

*старший преподаватель кафедры «АТПиП»*

*ПГУ им.Т.Г. Шевченко, Рыбницкий филиал*

*г. Рыбница, Приднестровская Молдавская республика*

## **АВТОМАТИЗАЦИЯ ИНЖЕНЕРНЫХ РАСЧЁТОВ**

*Автоматизация касается не только процессов управления машинами и другими сложными техническими объектами, и комплексами. Автоматизировать можно также методы инженерных расчетов при проектировании машин, предприятий и сложных автоматизированных технологических комплексов. Можно также автоматизировать любые сложные вычисления, связанные с решением системы алгебраических и дифференциальных уравнений при проведении проектных и научно-исследовательских работ.*

*В последнее время в связи с бурным ростом вычислительной техники всё большее распространение вместо аналитических методов решения приобретают методы численного решения дифференциальных уравнений, и в том числе уравнений, описывающих процессы в САР и САУ.*

*Ключевые слова: автоматизация, расчёты формулы, алгоритм, эмуляция.*

*Tsvinkaylo P.S.*

*senior lecturer of the department "ATPiP"*

*PSU named after T.G. Shevchenko, Rybnitsa branch*

*Rybnitsa, Pridnestrovian Moldavian Republic*

## **AUTOMATION OF ENGINEERING CALCULATIONS**

*Automation concerns not only the processes of controlling machines and other complex technical objects and complexes. It is also possible to automate the methods of engineering calculations in the design of machines, enterprises and complex automated technological complexes. You can also automate any complex calculations related to the solution of a system of algebraic and differential equations during design and research work*

*Recently, due to the rapid growth of computer technology, instead of analytical methods of solution, methods for the numerical solution of differential equations, including equations describing processes in ACS and ACS, are becoming more widespread.*

*Keywords: automation, formula calculations, algorithm, emulation*

Эмуляция – «Emulation», имитация функционирования одного устройства посредством другого устройства или устройств вычислительной машины, при которой имитирующее устройство воспринимает те же данные, выполняет ту же программу и достигает того же

Справочник позволяет в автоматизированном режиме:

- строить эпюры продольных сил  $N(z)$  и перемещений  $W(z)$ ;
- рассматривать стержни постоянного, ступенчатого, переменного, в том числе заданного графически сечения;
- загружать стержни как постоянными и переменными, распределенными по заданному закону нагрузками;
- рассматривать стержни с упругими опорами и решать задачи растяжения-сжатия стержней в упругой среде;
- выполнять проверочные и проектные расчеты, подбирать сечения по условиям прочности или жесткости.

### Размещение эмулятора в книге Excel

Для создания эмулятора используем язык программирования Visual Basic for Application (VBA), так как в Excel уже встроена специальный редактор для создания программ в Excel.

1. Запускаем Excel.
2. Выполняем блиц-команду (зажимаем две клавиши) «Alt» и «F11».

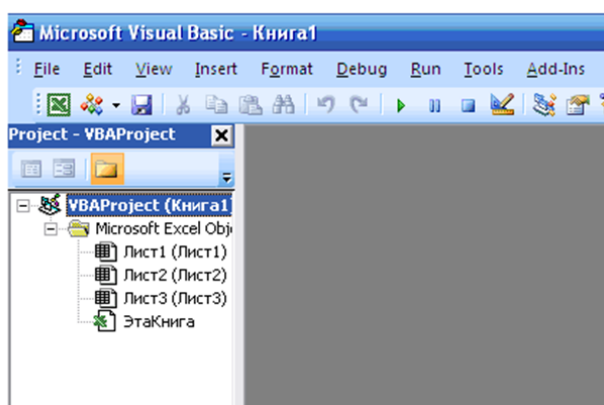


Рисунок 1. Окно создания документа «Наш шаблон»

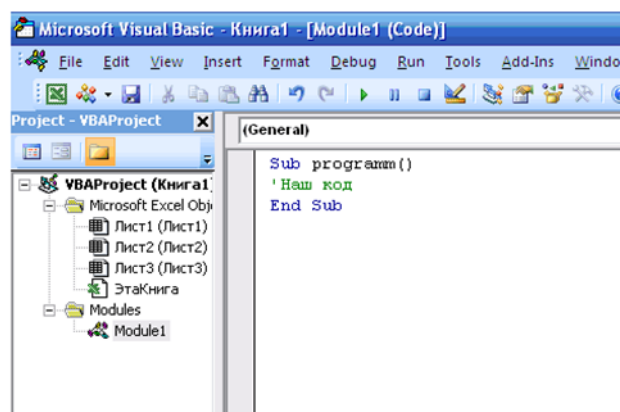


Рисунок.2. Этап создания шаблона

3. Создаём шаблон и сохраняем его.
4. После чего записываем три строчки, при этом строчка, которая начинается с апострофа, является комментарием. Слово «Sub» указывает на начало программы, «program ()» - название программы, которое можно изменить, например на «Макрос ()».

