

УДК 624.074.5:692.48:004.42

© Карпенко Т.Н.¹, Іваніна Н.Л.², Головченко В.І.³**ВИЗУАЛІЗАЦІЯ РЕЗУЛЬТАТОВ РАСЧЕТА СТЕРЖНЕВЫХ
И БАЛОЧНЫХ КОНСТРУКЦИЙ В КОНЕЧНО-ЭЛЕМЕНТНОМ
ПРОГРАММНОМ КОМПЛЕКСЕ ANSYS**

В статье показаны особенности вывода в графической форме результатов расчета стержневых и балочных конструкций, выполненного в конечно-элементном программном комплексе ANSYS. Отмечено влияние порядка соединения соседних ключевых точек при построении геометрической модели на графическое изображение результатов. Справочная информация, необходимая для вывода результатов расчета в табличной или в графической форме, данная в ANSYS Help, в статье представлена в виде, адаптированном для непосредственного использования в работе. Также в статье даны пояснения по заполнению поля SHEAR для построения в ANSYS моделей балок на основе элементов, не учитывающих влияние сдвига на прогиб автоматически.

Ключевые слова: ANSYS, стержневой конечный элемент, балочный конечный элемент, LINK, BEAM, эпюра.

Карпенко Т.М., Іваніна Н.Л., Головченко В.І. Візуалізація результатів розрахунку стрижневих та балочних конструкцій у скінченно-елементному програмному комплексі ANSYS. У статті розглядаються можливості та особливості візуалізації результатів розрахунку стрижневих та балочних конструкцій, що виконується за допомогою скінченно-елементного комплексу ANSYS. Відмічено вплив порядку з'єднання сусідніх ключових точок при побудові геометричної моделі на графічне зображення результатів. Довідкова інформація, що необхідна для виводу результатів розрахунку у табличній формі або у вигляді епюри, яка наведена у ANSYS Help, у статті адаптована для безпосереднього використання у роботі. Також у статті є пояснення щодо заповнення поля SHEAR для побудови у ANSYS моделей балок на основі елементів, що не враховують вплив зсуву на прогин автоматично.

Ключові слова: ANSYS, стрижневий скінченний елемент, балочний скінченний елемент, LINK, BEAM, епюра.

T.M. Karpenko, N.L. Ivanina, V.I. Golovchenko. Visualization of the results of rod/beam structures analysis in ANSYS finite-element program. Some features of a graphic presentation of rod/beam constructions strength analysis results obtained with the help of ANSYS finite element program are shown in the article in the form of test examples. It is noted that the results graphic presentation that ANSYS generates is influenced not only by the spread loads application mode and the settings used for this presentation (the absolute value and the scale factor sign), but by the order of joining the keypoints when making-up the rod/beam axis as well as the usage of Boolean operations when creating a geometric model. The explanations as to the filling in the SHEAR field when making up in the ANSYS system the beam models based on the elements that don't take into account the influence of the shear on deflection are given in the article. In this field, for short beams, the value of the factor that enters into the differential equation of an elastic line and taking into account the tangential stress non-uniform distribution with the height of a cross-section at transverse bending and that appears in a differential equation of the deflection curve is given. In the article, values of this factor for box section beams as a function of its sides length ratio as well as for beams of normal and wide I-

¹ канд. физ.-мат. наук, доцент, ГВУЗ «Приазовский государственный технический университет», г. Мариуполь, taisktn2013@gmail.com

² инженер-конструктор, ПАО «ГСКТИ», г. Мариуполь, on-inl@yandex.ru

³ канд. техн. наук, инженер-конструктор, ПАО «ГСКТИ», г. Мариуполь, v.i.gol@yandex.ua

beams are given. The reference information available in ANSYS Help that is necessary to present the results in table or graphical forms is represented in the form adapted for direct application. The sequences of commands to form the tables and the graphs are available in the article as well.

Keywords: ANSYS, rod finite element, beam finite element, LINK, BEAM, chart.

