

Применение ПК SCAD для построения линии влияния изгибающего момента

А.В. Савченко¹, К.И. Соловьева², Ж.С. Теплова³

ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский политехнический университет», 195251, Россия, Санкт-Петербург, ул. Политехническая, 29.

Информация о статье

Научная статья

УДК 624.04

История

Подана в редакцию 23 апреля 2014
Принята 9 июля 2014

Ключевые слова

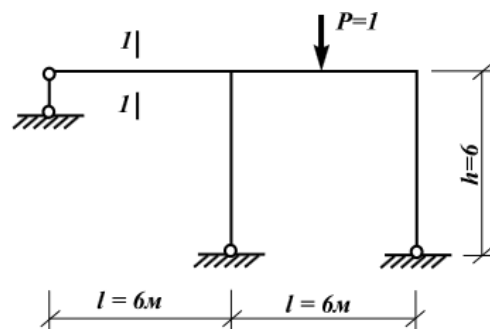
линия влияния,
изгибающий момент,
SCAD,
плоская рама,
статически-неопределимая рама,
деформации,
сравнение результатов

АННОТАЦИЯ

В статье рассматривается метод построения линии влияния изгибающих моментов в статически-неопределимой плоской раме с использованием ПК SCAD.

Метод заключается в построении расчетной схемы в ПК SCAD и сборе полученных значений перемещений в формулу. Результатом применения формулы является приведенная в статье линия влияния изгибающих моментов для подвижной нагрузки. Полученная линия влияния сравнивается с эпюрами изгибающих моментов, полученных в ПК SCAD.

Проводится анализ сходимости результатов расчетов. Делается вывод о целесообразности применения метода. В начале статьи приводится информация о линиях влияния, методах их построения и их значении в целом.



Содержание

1.	Введение	72
2.	Обзор литературы	72
3.	Цели и задачи	73
4.	Предлагаемая методика решения поставленной задачи	73
5.	Результаты расчета в SCAD	74
6.	Сравнение полученного результата со стандартными методами	76
7.	Оценка целесообразности применения метода	76

¹ Контактный автор:
+7(911) 115 3597, ya.int@yandex.ru (Савченко Алексей Владимирович, ассистент)
² +7(921) 390 9553, kristina_solovyeva@mail.ru (Соловьева Кристина Игоревна, студент)
³ +7 (921) 751 0309, zhanna-t@bk.ru (Теплова Жанна Сергеевна, студент)

1. Введение

Строительной механикой, в широком смысле, называется наука о методах расчета сооружений на прочность, жесткость и устойчивость. В начальный период своего развития она не была самостоятельной наукой, а сливалась с общей механикой. Самостоятельно как наука строительная механика стала успешно развиваться лишь в первой половине XIX в. в связи с начавшимся усиленным строительством мостов, железных дорог, плотин, судов и крупных промышленных сооружений. Отсутствие методов расчета таких сооружений не позволяло осуществлять достаточно легкие и одновременно надежные конструкции [1-27].

Одной из основных задач расчета конструкций на подвижную нагрузку является определение такого ее положения, при котором в отдельных элементах или их сечениях возникают наибольшие усилия. Это положение нагрузки называется невыгодным и определяется оно наиболее просто с помощью линий влияния. Линией влияния (л.в.) называется графическое изображение закона изменения какой-либо величины в зависимости от положения на сооружении единичного груза постоянного направления. Линия влияния строится в прямоугольной системе координат с осью абсцисс, перпендикулярной единичной силе. Абсцисса определяет положение груза на сооружении, а ордината — значение величины, закон изменения которой показывает линия влияния. При этом знак ординаты линии влияния соответствует знаку исследуемой величины. Размерность ординат линии влияния определяется частным от деления исследуемой величины на силу [1, 2, 4].