Шаблон представляет собой лист книги Excel.

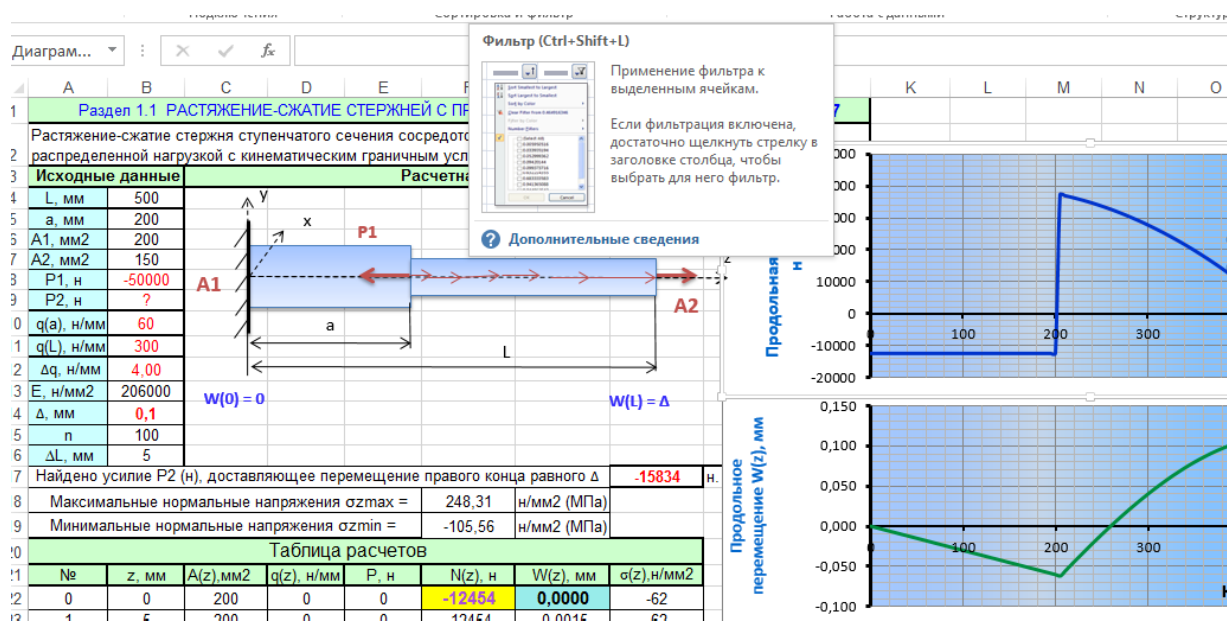


Рисунок.3. Панель инструментов

Формулы прописываются с помощью языка программирования Visual Basic, или встроенных функций электронных таблиц Excel.

Шаблон состоит из полей «Исходные данные», «Расчётная схема» и «Таблица расчётов».

Также в шаблоне имеются поля построения диаграмм продольных сил, продольных перемещений, диаграммы площади поперечного сечения и нормальных напряжений.

В поле «Исходные данные» размещены размеры бруса (L), длина участков – a, сечения участков–A1, A2 ...Ai, активные продольные силы – P, распределенная нагрузка q, модуль упругости E.

### Постановка задачи и ввод исходных данных

Зададим условия исследования «Растяжение-сжатие стержня ступенчатого сечения сосредоточенной силой и переменной по линейному закону распределенной нагрузкой с кинематическим граничным условием».

Дано: двухсоставной стальной стержень, имеющий геометрические координаты L=500 мм и a=200 мм; площади поперечного сечения A<sub>1</sub>=250 мм<sup>2</sup>, и A<sub>2</sub>=200 мм<sup>2</sup>; модуль упругости E; продольная сила P<sub>1</sub>=8000 Н.