Постановка проблеми. Несмотря на то, что ANSYS является одним из наиболее мощных программных комплексов, обладающим возможностями создания геометрических моделей, максимально приближенных по форме к реальным конструкциям, а также их импорта из САД-систем, на практике при расчете сложных конструкций приходится соблюдать баланс между стремлением создать модель, наиболее близкую к реальному объекту, и упрощением модели для уменьшения количества конечных элементов, сокращения затрат времени на её построение и снижения требований к ресурсам компьютера. Поэтому, несмотря на возможность представления конструктивных частей балочных и стержневых конструкций трёхмерными конечными элементами и, соответственно, получения более реалистичной модели и более точного решения, выбор часто приходится на одномерные конечные элементы: стержневые (LINK1, LINK8) и балочные (BEAM3, BEAM4, BEAM188, BEAM189 и др.). Однако в литературе по ANSYS описаниям процедур вывода результатов расчета уделяется мало внимания, и на практике некоторые возможности ANSYS по графическому представлению результатов оказываются нереализованными.

Анализ последних исследований и публикаций. В учебной литературе по ANSYS ([1-4] и др.) в основном уделяется внимание наиболее трудоёмкой части конечно-элементного расчета - созданию геометрической и конечно-элементной моделей исследуемой конструкции (технике «предпроцессорной подготовки») и гораздо меньше - выводу результатов расчета в приемлемой для быстрой оценки и последующего анализа табличной или графической форме («постпроцессорной обработке»). Большой объём информации и рекомендаций по практическому применению ANSYS (в том числе по выводу результатов расчета) содержится в [5], однако из-за значительного количества освещаемых вопросов справочный материал по ним изложен довольно кратко. Некоторые примеры вывода результатов в табличной и в графической форме (в основном – величин внутренних силовых факторов) приведены в [6-8], однако они не содержат достаточно пояснений для свободного перехода пользователя к работе с другими, отличными от рассмотренных в этих примерах (BEAM3 и LINK1), балочными или стержневыми конечными элементами, а также пояснений по выводу эпюр напряжений и деформаций. В публикациях же, посвященных расчету в ANSYS отдельных конструкций и их элементов, ход выполнения расчета подробно не описывается.

Цель статьи – рассмотреть возможности графического представления результатов расчета стержневых и балочных конструкций, обратить внимание пользователей на необходимость учёта особенностей вывода результатов ещё на этапе построения геометрической модели, а также дать некоторые пояснения по построению конечно-элементной модели балочных конструкций и по анализу результатов расчета. Все указанные ниже последовательности выполнения команд приводятся для ANSYS версии 11.0.

Изложение основного материала. 1. Некоторые пояснения и справочная информация по построению КЭ-модели балки. При создании расчетной модели балки посредством конечных элементов BEAM3, BEAM4, BEAM54, BEAM44 необходимо указать числовые данные, входящие в набор Real Constants (Preprocessor → Real Constants), путём заполнения соответствующих полей (AREA – площадь поперечного сечения, IZZ (или IZZ, IYY) – момент инерции и др.). В наборе Real Constants имеется также поле SHEAR (Shear deflection constant): для элементов BEAM3, BEAM54 - SHEARZ, для BEAM4, BEAM44 – SHEARZ и SHEARY. В литературе по ANSYS [1-6, 8] рекомендации по заполнению поля SHEAR не приводятся (сказано лишь, что его допускается не заполнять, но не оговаривается, в каких случаях). В [7] и в ANSYS Help даны значения SHEAR лишь для нескольких типов сечений, но без пояснений. В связи с этим ниже приводим пояснения по заполнению этого поля и приводим значения коэффициентов, указываемых в поле SHEAR, вычисленных для некоторых, наиболее распространённых, типов поперечных сечений балок.

Значение SHEAR указывается для коротких балок ($L/h < 10$) для учета влияния поперечных сил на прогиб балки. Как известно, при необходимости учета влияния сдвига на прогиб

дифференциальное уравнение упругой линии $EI_z \frac{d^2 y(x)}{dx^2} = -M_z(x)$ (направления x, y, z здесь приняты как в элементной системе координат элемента BEAM3) заменяется более сложным. Для балки постоянного поперечного сечения оно имеет вид [9]

$$\frac{d^2 y(x)}{dx^2} = -\frac{M_z(x)}{EI_z} + k_z \frac{d}{dx} \left(\frac{Q_y(x)}{GF} \right), \quad (1)$$

где k_z – безразмерный коэффициент, учитывающий неравномерность распределения касательных напряжений по высоте сечения при поперечном изгибе (указывается в поле SHEARZ); его величина зависит от формы поперечного сечения.

