тегловните коефициенти характеризират степента на удовлетвореност от съответния показател. За определяне на важността на критериите и съответните им тегловни коефициенти няма строго формализирани методи. Най-често тези коефициенти се определят субективно.

За въведените целеви параметри в настоящата разработка се предлагат следните тегловни коефициенти:

- $W_1 = 0,35$ за y_1 ;
- $W_2 = 0,10$ за y_2 ;
- $W_3 = 0,15$ за y_3 ;
- $W_4 = 0,20$ за y_4 ;
- $W_5 = 0,05$ за y_5 ;
- $W_6 = 0,15$ за y_6 .

2.3.4. Формиране на обща оценка на хидравличните преси

Оптималното решение се намира по „песимистична“ стратегия, което е обобщено в табл. 1. Желаната стойност за всеки целеви показател (max и min) е посочена съответно с \uparrow и \downarrow . В края на таблицата се дават ранговете по значимост на предложените преси. В зависимост от цената, която може да се даде в последната колона, се избира оптималният вариант за хидравлична преса и по икономически показател.

Таблица 1. Оптимален избор на хидравлична преса

Модел преса	y_1 \uparrow	y_2 \uparrow	y_3 \downarrow	y_4 \uparrow	y_5 \downarrow	y_6 \downarrow	η_1	η_2	η_3	η_4	η_5	η_6	F_{aw}^p	Ранг	Цена \downarrow
	kN	bar	bar	cm	kg	cm	-	-	-	-	-	-	-	-	Лв.
W_j															
y_j^{des}															
y_j^{max}															
y_j^{min}															

3. Примерна задача за оптимален избор на хидравлична преса

3.1. Условие

Да се направи оптимален избор на хидравлична преса за външно предварително налягане на единични високоякостни въжета $\phi 12,5$ с ефективна дължина 5,3 m. Целта е да се усили поле от гредова плоча на административна сграда. За необходимите параметри на налягането са зададени следните стойности:

- необходима големина на контролируемото напрежение във въжето – $\sigma_{con} = 800$ МПа;
- необходимо абсолютно удължение на въжето – $\Delta L_T = 235$ mm;
- разстоянието между активната котвата на въжето и конструктивната греда, ограничаваща полето – 95 cm;
- за технологично обезпечаване на напрегателния процес ще се използва работна платформа-скеле и пресата ще се повдига ръчно до мястото, където ще се напруга;
- налична е хидравлична помпа, която развива налягане 350 bar.

3.2. Изчисляване на техническите параметри за оценка на пресата

Техническите параметри се изчисляват въз основа на необходимите технологични параметри за напрегателния процес [9]:

- Необходима големина на напругащата сила, създадена от хидравличната преса:

$$P_H = \frac{k n f \sigma_{con}}{10 \eta} = \frac{1,1 \cdot 1,1 \cdot 0,930 \cdot 800}{10 \cdot 0,95} = 86,15 \text{ kN},$$

където $k = 1,1$ е коефициент, отчитащ технологичното пренапругане на армировката;

n – брой на едновременно напругани въжета;

f , cm^2 – площ на сечението на напругащата армировка;

σ_{con} , МПа – зададено контролируемо напрежение в армировката;

$\eta = 0,94 \div 0,95$ – коефициент на полезно действие на пресата.

- Необходимо налягане на маслото в хидравличния цилиндър на пресата (определя се при вече предложени варианти на преси):

$$p_{щн} = \frac{10 P_H}{F \eta}, \text{ МПа},$$

където F , cm^2 е площ на буталото в хидравличния цилиндър.

- Необходим ход на буталото без прихващане:

$$S = \frac{\sigma_{con} l_H}{E_s} + A = \frac{800 \cdot 5,3 \cdot 10^2}{195000} + 2,1 = 4,2 \text{ cm},$$

където l_H , m е начална дължина на напругащата армировка;

E_s , МПа – модул на линейна деформация на стоманата;

$A = (0,004 \div 0,005) l_n$, m – дължина на хода на буталото, необходима за обирание на първоначалното провисване на армировката.

3.3. Извършване на оптимален избор на хидравлична преса

Предложени са три модела преси с прихващащо действие за налягане на единични въжета. Получените резултати са обобщени в табл. 2.

За минимално необходимото налягане на маслото в хидравличния цилиндър на пресите се получава:

- За преса РТJ5S:

$$P_{\text{цн}} = \frac{10P_{\text{н}}}{F\eta} = \frac{10,86,15}{28,9,0,95} = 31,38 \text{ MPa} \approx 314 \text{ bar};$$

- За преса 6DA1:

$$P_{\text{цн}} = \frac{10P_{\text{н}}}{F\eta} = \frac{10,86,15}{51,3,0,95} = 17,68 \text{ MPa} \approx 177 \text{ bar};$$

- За преса QYC240:

$$P_{\text{цн}} = \frac{10P_{\text{н}}}{F\eta} = \frac{10,86,15}{47,7,0,95} = 19,01 \text{ MPa} \approx 190 \text{ bar}.$$

Максималният допустим товар, който може ръчно да се пренесе на височина от един човек, е 30 kg [10].

Оптималният избор на хидравлична преса е тази, за която се получава най-висок ранг.