Необходимо определить силу P<sub>2</sub>, которая вызовет перемещения стержня W(l) на Δ =0,1 мм.

Для решения задач с использованием предлагаемого эмулятора необходимо составить расчётную схему, выполнить её можно в любом графическом редакторе (в данной работе расчётная схема или математическая модель) выполнена в программе Sketch up – построения исследовательские.

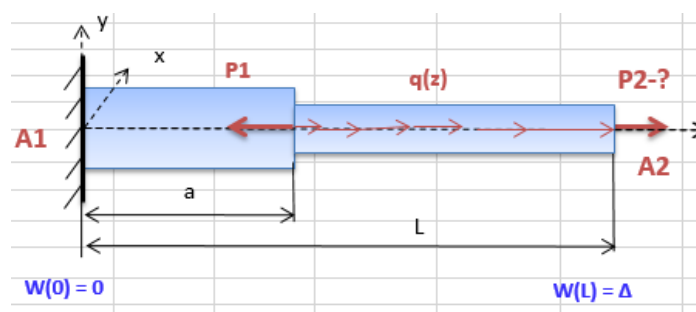


Рисунок 4. Расчётная схема.

Таблица 1

### Условные обозначения

Наименование	Обозначение	Ед. изм.
Длина стержня	L	мм
Сосредоточенная сила	P	Н, кН
Распределенная нагрузка, изменяющаяся в общем случае по определенному закону	$q(z)$	Н/мм
Текущая координата поперечного сечения	z	мм
Нормальная (продольная сила) в поперечном сечении z, (равнодействующая поперечных сил в сечении): $N(z) = \sigma(z) \times A(z)$ ; N, $\sigma > 0$ - стержень растянут, N, $\sigma < 0$ - стержень сжат.	Nz	Н, кН
Площадь поперечного сечения	Az	мм <sup>2</sup>
Нормальное напряжение в точках поперечного сечения, при растяжении–сжатии $\sigma(z) = N(z) / A(z)$ .	$\sigma(z)$ ,	Н/мм <sup>2</sup> МПа
Продольное перемещение поперечного сечения с координатой z;	W(z)	мм
Относительное удлинение (линейная деформация) точек поперечного сечения z;	$\varepsilon z(z)$	
Модуль упругости материала стержня	E	МПа
Расчетное сопротивление, допускаемые нормальные напряжения материала стержня	$R_y, [\sigma_p], [\sigma_{сж}]$ ,	Н/мм <sup>2</sup>
Допускаемое продольное перемещение.	W	мм <sup>2</sup>

Таблица 2

### Математические зависимости

Наименование	Обозначение	Ед. изм.
Уравнение равновесия элемента стержня, выделенного двумя сечениями на бесконечно малом расстоянии dz	$dN = \pm q \times dz \pm P$	мм
Геометрическое соотношение (формула Коши)	$\varepsilon(z) = dW / dz$	
Физическое соотношение (закон Гука):	$\varepsilon(z) = \sigma(z) / E$ ;	
Зависимость между продольными силами и перемещениями		
В дифференциальном виде	$N' = -q, W' = N/EA$	Н

	$dN = -q(z) \times dz - P,$ $dW/dz = N(z) / EA(z)$	Н
$W[z(i+1)] = W[z(i)] + N[z(i)] \times \Delta L / (E \times A[z(i)]),$		
Шаг разбиения длины стержня при численном интегрировании	$\Delta L$	мм
Граничные условия, промежуточные упругие опоры, упругая среда		
Свободный конец	$N(z=0) = 0$ $N(z=L) = 0$	Н
Жестко закрепленный конец	$W(z=0) = 0$ $W(z=L) = 0$	Н
Упруго закрепленный конец	$N(z=0) = W(z=0) / \delta = W(z=0) \times c;$ $N(z=L) = -W(z=L) / \delta = -W(z=L) \times c$	
Упругая промежуточная опора в сечении, $z = d$	$N(d+\Delta L) = N(d) + W(d) / \delta = N(d) + W(d) \times c$	
Упругая промежуточная опора в сечении $z = d$ может моделироваться внешней нагрузкой	$P(d) = -W(d) \times c$	
Податливость опоры	$\delta$	мм/Н
Жесткость опоры	$1/\delta$	н/мм
Упругая среда может моделироваться наличием внешней распределенной нагрузки	$q(z) = -W(z) \times \beta$	
Заданная податливость среды	$\beta$	(Н/мм)/мм
Расчет на прочность и жесткость		
Проверочный расчет: при заданных нагрузках, размерах и материале стержня проверить		
Условия прочности	$\sigma(z)_{\max} \leq [\sigma] (R_y),$	Н/мм <sup>2</sup>
Условия жесткости	$W_{\max} \leq [W].$	Н

## Моделирование исследовательского решения

Задачу предлагается решить в два этапа

Ввести исходные данные указанные в условии.