Формулы для вычисления значения коэффициента k (k_z или k_y) для сплошного и для незамкнутого тонкостенного сечения даются в литературе ([10] и др.). Значения этих коэффициентов можно получить и при помощи самого же комплекса ANSYS, решив в нём дополнительно (в отдельном файле, взяв элемент BEAM188 (или BEAM189), автоматически учитывающий сдвиг) задачу по определению прогиба для короткой балки рассматриваемого поперечного сечения, нагруженной поперечной силой. Значения коэффициента k для некоторых типов поперечных сечений балок, взятые из литературы, а также полученные с помощью ANSYS, приведены в таблицах 1 и 2.

Таблица 1

Значения коэффициента k для некоторых типов поперечных сечений балок

Сечение						 *)			 **)		
						10...20	40	100	20...40	50	70
k	$\frac{6}{5}$ [9]			$\frac{10}{9}$ [9]	2 [9]	2,7	2,4	1,9	3,6	2,9	2,4

*) нормальный двутавр по ГОСТ 26020-83 (серия Б)

***) широкополочный двутавр по ГОСТ 26020-83 (серия Ш)

Таблица 2

Значения коэффициента k для тонкостенного полого прямоугольника в зависимости от соотношения длин его сторон

Сечение	 H, h B, b							 H, h B, b											
	В/Н	0,2	0,3	0,5	0,7	0,8		1,0	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,8	2,0	2,3	3,0	3,5	4,0
k	1,2	1,4	1,5	1,7	2,0	2,4 [7]	2,7	2,8	3,0	3,2	3,6	3,9	4,3	5,3	7,4	9,2	12		

Если балка длинная, влияние поперечных сил на прогибы мало (менее 4%), и поле SHEAR заполнять необязательно. Для элементов BEAM188, BEAM189 (они построены на основе балки Тимошенко и автоматически учитывают сдвиг) коэффициент k указывается (при необходимости) только для сечения «User section».

2. Способы визуализации результатов расчета. Как известно, необходимым условием работы с результатами в ANSYS является переход в Постпроцессор. На этапе постпроцессорной обработки можно вывести величины внутренних силовых факторов, напряжений, деформаций в поперечных сечениях балки в графической или в табличной форме. Для этого предварительно из значений, вычисленных в узлах I и J конечных элементов (или вычисленных для элемента и экстраполированных в узлы I и J), должна быть сформирована таблица результатов. Её можно создать как средствами графического интерфейса пользователя (GUI), так и через командную

строку [5-8]. Последовательность действий для вывода результатов обоими способами приводится ниже. Параллельно она показана на примере балки, построенной на основе элемента BEAM3 без промежуточных узлов (KEYOPT(9) = 0).

Формирование таблицы результатов:

через GUI: General Postprocessor → Element Table → Define Table → Add,
в поле Lab User label for item вводим имя результата (**name**), например Q,
(имя - не более 8 символов),
в строке Item, Comp Result data item выбираем:
в левом поле – By sequence num;
в правом поле – метку Item, идентифицирующую эту величину;
(например, для внутренних силовых факторов это smisc);
ниже в строке вводим: Item, I → Apply, (например, smisc, 2 → Apply),
Item, J → OK (например, smisc, 8 → OK).

Command: etable,**nameI**,Item,**I** (например, etable,QI,smisc,2),
etable,**nameJ**,Item,**J** (например, etable,QJ,smisc,8).

Значения из сформированной таблицы можно вывести:

- в табличной форме:

GUI: General Postprocessor → Element Table → List Element Table,
Command: pretab,**nameI**,Item,**I**, (например, pretab,QI,smisc,2),
pretab,**nameJ**,Item,**J**, (например, pretab,QJ,smisc,8);

- в графической форме (в виде эпюры):

GUI: General Postprocessor → Element Table → Plot Element Table,
Command: plls,**nameI**,**nameJ**,m (m – масштаб изображения),
например, plls,QI,QJ,-2.5
plls,QI,QJ (здесь m = 1)

Метка Item и значения I и J выбираются в зависимости от разновидности результатов (продольная сила, поперечная сила, изгибающий момент, крутящий момент, нормальное напряжение, изгибная деформация, температурная деформация и др.) и от используемого конечного элемента. Ниже приводятся таблицы 3-6, составленные на основе [1, 5] и материалов Help ANSYS 11.0, облегчающие работу по заполнению полей Item, I и J. Однако, при работе с этими таблицами (как и с таблицами из ANSYS Help) следует учитывать, что вывод результатов выполняется в системе координат элемента. Направления продольных осей (X) элементов одинаковы (от узла I к узлу J), а направления осей Y и Z совпадают не для всех типов элементов. Поэтому, например, для балки, изображенной на рис. 1а, при создании её конечно-элементной модели на основе элементов BEAM3, BEAM4, BEAM44 или BEAM54 (K9 = 0) для вывода эпюры поперечной силы принимаются значения I = 2, J = 8, указанные в таблице 3 для «поперечной силы FY» (рис. 1б), а если балка была построена на основе элементов BEAM188 или BEAM189 – значения I = 5 и J = 18, указанные в таблице 3 для «поперечной силы FZ» (рис. 1в).