Для упрощения в инженерных расчетах вводится допущение о том, что подвижная нагрузка перемещается медленно, без ускорения и толчков, не меняя своей величины. Особенностью воздействия подвижной нагрузки является то, что усилия, напряжения и перемещения, вызываемые ею в элементах сооружений, являются переменными. Следовательно, чтобы запроектировать какой-либо элемент конструкции, необходимо знать самое невыгодное положение нагрузки, при котором в расчетном сечении элемента будут возникать наибольшие усилия. Нахождение этого положения путем подбора положения нагрузок при их большом разнообразии представляется весьма трудоемкой процедурой, даже с использованием ЭВМ. Для определения усилий от статической подвижной нагрузки используют в качестве своеобразного эталона единичный подвижный груз, перемещающийся по ездovому поясу сооружения. Под ездovым поясом понимают ту часть расчетной схемы, на которой действуют подвижные нагрузки. Для построения линий влияния применяют статический и кинематический способы.

Метод расчета сооружений на подвижную нагрузку с помощью линий влияния применим только для систем, для которых справедлив принцип независимости действия сил. Построив линию влияния какой-либо величины, можно, используя этот принцип, определить значение соответствующей величины от действия любого числа грузов и при любом их расположении. С помощью линий влияния можно также исследовать работу сооружения при действии на него подвижных нагрузок.

Возникает вопрос – возможно ли получить правильные линии влияния, применяя современные программные комплексы? Один из возможных методов применения ПК SCAD для решения данной задачи и будет рассмотрен в данной статье. Следует отметить следующее – используя сателлит “Кристалл” из пакета SCAD Office 11.5, мы имеем возможность построить линию влияния изгибающего момента для балки. В данной статье рассматривается возможность построения линии влияния с использованием ПК SCAD в статически неопределимой раме.

2. Обзор литературы

В стандартных учебниках по строительной механике излагаются только аналитические (статический и кинематический) способы построения линий влияния. Статический способ заключается в следующем:

1. Для ездovого пояса устанавливается система координат;
2. Единичный груз устанавливается в произвольное положение на ездovом поясе;
3. Считая груз неподвижным, определяют из уравнений равновесия искомую величину в виде функции с переменной x ;
4. Задавая значения x в пределах ездovого пояса, строят график, который и будет линией влияния.

Линии влияния можно строить и кинематическим способом, позволяющим легко изобразить модель линии, то есть линию влияния без ординат, при необходимости вычислить и ординаты. Кинематический способ основан на принципе возможных перемещений [7].

В зарубежной литературе встречаются упоминания о построении линий влияния только с использованием не сильно распространенных в нашей стране расчетных комплексов, таких как SOFiSTiK, SAP2000 и других [27]. Наиболее актуальна проблема построения линий влияния изгибающих моментов при расчете мостовых конструкций.

Вопросам автоматизации расчетов для построения линий влияния внимания практически не уделяется.

3. Цели и задачи

Целями данной статьи являются:

1. Построение конечно-элементной модели рассматриваемой рамы с использованием ПК SCAD;
2. Построение линии влияния предлагаемым методом;
3. Построение эпюры изгибающих моментов в ПК SCAD;
4. Сравнение полученных значений;
5. Оценка целесообразности применения метода.

4. Предлагаемая методика решения поставленной задачи

Вдоль ригеля двухпролетной одноэтажной рамы перемещается с малой скоростью постоянная вертикальная единичная сила P (рисунок 1). Ригель жестко сопряжен со средней и крайней правой стойками, которые имеют шарнирное опирание, и свободно оперт краем левого пролета. Требуется определить значения изгибающего момента в сечении середины левого пролета ригеля рамы 1-1 в зависимости от положения вертикальной силы и построить линию влияния.