Цените на различните модели хидравлични преси, посочени в последната колона на табл. 2, са актуални и са взети от официалните сайтове на търговски представители за съответната марка.

Таблица 2. Пример за оптимален избор на хидравлична преса

Модел преса	y_1 ↑	y_2 ↑	y_3 ↓	y_4 ↑	y_5 ↓	y_6 ↓	η_1	η_2	η_3	η_4	η_5	η_6	F_{aw}^P	Ранг	Цена ↓
	kN	bar	bar	cm	kg	cm	-	-	-	-	-	-	-	-	лв.
РТJ5S	201	700	314	25,4	25	73,3	0,745	1,000	0,208	1,000	0,833	0,775	0,750	3	4544
6DA1	231	450	177	21,6	24	67,0	0,941	0,286	1,000	0,821	1,000	1,000	0,872	2	6835
QYC240	240	700	190	20,0	24	71,0	1,000	1,000	0,925	0,745	1,000	0,857	0,916	1	2558
W_j	0,35	0,10	0,15	0,20	0,05	0,15									
y_j^{pes}	87	350	350	4,2	30	95,0									
y_{jmax}	240	700	350	25,4	30	95,0									
y_{jmin}	87	350	177	4,2	24	67,0									

Според предлаганата методика, крайният резултат от гледна точка на технически характеристики определя оптималния избор на преса, а именно хидравлична преса модел QYC240. От представената табл. 2 се вижда, че въпросната преса е и с най-ниска цена.

4. Заключение

Предложен е съвременен подход за оптимален избор на хидравлична преса за външно налягане при усилване на стоманобетонни конструкции. Като основа за избора е използвана многокритериалната оптимизация по обобщена функция на полезност. Разработеният подход изисква предварително изчисляване на необходимите технически параметри и дефиниране на критериите за оценка на пресата въз основа на предварително зададени необходими технологични параметри на напрегателния процес. С разглеждането на конкретен пример се илюстрира практическото приложение на методиката.

ЛИТЕРАТУРА

1. Венков, В., Игнатиев, Н., Неделчев, В. Възстановяване и усилване на масивни конструкции на сгради. София, Техника, 1988.
2. Трайкова, М. Възстановяване и усилване на сгради. Амадеус Принт, София, 2014.
3. Sistonen, E. Strengthening of building structures [Official site]. Rak-43.3313 – Repair Methods of Structures, exercise (4 cr). Aalto University, 06.11.2016, https://mycourses.aalto.fi/pluginfile.php/198600/mod_resource/content/2/2016-03-14_Strengthening.pdf.
4. Preto, P. B. Guidelines for External Prestressing as Strengthening Technique for Concrete Structures [Official site]. Instituto Superior Tecnico, 23.10.2016, <https://fenix.tecnico.ulisboa.pt/downloadFile/844820067123479/GrandeEdificiodoOrienteEA.pdf>.
5. Вълев, В. Н. Технология на стоманобетонните конструкции. София, Техника, 1988.
6. Марутов, В. А., Павловский, С. А. Гидроцилиндры. Машиностроение, Москва, 1966.
7. Ehgott, M. Multicriteria Optimization. Second edition. Heidelberg, Springer, 2005.
8. Стоянов, С. Конвенционални и интелигентни методи за оптимизация [Официален сайт]. ИИТ-БАН, 27.05.2017, http://www.iit.bas.bg/esf40/phd-lecture-01-10-10/S_Stoianov/S_Stoianov_txt.pdf.
9. Вълев, В. и др. Технология на сглобяемите стоманобетонни конструкции. Сборник от задачи. Техника, София, 1990.
10. Наредба № 16 от 31 май 1999 г. за физиологични норми и правила за ръчна работа с тежести. Министерство на здравеопазването и Министерство на труда и социалната политика, 1999.

METHODOLOGY FOR SELECTING A PRESTRESSING JACK FOR STRENGTHENING RC STRUCTURES BY EXTERNAL PRESTRESSING

G. Ivanov¹, K. Radlov², Iv. Pavlov³

Keywords: prestressing jack, characteristic data, external prestressing, strengthening of RC structures

ABSTRACT

This paper presents a modern approach to making an optimal choice of prestressing jack for strengthening RC structures by external prestressing. The basic technical parameters for the evaluation of the prestressing jacks, which are based on predefined geometrical, kinematic, dynamic and performance characteristics of the prestressing jacks, are described. An approach has been developed to make a multi-criteria assessment of various prestressing jack variants for making optimal choice. Finally, a concrete numerical example is given which illustrates the application of the approach under consideration.

¹ Georgi Ivanov, PhD student, Dept. "Construction Technology and Mechanization", UACEG, 1 H. Smirnenski Blvd., Sofia 1046, e-mail: givanov_fce@uacg.bg

² Kalin Radlov, Assoc. Prof. Dr. Eng., Dept. "Construction Technology and Mechanization", UACEG, 1 H. Smirnenski Blvd., Sofia 1046, e-mail: kradlov@abv.bg

³ Ivan Pavlov, Assoc. Prof. Dr. Eng., Dept. "Construction Technology and Mechanization", UACEG, 1 H. Smirnenski Blvd., Sofia 1046, e-mail: pav_fce@uacg.bg