

САНАЦИОНО РЕШЕЊЕ ПОВЕЋАНИХ ВИБРАЦИЈА НОСЕЋЕ КОНСТРУКЦИЈЕ ВЕНТИЛАТОРА

Ђерђ Варју¹
Љиљана Тадић²
Оливер Вајда³

УДК: 624.042.3 : 621.63
DOI: 10.14415/zbornikGFS30.01

Резиме: У раду је приказано санационо решење повећаних вибрација носеће конструкције агрегата вентилатора. На основу вибродијагностичког испитивања и динамичке анализе дато је техничко решење проблема додатним челичним укрућењима. При томе је посебан нагласак на дијагнози и формирању динамичког модела.

Кључне речи: фреквентни спектар вибрација, носећа конструкција, формирање динамичког модела, динамичка анализа

1. УВОД

Предмет овог рада је носећа конструкција вентилатора свежег ваздуха котла „K58“, која се налази у погону ЈКП „Суботичка топлана“. У циљу могућности подешавања брзине рада машине, ради уштеде енергије, 2008. године уграђен је фреквентни регулатор. Као што је познато, овим захватом број обртаја уређаја више није сталан него се мења у одређеном фреквентном опсегу, зависно од захтеване количине топлоте. Након тога, већ у току прве грејне сезоне, на машини су се повремено појавиле повећане вибрације, које могу довести до неочекиваног застоја агрегата. У циљу утврђивања узрока ове појаве извршен је низ испитивања вибрација на агрегату. Резултати анализе ових испитивања су показали да је узрок повећаних вибрација тај што носећа конструкција има две сопствене фреквенције, које могу бити побуђене при раду агрегата [1]. Поуздано и трајно решење овог проблема је промена сопствених фреквенција носеће конструкције тако да оне буду ван радног опсега. Један од начина да се то постигне је повећавање крутости носеће конструкције додавањем челичних укрућења унутар постоља.

У овом раду се приказује поступак одређивања положаја тих укрућења, односно дијагноза, начин формирања динамичког модела и анализа утицаја додатних укрућења у моделу.

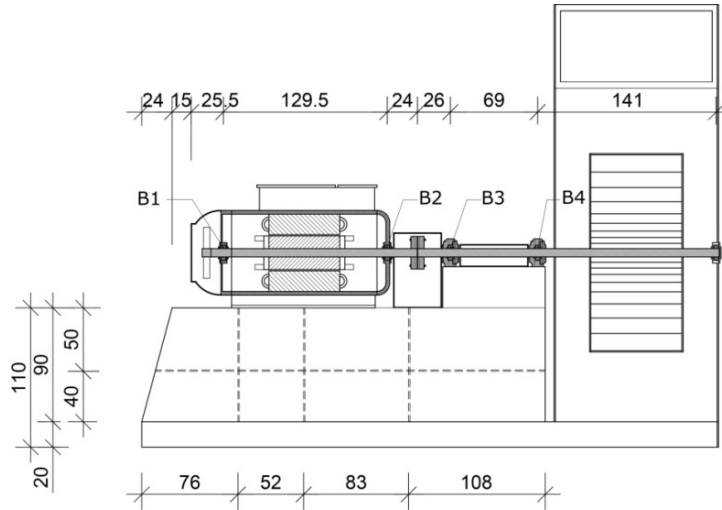
¹ мр Ђерђ Варју, дипл.инж.грађ., Универзитет у Новом Саду, Грађевински факултет Суботица, Козарачка 2а, Суботица, Србија, тел: 024 554 300, е – mail: varjegy@gf.uns.ac.rs

² мр Љиљана Тадић, дипл.инж.грађ., Универзитет у Новом Саду, Грађевински факултет Суботица, Козарачка 2а, Суботица, Србија, тел: 024 554 300, е – mail: tadic@gf.uns.ac.rs