B12		: X ✓ fx		=(B11-B10)/((B4-B5)/B16)	
A	B	C	D	E	F
1	Раздел 1.1 РАСТЯЖЕНИЕ-СЖАТИЕ СТЕРЖНЕЙ С ПРЯМОЙ С				
2	Растяжение-сжатие стержня ступенчатого сечения сосредоточенной с				
3	распределенной нагрузкой с кинематическим граничным условием				
3	Исходные данные		Расчетная схема		
4	L, мм	500			
5	a, мм	200			
6	A1, мм <sup>2</sup>	200			
7	A2, мм <sup>2</sup>	150			
8	P1, н	-50000			
9	P2, н	?			
10	q(a), н/мм	60			
11	q(L), н/мм	120			
12	Δq, н/мм	1,00			
13	E, н/мм <sup>2</sup>	206000			
14	Δ, мм	0,1			
15	n	100			
16	ΔL, мм	5			

Рисунок 5. Ввод исходных данных

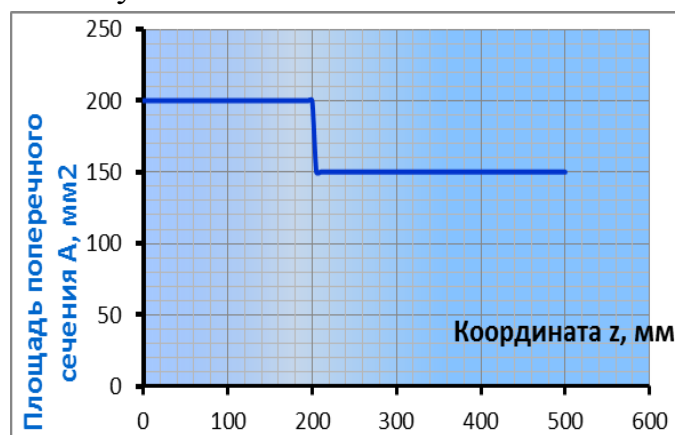


Рисунок.6. Диаграмма поперечного сечения

На первом этапе вводим допущение, что продольная нагрузка  $P_2$  и найдем реальное перемещение бруса

Формирование решения с помощью справочника:

- продольное перемещение в начале жестко закрепленного бруса  $W(0)=0$  (рис. 5), подтверждаем в ячейке G22, рис. 7;
- реакция в опоре не известна, поэтому ячейка Nz – лоббируемая (F22);