Таблица 3

Значения E, I и J и метки Item, соответствующие стержневым и балочным конечным элементам, для формирования таблицы результатов для внутренних силовых факторов (X, Y, Z – в системе координат элемента)

Внутренний силовой фактор	Конечный элемент			E	I	J	Внутренний силовой фактор	Конечный элемент			I	J		
	BEAM3	BEAM4	BEAM44					BEAM54	BEAM3	BEAM4			BEAM44	BEAM54
Продольная сила FX	LINK1, LINK8, LINK10			1			Изгибающий момент MZ							
				0	1	7					0	6	12	
Метка - smisc	KEYOPT(9)	BEAM3			1	13	Метка - smisc	KEYOPT(9)	BEAM3			1	6	18
		BEAM4			3	25			BEAM4			3	6	30
		BEAM44			5	37			BEAM44			5	6	42
		BEAM54			7	49			BEAM54			7	6	54
					9	61						9	6	66
		BEAM188, BEAM189			-	1	14			BEAM188, BEAM189			3	16

Продолжение таблицы 3

Поперечная сила FY	BEAM3 BEAM4 BEAM44 BEAM54	KEYOPT(9)	0	-	2	8	Крутящий момент MX	BEAM4 BEAM44	KEYOPT(9)	0	4	10
			1	-	2	14				1	4	16
			3	-	2	26				3	4	28
			5	-	2	38				5	4	40
			7	-	2	50				7	4	52
			9	-	2	62				9	4	64
Метка - smisc	BEAM188, BEAM189		-	6	19	BEAM188, BEAM189		4	17			
Поперечная сила FZ	BEAM4 BEAM44	KEYOPT(9)	0	-	3	9	Изгибающий момент MY	BEAM4 BEAM44	KEYOPT(9)	0	5	11
			1	-	3	15				1	5	17
			3	-	3	27				3	5	29
			5	-	3	39				5	5	41
			7	-	3	51				7	5	53
			9	-	3	63				9	5	65
Метка - smisc	BEAM188, BEAM189		-	5	18	BEAM188, BEAM189		2	15			

Таблица 4

Значения E, I и J и метки Item, соответствующие конечным элементам LINK1, LINK8, LINK10, BEAM3, BEAM4, BEAM44, BEAM54, для формирования таблицы результатов для продольных деформаций и нормальных напряжений

Конечный элемент		Начальная продольная деформация Метка - lepth			Упругая продольная деформация: метка lepel		
		E	I	J	Нормальное напряжение: метка ls		
		Метка - lepth			Температурная продольная деформация: lepth		
		E	I	J	E	I	J
LINK1, LINK8, LINK10		3	-	-	1	-	-
BEAM3 BEAM54	KEYOPT(9)	0	7	-	-	1	4
		1	10	-	-	1	7
		3	16	-	-	1	13
		5	22	-	-	1	19
		7	28	-	-	1	25
BEAM4 BEAM44	KEYOPT(9)	0	11	-	-	1	6
		1	16	-	-	1	11
		3	26	-	-	1	21
		5	36	-	-	1	31
		7	46	-	-	1	41
		9	56	-	-	1	51

Таблица 5

Значения I, J и метки Item, соответствующие конечным элементам BEAM3, BEAM4, BEAM44, BEAM54, для формирования таблицы результатов для изгибных напряжений и деформаций (X, Y, Z – в системе координат элемента)