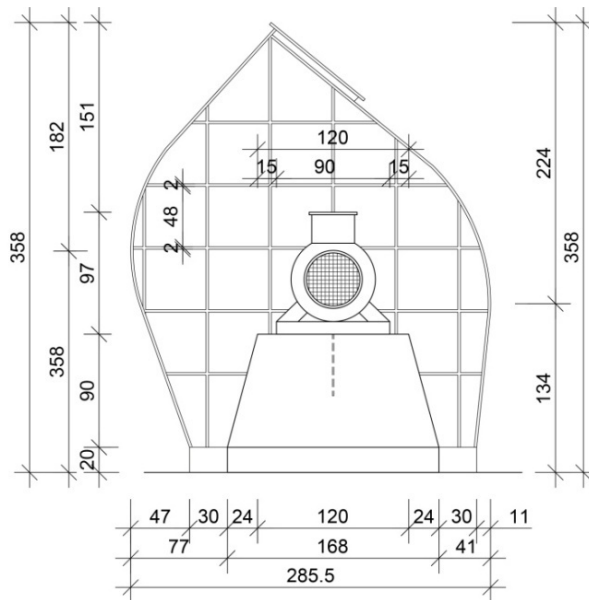
³ Оливер Вајда, студент Грађевинског факултета у Суботици, Козарачка 2а, Суботица, Србија, тел: 024 554 300, е-mail: voliver1993@gmail.com

2. ПОСТОЈЕЋЕ СТАЊЕ

Постоље агрегата је израђено од челичног лима дебљине 10mm, а ојачано је укрућењима у хоризонталној и вертикалној равни (слика 1 и слика 2).



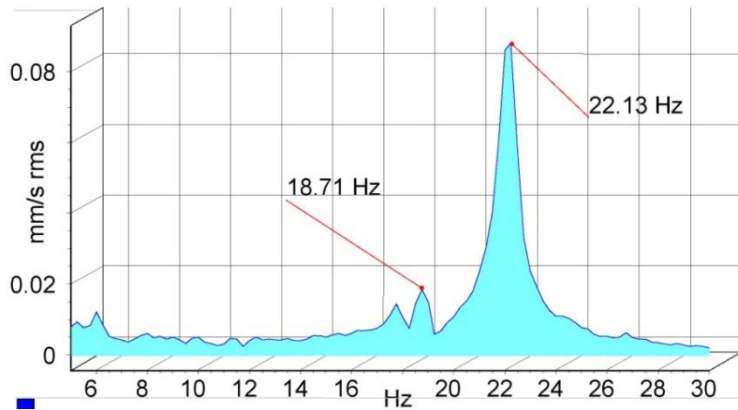
Слика 1. Подужни пресек агрегата вентилатора



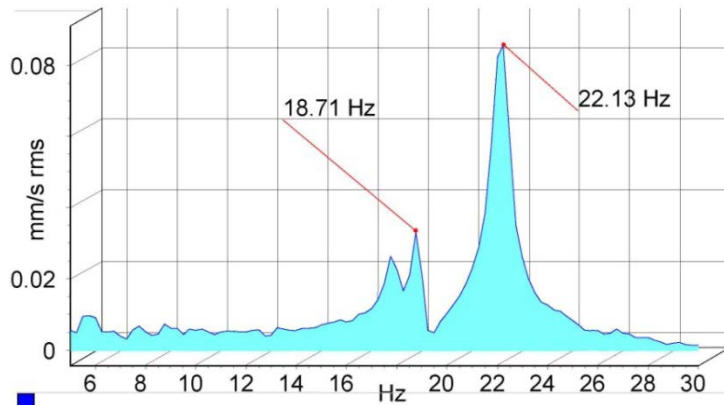
Слика 2. Изглед агрегата вентилатора из правца електромотора

На доњем делу, по обиму, постоље је повезано „С“ профилем висине 200mm, које се ослања на АБ темељни блок. Подаци о димензијама, као и о начину извођења темељног блока, не постоје.

Након уградње фреквентног регулатора број обртаја машине више није сталан, него се мења у опсегу од 15 до 25Hz. Динамичким испитивањима је утврђено да се повећане вибрације јављају само на мерним местима В3-Н и В4-Н (тј. у хоризонталном правцу на лежајевима вентилатора 3 и 4) на фреквенцији од око 22.50Hz. У циљу одређивања сопствених фреквенција извршен је ударни тест. Спектри фреквентног одзива са мерних места В3-Н и В4-Н приказани су на сликама 3 и 4.