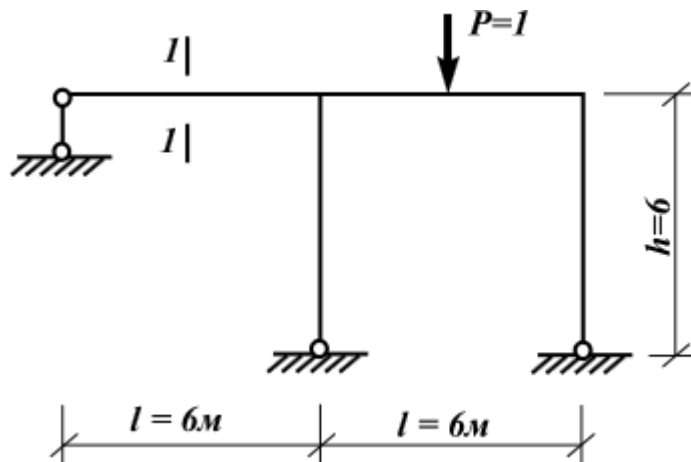


Рисунок 1. Схема конструкции

Исходные данные:

- | | |
|----------------------------------|---|
| $l = 6,0$ м | - длина ригелей рамы; |
| $h = 6,0$ м | - высота стоек рамы; |
| $EA = 1,0 \cdot 10^6$ кН | - продольная жесткость конструктивных элементов рамы; |
| $EI = 83,3333$ кН·м ² | - изгибная жесткость конструктивных элементов рамы; |
| $P = 1,0$ кН | - значение вертикальной единичной силы. |

Конечно-элементная модель. Расчетная схема – плоская рама (тип схемы 2), 24 элемента типа 2 библиотеки конечных элементов ПК SCAD (рисунок 2). Сетка конечных элементов разбита по длинам продольных осей конструктивных элементов (вдоль осей X_1 местных систем координат) с шагом 1.0 м. Обеспечение граничных условий достигается за счет наложения связей на опорные узлы стоек по направлениям степеней свободы X , Z и на опорный узел левого пролета ригеля по направлению степени свободы Z . Глобальная ось Z направлена вертикально вверх, ось X горизонтально слева направо [8, 11, 12].