Описание	Метка	Конечный элемент		I	J	Описание	Метка	Конечный элемент		I	J		
Изгибное напряжение на волокне балки +Y	ls	BEAM3 BEAM54	KEYOPT(9)	0	2	5	Изгибное напряжение на волокне балки -Y	ls	BEAM3 BEAM54	KEYOPT(9)	0	3	6
				1	2	8					1	3	9
				3	2	14					3	3	15
				5	2	20					5	3	21
				7	2	26					7	3	27
Изгибная упругая деформация на волокне балки +Y	lepel	BEAM4 BEAM44	KEYOPT(9)	9	2	32	Изгибная упругая деформация на волокне балки -Y	lepel	BEAM4 BEAM44	KEYOPT(9)	9	3	33
				0	2	7					0	3	8
				1	2	12					1	3	13
Изгибная температурная деформация на волокне балки +Y	lepth	BEAM4 BEAM44	KEYOPT(9)	3	2	22	Изгибная температурная деформация на волокне балки -Y	lepth	BEAM4 BEAM44	KEYOPT(9)	3	3	23
				5	2	32					5	3	33
				7	2	42					7	3	43
				9	2	52					9	3	53

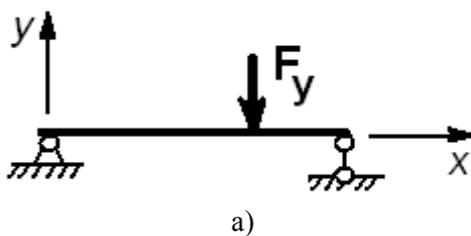
Продолжение таблицы 5

Изгибное напряжение на волокне балки +Z	Is	BEAM4 BEAM44	KEYOPT(9)	0	4	9	Изгибное напряжение на волокне балки -Z	Is	BEAM4 BEAM44	KEYOPT(9)	0	5	10
				1	4	14					1	5	15
				3	4	24					3	5	25
				5	4	34					5	5	35
				7	4	44					7	5	45
Изгибная упругая деформация на волокне балки +Z	lepel	BEAM4 BEAM44	KEYOPT(9)	9	4	54	Изгибная упругая деформация на волокне балки -Z	lepel	BEAM4 BEAM44	KEYOPT(9)	9	5	55
				0	1	3					0	2	4
				1	1	5					1	2	6
Изгибная температурная деформация на волокне балки +Z	lepth	BEAM4 BEAM44	KEYOPT(9)	3	1	9	Изгибная температурная деформация на волокне балки -Z	lepth	BEAM4 BEAM44	KEYOPT(9)	3	2	10
				5	1	13					5	2	14
				7	1	17					7	2	18
				9	1	21					9	2	22
				0	1	3					0	2	4
Максимальное напряжение	nmisc	BEAM3 BEAM4 BEAM44 BEAM54	KEYOPT(9)	1	1	5	Минимальное напряжение	nmisc	BEAM3 BEAM4 BEAM44 BEAM54	KEYOPT(9)	1	2	6
				3	1	9					3	2	10
				5	1	13					5	2	14
				7	1	17					7	2	18
				9	1	21					9	2	22

Таблица 6

Значения I, J и метки Item, соответствующие элементам BEAM188, BEAM189, для формирования таблицы результатов для деформаций и напряжений

Описание	Метка	I	J
Упругая продольная деформация	smisc	7	20
	smisc	41	46
Напряжение растяжения-сжатия	smisc	31	36
Изгибное напряжение на волокне балки +Y	smisc	32	37
Изгибное напряжение на волокне балки -Y	smisc	33	38
Изгибное напряжение на волокне балки +Z	smisc	34	39
Изгибное напряжение на волокне балки -Z	smisc	35	40
Изгибная упругая деформация на волокне балки +Y	smisc	42	47
Изгибная упругая деформация на волокне балки -Y	smisc	43	48
Изгибная упругая деформация на волокне балки +Z	smisc	44	49
Изгибная упругая деформация на волокне балки -Z	smisc	45	50



BEAM3, BEAM4
BEAM44, BEAM54
(K9 = 0)
etable,qi,smisc,2
etable,qi,smisc,8
p1ls,qi,qj

б)

BEAM188
BEAM189
etable,qi,smisc,5
etable,qi,smisc,18
p1ls,qi,qj

в)

Рис. 1 – Расчетная схема балки (а) и последовательности команд для вывода эпюры поперечной силы (б, в)

Для стержневых элементов, а также при выводе значений начальной продольной деформации балочных элементов, вместо значений I и J используется одно значение - E. Например, команды для вывода эпюр нормальных напряжений в стержнях фермы, смоделированной элементами LINK1, следующие:

```
etable,sigmai,ls,1
etable,sigmaj,ls,1
p1ls,sigmai,sigmaj
```

4. Особенности графического представления результатов расчета. На внешний вид эпюры, получаемой посредством ANSYS, влияют не только настройки, используемые непосредственно для вывода изображения (абсолютная величина и знак масштабного коэффициента), но и

способ задания распределенной нагрузки (Force On Nodes или Pressure On Beams), порядок соединения соседних ключевых точек при построении геометрической модели конструкции, использование булевых операций (например, Divide Line by Line), а для некоторых конечных элементов (BEAM188 и BEAM189) – и их настройки.