Рисунок 7. Продольное перемещение и реакция в опоре

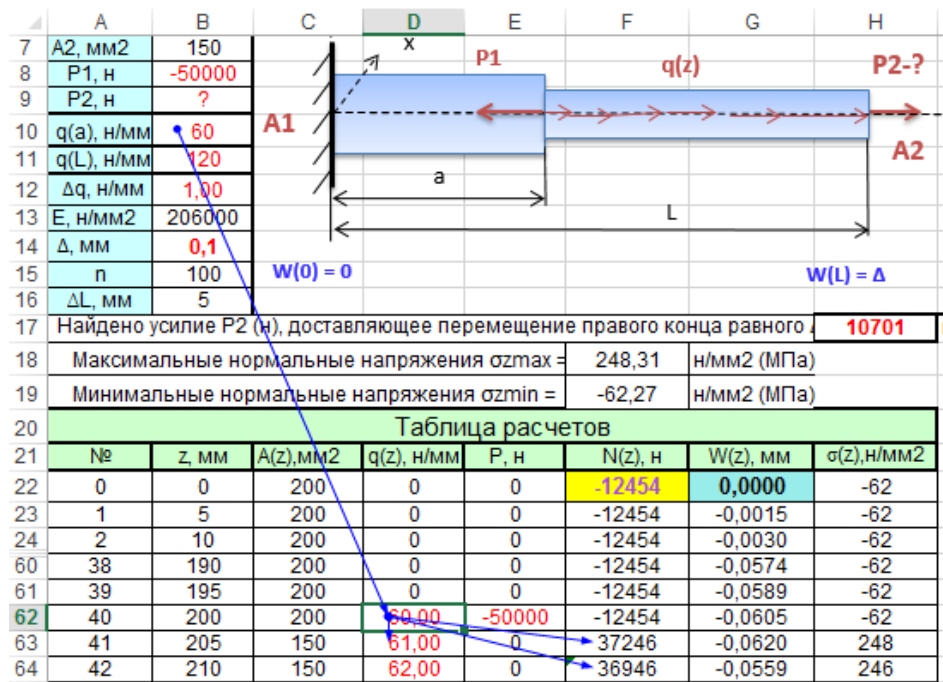


Рисунок 8. Распределение нагрузки по брусу

При вводе исходных данных построена диаграмма поперечного сечения рис. 6.

- заполняем данные электронной таблицы – на первом участке площадь поперечного сечения и на втором участке соответственно;

- на рисунке 8 через зависимые и влияющие ячейки видно рассредоточение распределенной нагрузки, начиная с принятой длины участка 200 мм (B10–D62), далее организовано приращение до значения = 120 Н×м;
- шаг дифференцирования  $n=100$  (B15);
- столбец F, начиная с F22 приращение реакции опоры, в зависимости от линейного размера бруса и действующих на него сил»
- Колонка q в таблице протянута до конца и в конце должна быть величина 120, соответствующая длине 500 мм.

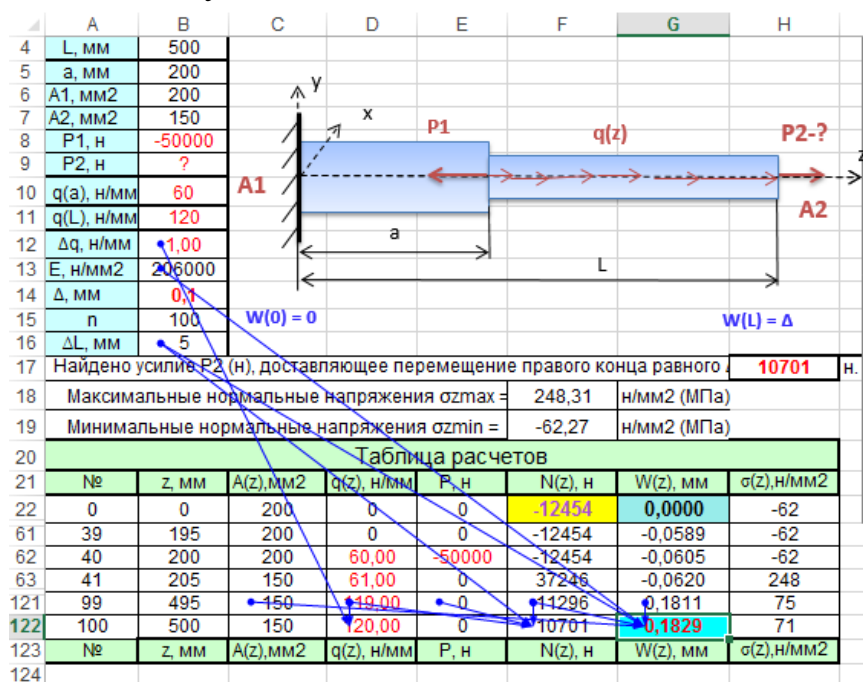


Рисунок. 9. Распределение нагрузки при  $P_2=0$

- Показываем сосредоточенные силы  $P_1$ (E62), которая приложена в конце первого стержня

### Формирование и поиск решения

При заданных условиях, что  $P_2$  равна нулю должны добиться того, чтобы в сила N на диаграмма равнялась 0.

Исходя из построенных диаграмм видно, что перемещение свободного конца составит  $-0,1$  мм.

Продольная сила на конце бруса, при длине его 500 мм будет равна 0

Ставим следующее условие: найти значение  $P_2$ , при  $\Delta=0,1$  мм (B14)

Необходимо записать значение  $P_2$  в колонку внешних нагрузок, учитывать, что продольная нагрузка учитывает значение предыдущей нагрузки.