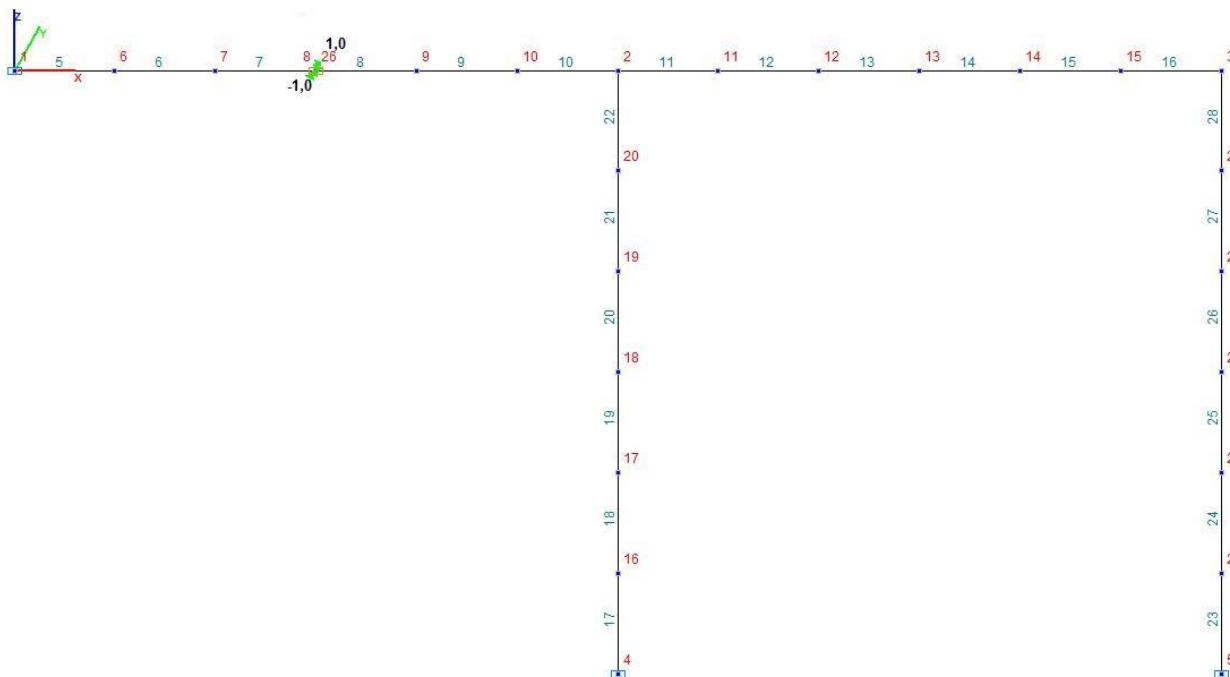


Рисунок 2. Расчетная схема

Задача решается следующим методом:

- производится разделение элементов середины левого пролета ригеля с образованием пары совпадающих узлов, каждый из которых принадлежит одному из этих смежных элементов (левый узел имеет номер 8, правый 26);
- для пары совпадающих узлов объединяются перемещения по всем степеням свободы, кроме угла поворота вокруг оси Y (U_y);
- к обоим узлам прикладываются единичные сосредоточенные противоположные по знаку изгибающие моменты $M_y = 1,0$ кН·м (рисунок 2).

Ордината линии влияния для узла с номером i определяется по формуле:

$$\frac{U_i}{(UY_{26} - UY_8)}$$

где U_i – вертикальное перемещение узла i (в метрах); UY_{26} – угол поворота узла с номером 26, UY_8 – угол поворота узла с номером 8 [9].

5. 5. Результаты расчета в SCAD

В результате расчета по предложенной выше формуле получена линия влияния, приведенная на рисунке 4. Деформация верхнего ригеля по форме совпадает с линией влияния изгибающих моментов для сечения 1-1 (рисунок 4).

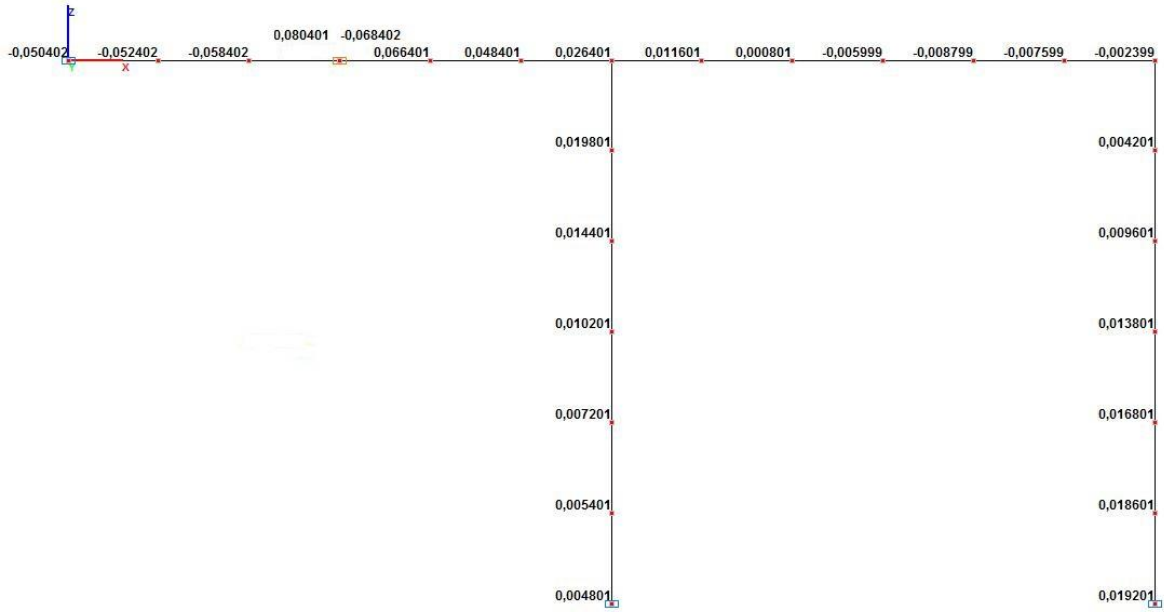


Рисунок 3. Значения углов поворота U_y (рад)