При приложении распределенной нагрузки на балку как «On Nodes» (на узлы) эпюра Q, естественно, получается ступенчатой, а эпюра M очерчена вместо параболы ломаной линией. Если же распределенную нагрузку приложить «на балку» (On Beams), эпюра Q будет изображена правильно (линейной, а не ступенчатой), а эпюры изгибающих моментов, также полученные по команде plls, будут показаны неверно (они будут изображены линейными, а не квадратичными), и даже использование максимального количества промежуточных узлов (девяти) не даст их уточнения [5]. Другой способ изображения результатов, который в данном случае даст верную картину, рассмотрен на примере в [5] (представление результатов не в виде эпюр, а в виде графиков).

Однако, при использовании конечных элементов BEAM188 и BEAM189 даже при задании распределенной нагрузки «на балку» эпюры могут изображаться ступенчато. Это зависит от настройки признака KEYOPT(3) (Preprocessor → Element Type → Add/Edit/Delete → [BEAM188] → Options → Element behavior K3) [1].

В учебных пособиях [5-8] рассматриваются примеры расчета в ANSYS балок и плоских рам и ферм. Поскольку порядок соединения линиями ключевых точек при построении геометрических моделей стержневых и балочных конструкций на числовой конечный результат не влияет, его в литературе и не оговаривают (для сравнения, при построении геометрических моделей для гидравлических расчетов в ANSYS

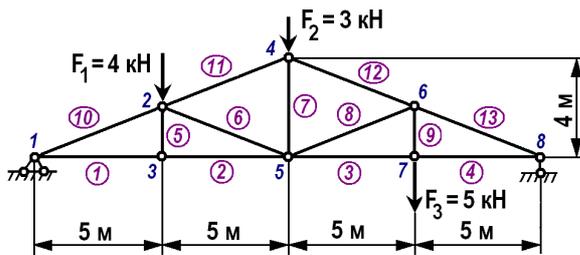


Рис. 2 – Расчетная схема фермы

направление соединения соседних ключевых точек при построении линий обязательно должно соответствовать направлению потока). Однако, как видно из рассмотренного ниже примера (рис. 2), порядок соединения соседних ключевых точек при создании геометрической модели влияет на формирование изображения при выводе результатов расчета в графическом виде.

Эпюры продольных сил, приведенные на рис. 3а, 3б и 4в, получены для одной и той же расчетной схемы, показанной на рис. 2. Интерпретация таких результатов, представленных в виде цветного изображения, не составляет труда: синий, голубой и зелёный цвета здесь указывают на сжатие (стержни 6, 8, 10, 11, 12, 13), желтый и красный – на растяжение (стержни 1, 2, 3, 4, 7, 9). Однако, если в печатном виде изображение будет монохромным, а не цветным, произвольное соединение ключевых точек линиями при построении геометрической модели (рис. 3б, 4в) может затруднять интерпретацию результатов расчета, представленных в графическом виде (в виде эпюры продольных сил или эпюры нормальных напряжений).

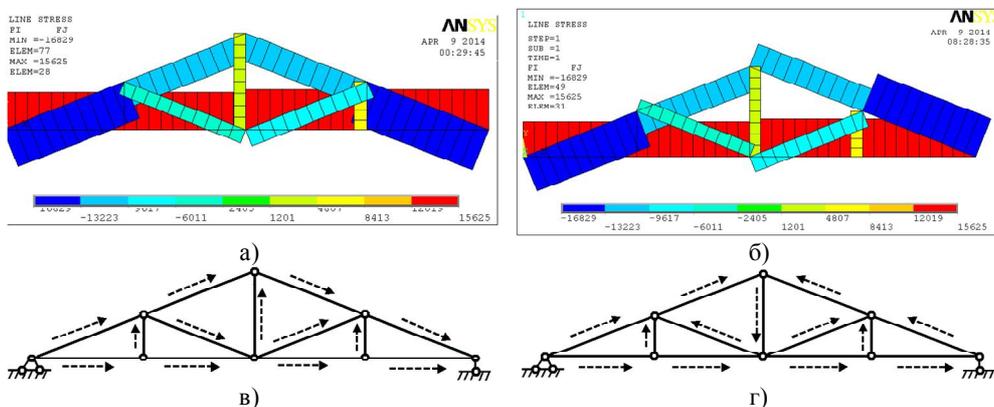


Рис. 3 – Эпюры продольных сил в стержнях фермы (а, б) и направления указания начальной и конечной точки линии при построении геометрической модели фермы (в, г)