Слика 3. Спектар фреквентног одзива снимљен са мерног места В3-Н



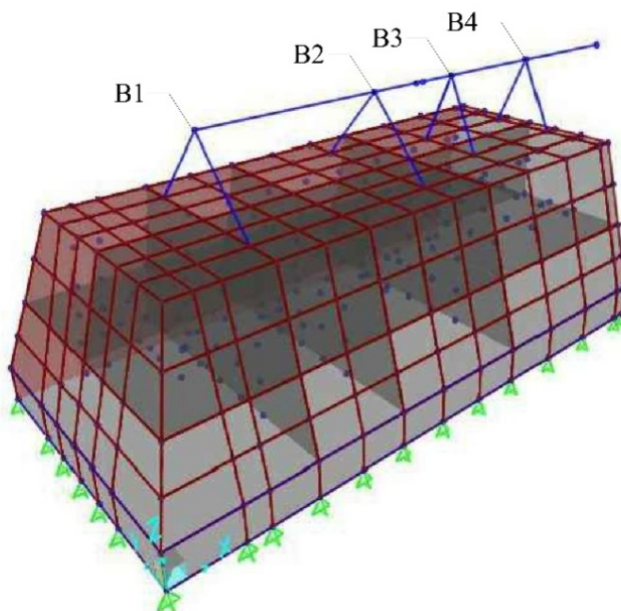
Слика 4. Спектар фреквентног одзива снимљен са мерног места В4-Н

Вршне вредности на спектрима указују на то да носећа конструкција има сопствене фреквенције 18.71Hz и 22.13Hz. С обзиром на то да су ове фреквенције присутне само на спектрима који су били снимљени у хоризонталном правцу, следи да је облик сопствених вибрација такође хоризонталан [2].

3. ДИНАМИЧКА АНАЛИЗА ПОСТОЈЕЋЕГ СТАЊА

Динамичка анализа је извршена применом апликације *SAP 2000*. При формирању модела [3] треба имати у виду да су од сопствених фреквенција битне само оне које се налазе у фреквентном опсегу од 15Hz до 25Hz. Сходно томе, током анализе темељни блок се неће узети у обзир, јер су маса и крутост темељног блока много веће од масе и крутости постоља, тј. оправдано је темељни блок третирати као круто тело. Затим, реално је очекивати да ће првих шест сопствених вибрација одговарати сопственим вибрацијама темељног блока (као крутог тела) и да ће бити мање од 15Hz. Из напред наведеног следи да је у анализи оправдано темељни блок третирати као непокретно круто тело. Пошто кућиште радног кола вентилатора физички није директно повезано са постољем, неће бити узето у обзир при анализи.

Електромотор се посматра као круто тело чија је маса концентрисана у чворовима на местима лежајева (B1 и B2), а моделира се у виду штапа велике крутости. Такође, у одговарајућим чворовима концентрисана је и маса радног кола вентилатора, односно спојница и лежајева B3 и B4. Челични лим је моделиран са 445 "Four-node Quadrilateral Shell" елемената, док су осовина електромотора и вентилатора моделиране са "Frame Elements of Rectangular shape" елемената. Чворови постоља на нивоу темељног блока су слободно ослоњени на непокретне тачке. Рачунски модел за анализу је приказан на слици 5. Физичке карактеристике модела су: $E=200\text{kN/mm}^2$, $\nu=0.30$, $\rho=7870\text{kg/m}^3$. Маса електромотора, радног кола вентилатора, лежајева вентилатора и спојнице су: 2100kg, 250kg, 45kg и 28kg. Код штапова велике крутости, којима се моделира електромотор и носач лежајева вентилатора, модул еластичности је десет пута већи.