Принимаемая нагрузка для дальнейшего расчёта может быть заложена в ячейку E120 (рис.11)

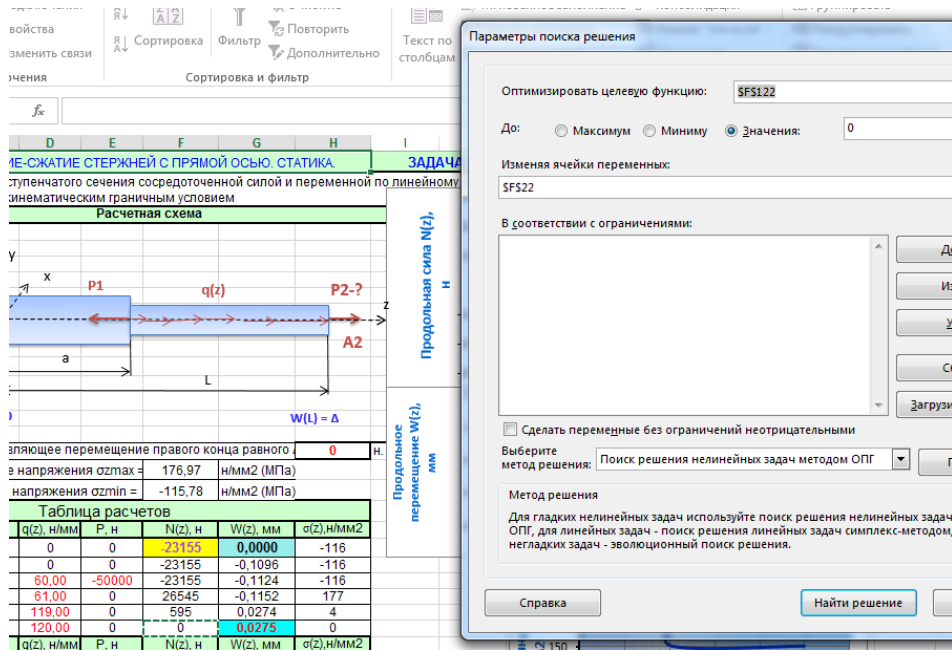


Рисунок 10. Параметры поиска решения

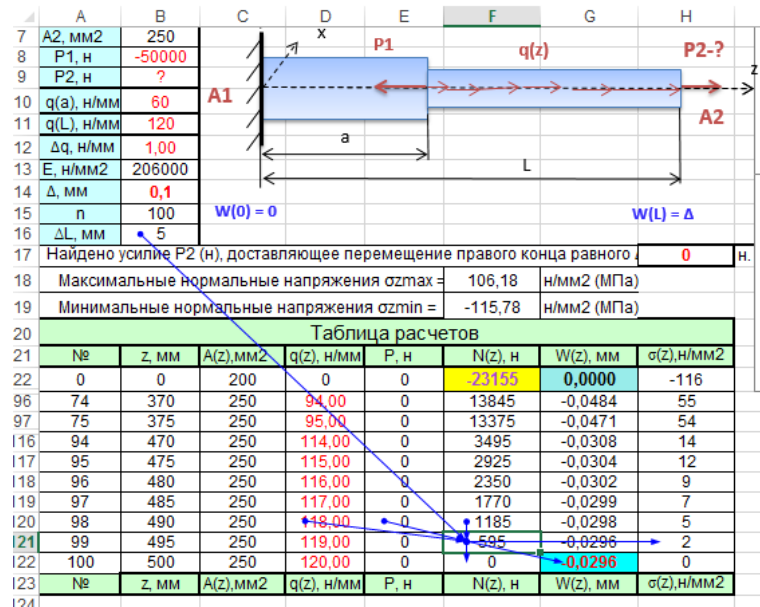


Рисунок 11. Учет предыдущей нагрузки.