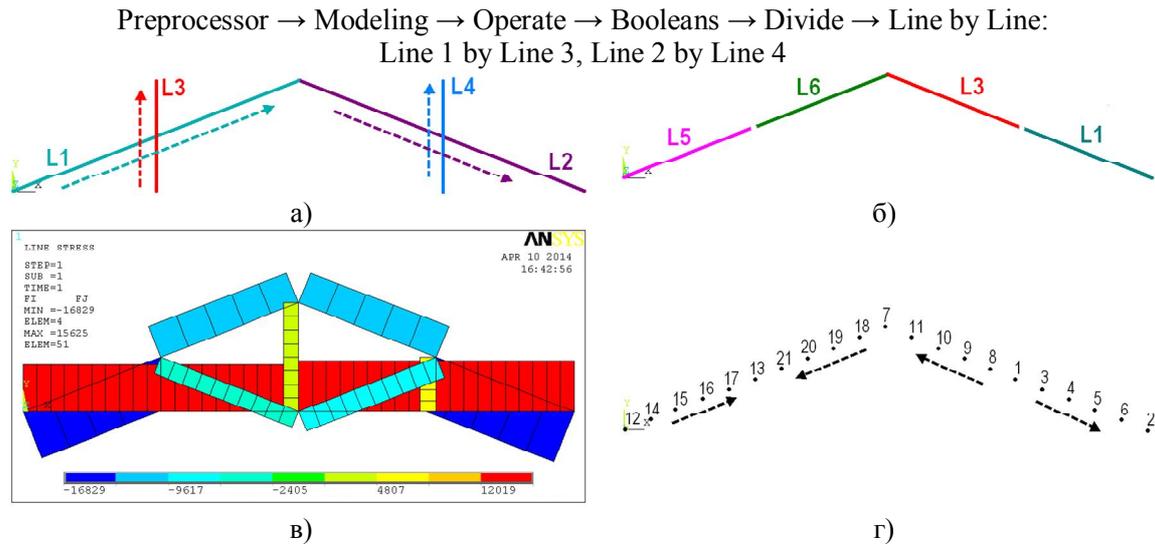


Рис. 4 – Влияние использования булевой операции (деления линии линией) на формирование изображения результатов расчета

На рис. 4 показано, что использование булевых операций при построении геометрической модели стержневой или балочной конструкции (в данном примере – использование операции Divide → Line by Line) также влияет на изображение результатов из-за особенностей автоматической нумерации узлов (рис. 4г). Для исключения возможного излома эпюры (такого, как показан на рис. 4в) рекомендуется оставлять лишь самую ключевую точку, полученную в результате операции деления линии и соединять её с соседними ключевыми точками вручную.

Выводы

1. В статье показаны особенности вывода в графической форме результатов расчета стержневых и балочных конструкций, выполненного в ANSYS.
2. Справочная информация, необходимая для вывода результатов расчета, в статье приведена в виде, адаптированном для непосредственного использования в работе.
3. Даны пояснения по заполнению поля SHEAR для построения конечно-элементной модели балки.

Список использованных источников:

1. Басов К.А. ANSYS: справочник пользователя / К.А. Басов. – М. : ДМК Пресс, 2005. – 640 с.
2. Чигарев А.В. ANSYS для инженеров: Справ. Пособие / А.В. Чигарев, А.С. Кравчук, А.Ф. Смалюк. – М. : Машиностроение-1, 2004. – 512 с.
3. Басов К.А. Графический интерфейс комплекса ANSYS / К.А. Басов. – М. : ДМК Пресс, 2006. – 248 с.
4. Madenci E. The Finite Element Method and Applications in Engineering Using ANSYS / E. Madenci, I. Guven. – Springer Science+Business Media, LLC, 2006. – 686 p.
5. Каплун А.Б. ANSYS в руках инженера: Практическое руководство / А.Б. Каплун, Е.М. Морозов, М.А. Олферьева. – М. : Едиториал УРСС, 2003. – 272 с.
6. Наседкин А.В. Конечно-элементное моделирование на основе ANSYS / А.В. Наседкин. – Ростов-на-Дону: УПИ РГУ, 1998. – 44 с.
7. Жидков А.В. Применение системы ANSYS к решению задач геометрического и конечно-элементного моделирования / А.В. Жидков. – Нижний Новгород, 2006. – 115 с.
8. Шимановский А.О. Применение метода конечных элементов в решении задач прикладной механики / А.О. Шимановский, А.В. Путьято. – Гомель : БелГУТ, 2008. – 61 с.
9. Справочник по сопротивлению материалов / С.П. Фесик. – 2-е изд., перераб. и доп. – К. : Будівельник, 1982. – 280 с.
10. Биргер И.А. Сопротивление материалов / И.А. Биргер, Р.Р. Мавлютов. – М. : Наука, 1986. – 560 с.