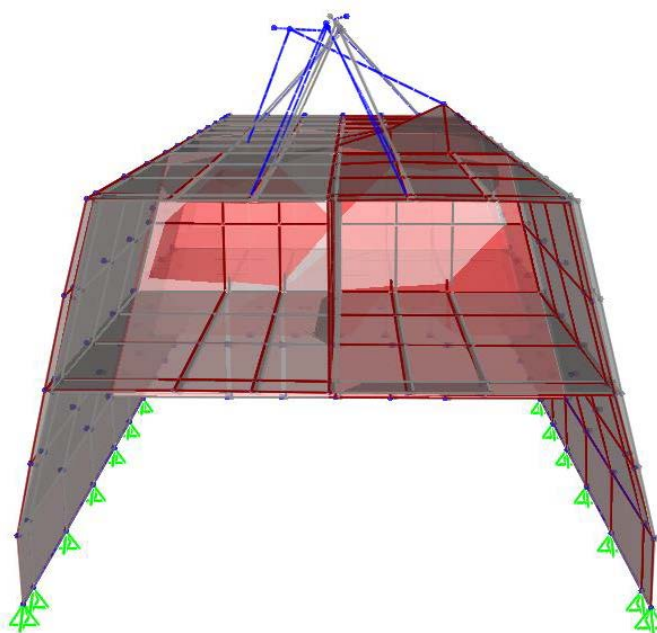
Слика 5. Рачунски модел постојећег стања

Резултати нумеричке анализе су приказани у *табели 1*.

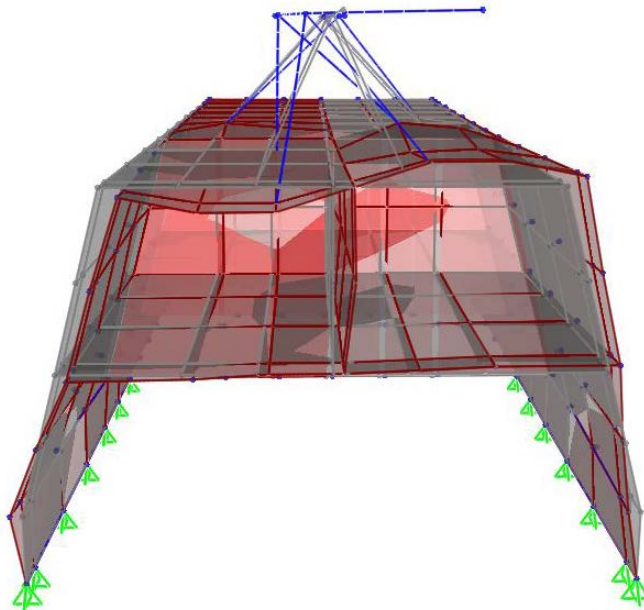
Табела 1. Резултати динамичке анализе постојећег стања

Тон	Сопствена фреквенција [Hz]	Облик вибрација
1.	5.35	вертикалан
2.	5.36	хоризонталан
3.	9.35	вертикалан
4.	18.86	хоризонталан
5.	22.38	хоризонталан
6.	31.21	вертикалан

Четврта и пета сопствена фреквенција се добро слажу са резултатима испитивања. Облик вибрација попречног пресека постоља (гледано из правца радног кола вентилатора), по тим фреквенцијама, је приказан на *сликама 6 и 7*.



Слика 6. Четврти тон модела



Слика 7. Изглед петог тона модела

4. САНАЦИОНО РЕШЕЊЕ

Циљ санације је смањење амплитуда вибрација на лежајевима вентилатора у хоризонталном правцу на сопственим фреквенцијама. Ово се може постићи тако што одговарајућим елементима спречава деформација носеће конструкције.

Анализом четвртог тона (слика 6) уочава се да се највеће померање јавља код лежаја електромотора В-2 и то као поселедица локалне деформације горње плоче постоља испод лежаја. Ова деформација се може спречити постављањем челичних плоча (дијафрагми) у вертикалној равни унутар постоља, испод лежаја В-2.