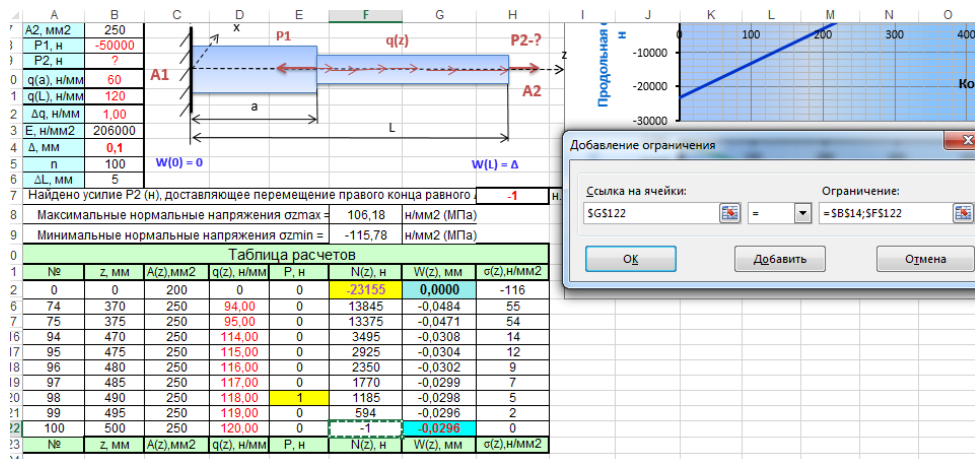


Рисунок 12. Нахождение силы  $P_2$  при  $\Delta=0,1$  мм



Активируем вкладку «Поиск решения».

Добавив все ограничения и ссылки соответственно на  $\$G\$122$ , задавая ограничения  $=\$B\$14; \$F\$122$

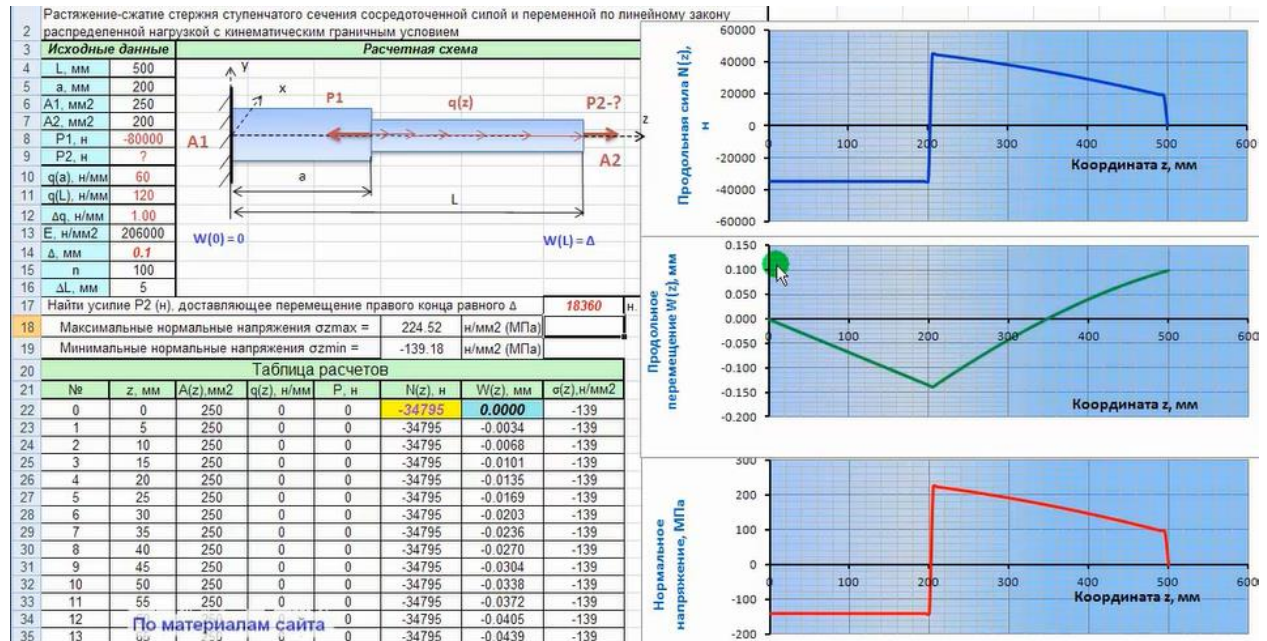


Рисунок. 13. Окончательное решение

Сумма продольных сил на конце бруса (диаграмма продольных перемещений) равна 0.

Перемещение на конце бруса (диаграмма перемещений) = 0,1 мм

Сила P<sub>2</sub> (N17) = 18360 Н.

Задача решена.

### Список использованной литературы

1. ГОСТ 2.001–2.759. ЕСКД, Единая система конструкторской документации. Изд.–Наука, 2002 г.

2. Александров А. В., Потапов В. Д., Державин Б. П. Сопротивление материалов. 7-е изд. – М.: Высшая школа, 2009. – 560 с.