Bibliography:

1. Basov K.A. ANSYS: User`s reference book / K.A. Basov. – Moscow : DMK Press, 2005. – 640 p. (Rus.)
2. Chigarev A.V. ANSYS for engineers: Text-book / A.V. Chigarev, A.S. Kravchuk, A.F. Smalyuk. – Moscow : Mashinostroeniye-1, 2004. – 512 p. (Rus.)
3. Basov K.A. ANSYS graphic iterfase / K.A. Basov. – Moscow : DMK Press, 2006. –248 p. (Rus.)
4. Madenci E. The Finite Element Method and Applications in Engineering Using ANSYS / E. Madenci, I. Guven. – Springer Science+Business Media, LLC, 2006. – 686 p.
5. Kaplun A.B. ANSYS in engineer`s hands: Practical guidance / A.B. Kaplun, E.M. Morozov, M.A. Olferyeva. – Moscow : Yeditorial URSS, 2003. – 272 p. (Rus.)
6. Nasedkin A.V. ANSYS-based finite element modeling / A.V Nasedkin. – Rostov-on-Don : UPL RGU, 1998. – 44 p. (Rus.)
7. Zhidkov A.V. Application of ANSYS system for solving problems of geometry and finite-element modeling / A.V. Zhidkov. – Nizhniy Novgorod, 2006. – 115 p. (Rus.)
8. Shimanovskiy A.O. Use of finite elements method for analysis of appliance mechanics problems / A.O. Shimanovskiy, A.V Putyato. – Gomel : BelGUT, 2008. – 61 p. (Rus.)
9. Reference book on strength of materials / S.P. Fesik – 2d ed., rev. and suppl. – Kiyev : Budivelnic, 1982. – 280 p. (Rus.)
10. Birger I.A. Strength of materials / I.A. Birger, R.R. Mavlyutov. – Moscow : Nauka, 1986. – 560 p. (Rus.)

Рецензент: А.А. Ищенко
д-р техн. наук, проф., ГВУЗ «ПГТУ»

Статья поступила 27.05.2015

УДК 531 (09)

© Карлікова Я.П.*

МЕХАНІЦИЗМ ЯК НАСЛІДОК РОЗВИТКУ МЕХАНІКИ XVII СТОЛІТТЯ

Виконано аналіз особливостей історичного розвитку суспільства XVII століття, наукових відкриттів у галузі механіки. Досліджено внесок Рене Декарта та Ісаака Ньютона у формування класичної механіки. Показано, що затвердження наукових знань відбувалося в гострій боротьбі зі схоластикою, зі старими підходами бачення світу, відмови від положень Аристотеля. Проаналізовані погляди засновників механіцизму, їх наукова картина світу. Зроблено висновок, що сприйняття оточуючого світу з позицій механіцизму було закономірним явищем для даного етапу розвитку наукової думки.

Ключові слова: механіка, наукова революція, механіцизм, дедуктивний метод, індуктивний метод, гіпотеза.

Карлікова Я.П. Механицизм как следствие развития механики XVII века. Выполнен анализ особенностей исторического развития общества XVII в., научных открытий в области механики. Исследован вклад Рене Декарта и Исаака Ньютона в формировании классической механики. Показано, что утверждение научных знаний происходило в острой борьбе со схоластикой, со старыми подходами видения мира, отхода от положений Аристотеля. Проанализированы взгляды основоположников механицизма, их научная картина мира. Сделан вывод, что восприятие окружающего мира с позиций механицизма было закономерным явлением для данного этапа развития научной мысли.

* канд. техн. наук, доцент, ДВНЗ «Приазовський державний технічний університет», м. Маріуполь, karlikova_y_p@pstu.edu