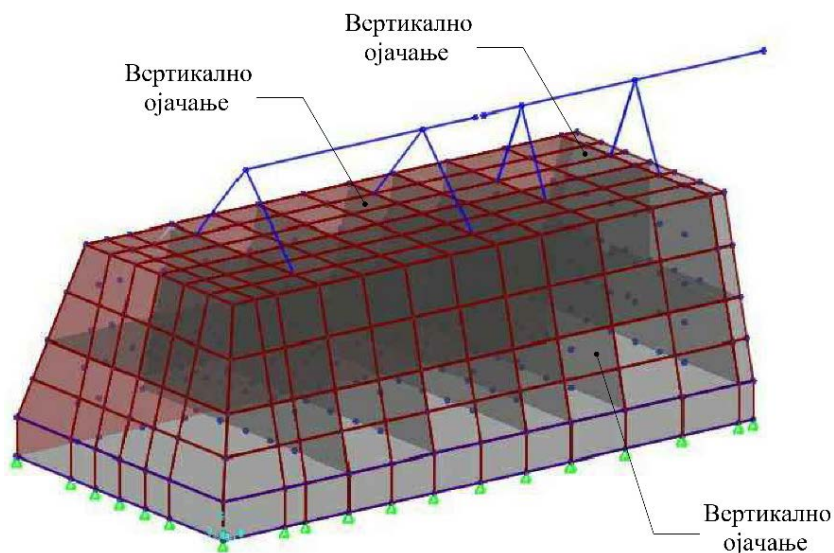
Према петом тону (слика 7) највеће померање имају лежајеви вентилатора В-3 и В-4, што је проузроковано деформацијом (променом облика) постоља испод лежајева. Укрућивањем постоља челичним плочама у вертикалној равни, могуће је смањити промену облика постоља, а тиме и померање лежајева.

Да би се сагледао утицај ових укрућења на понашање система, рачунски модел се допуњује овим елементима и поново врши динамичка анализа [4]. Варирањем броја, димензија и положаја укрућења долази се до различитих резултата. Усваја се оно решење чији резултат задовољава постављени критеријум, тј. оно којим се постиже да сопствене фреквенције буду изнад радног опсега.

Овде су анализирани следећи случајеви:

1. разматран је утицај појединачних укрућења испод лежаја В-2, В-3 и В-4 посебно;
2. варирана је дебљина плоча (6mm, 8mm, 10mm и 12mm).

Као најидеалније решење показало се додавање челичних плоча дебљине 10mm у вертикалној равни унутар постоља испод сваког лежаја (В-2, В-3 и В-4). Модел са овим додатним укрућењем приказан је на *слици 8*.



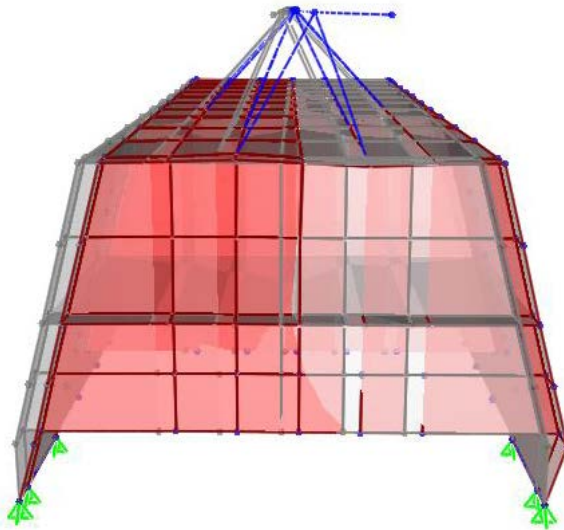
Слика 8. Рачунски модел модификован додавањем укрућења

Резултати нумеричке анализе модела са додатним укрућењима приказани су у *табели 2*.

Табела 2. Резултати нумеричке анализе модела са додатним укрућењима

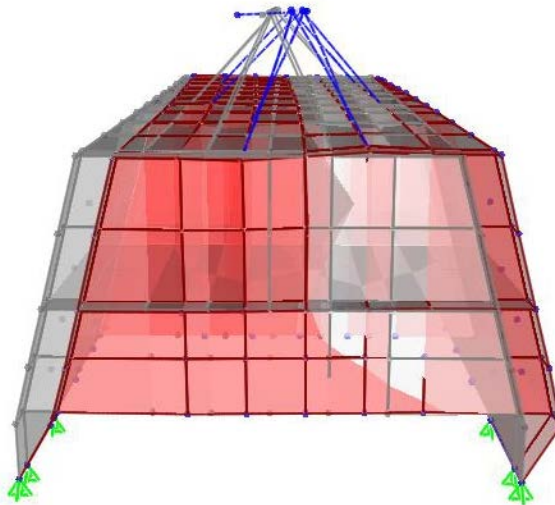
Тон	Сопствена фреквенција [Hz]	Облик вибрација
1.	27.07	хоризонталан
2.	31.93	вертикалан
3.	41.26	аксијалан
4.	43.26	хоризонталан
5.	48.26	хоризонталан
6.	50.07	аксијалан

Након додавања укрућења вредности сопствених фреквенција носеће конструкције се налазе изнад радног опсега, чиме је постигнут основни циљ санације. Реално је очекивати да ће након уградње укрућења, вибрације на лежајевима у хоризонталном правцу бити много мање, те да неће представљати опасност по погонску сигурност. У наставку, на *Сликама 9 и 10*, приказани су први и четврти тон вибрација.



Слика 9. Облик првог тона након извршене санације

Уочљиво је да је дошло до значајне промене облика вибрација постоља. Наиме, горња плоча постоља више нема локалне деформације испод лежаја електромотора В-2 како је то било према четвртом тону пре санације. Такође, променио се облик вибрација постоља испод лежајева вентилатора В-3 и В-4. Након санације највеће деформације трпи „С“ профил на доњем делу постоља. Међутим, облик горњег дела, за који су везани лежајеви, остаје скоро непромењен. Хоризонтална померања лежајева настају само услед деформације „С“ профила, али искључиво на фреквенцијама које су изнад радног опсега.



Слика 10. Изглед четвртог тона после извршене санације

5. ЗАКЉУЧАК

У овом раду је приказано једно од могућих санационих решења проблема повећаних вибрација носеће конструкције вентилатора. Приказан је поступак дијагностиковања путем динамичких испитивања, вредновање резултата испитивања, начин формирања динамичког модела и резултати нумеричке анализе. При формирању динамичког модела извршено је и одређено оправдано упрошћавање. Након дефинисања узрока проблема, анализом облика сопствених вибрација дефинисани су захвати који ће довести до смањивања амплитуде вибрација на лежајевима вентилатора у хоризонталном правцу. Анализом резултата добијених након примене одређених захвата (додавање челичних, при чему је варирана њихова дебљина) дошло се до идеалног решења. Дакле, резултати динамичке анализе носеће конструкције са овим укрућењима показују да је постигнут основни циљ санације. Приказани решење представља не само једноставно и трајно, већ и економично решење изложеног проблема.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Varju, Đ., Tadić, Lj.: Ispitivanje i dijagnostika uzroka povećanih vibracija noseće konstrukcije agregata ventilatora, Zbornik radova Građevinskog Fakulteta, **2015.**, vol. 28, str. 35-41.
- [2] Gajin, S., Folić, R., Varju, Đ.: Analysis of the causes of vibration level increase in dual cement mill bearings and foundation, Third International Conference on Rotordynamics, Lyon, France, **1990.**, str. 389-393.
- [3] Miličić, M. I., Prokić, A., Bešević, M.: Računarsko 3D modeliranje rezervoara za tečnost i simulacija dinamičkih dejstava, VIII Simpozijum Društva građevinskih konstruktera Srbije, Zlatibor, **2016.**, str. 356-368.
- [4] Gajin, S., Kuzmanović, S., Varju, Đ.: Vibrations repair procedure for aerator turbine supporting structure of a waste water treating plant, International Conference on Structural Faults and Repair, London, UK, **1989.**, str. 373-376.

RESTORATION SOLUTION OF INCREASED VIBRATIONS OF THE FAN PLANT'S SUPPORT STRUCTURE

Summary: *This paper presents a restoration solution of increased vibration of the fan plant's support structure. Based on vibrodiagnostic tests and dynamic analysis, a technical solution of the problem is given with additional steel bracing. There is particular emphasis on the diagnosis and forming of a dynamic model.*

Keywords: *frequency spectrum of vibrations, support structure, forming a dynamic model, dynamic analysis*