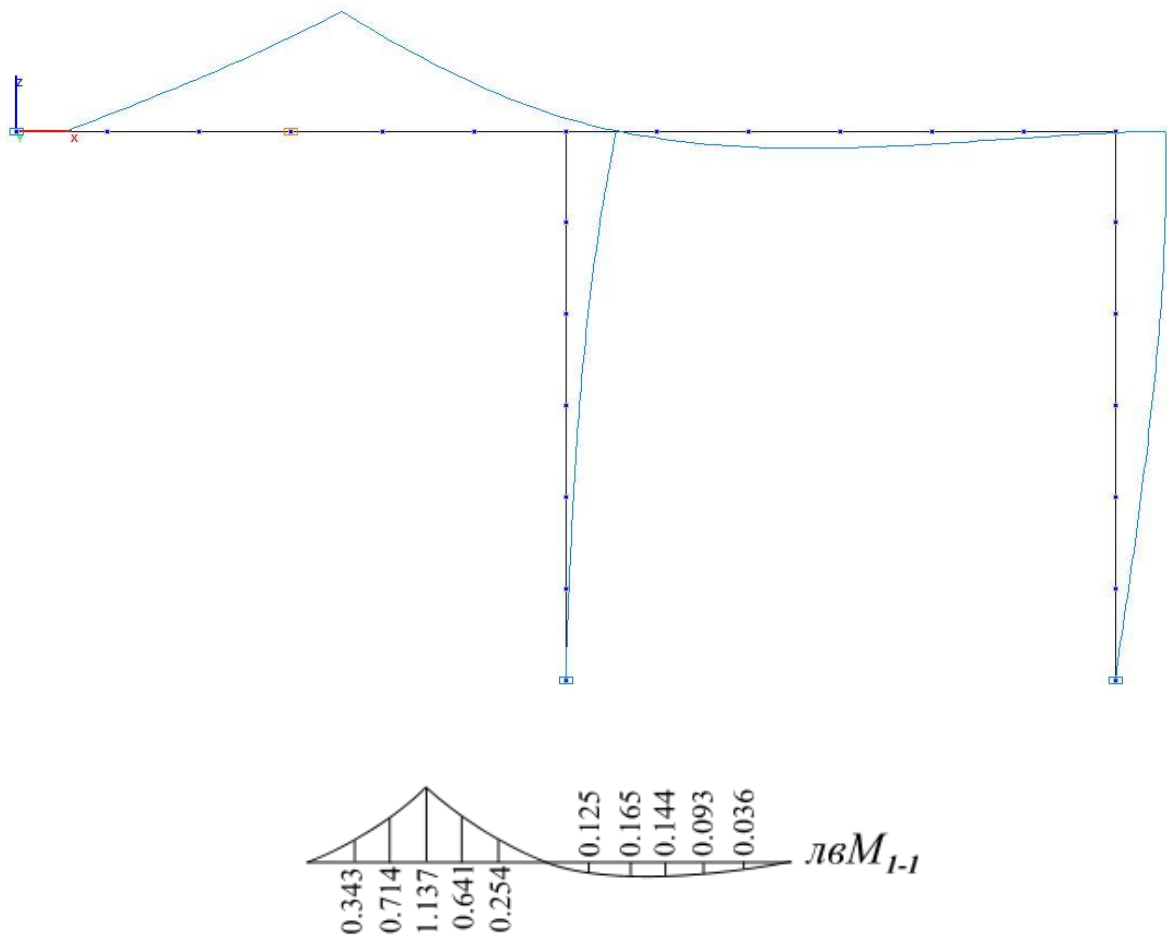


Рисунок 4. а) Вид деформированной схемы из ПК SCAD. 1-1; б) Линия влияния

6. Сравнение полученного результата со стандартными методами

Сравним значения моментов, взятых с полученной линии влияния, с результатами расчета данной рамы с двумя вариантами нагрузок – вертикальная сила равная 1 кН установлена непосредственно в сечении 1-1 и во втором случае сила равная 1кН установлена посередине правого пролета. Решим данную задачу в ПК SCAD. Эпюры моментов от данных загрузений приведены на рисунках 5 и 6. В первом случае (сила равная 1 кН установлена посередине левого пролета) значение изгибающего момента в сечении 1-1 равно 1,14 кН*м (рисунок 5). Это значение сопоставимо с полученным на ранее построенной линии влияния (1,137 кН*м). Во втором случае (сила равная 1 кН установлена посередине правого пролета) значение изгибающего момента в сечении 1-1 равно 0,15 кН*м (рисунок 6). Значение также сопоставимо со значением на линии влияния (0,144 кН*м).

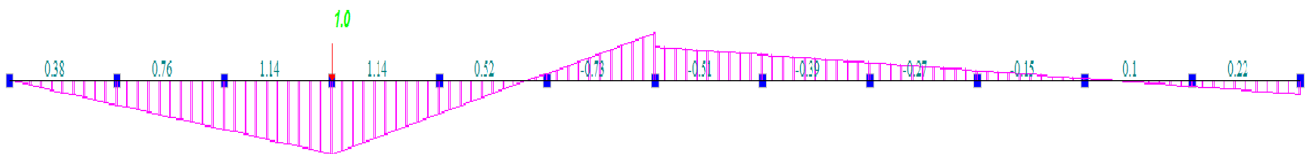


Рисунок 5. Значения изгибающего момента в верхнем ригеле данной рамы, нагрузка приложена посередине левого пролета

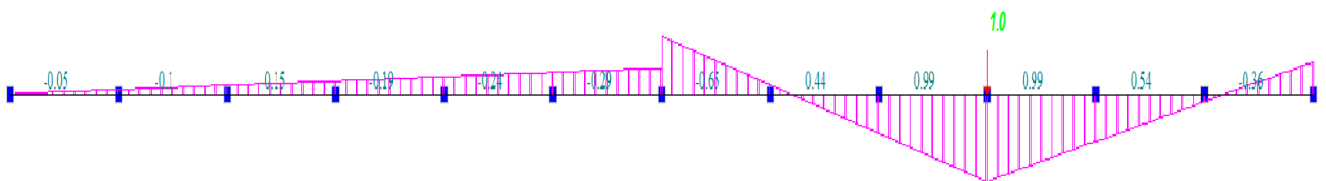


Рисунок 6. Значения изгибающего момента в верхнем ригеле данной рамы, нагрузка приложена посередине правого пролета

Рассмотрев в данной статье пример построения линии влияния изгибающего момента в статически неопределимой раме, мы получили удовлетворительные показания сходимости результатов с полученными в результате построения эпюр моментов в данной раме с использованием ПК SCAD.

7. Оценка целесообразности применения метода

Приведенный пример показывает, что предлагаемый способ построения линии влияния дает удовлетворительную точность и может быть рекомендован для использования в целях построения линии влияния в статически неопределимых плоских рамах. Следует отметить, что применяя данный метод построения линий влияния для статически определимых рам, не удалось достичь точности при сравнении результатов при ручном построении по формуле и в ПК SCAD. При построении линий влияния вручную стандартным статическим методом нам не требуется никакой информации о сечениях в рассматриваемой балке или раме. Пользуясь предложенным методом нам необходимо понимать, что от заданной жесткости будут зависеть перемещения U_i и U_Y . Задавая отличающиеся от предлагаемой жесткости всех стержней рамы значения, достаточной сходимости результатов получить не удастся. Исходя из этого, можно сделать вывод – метод применим при необходимости построения линий влияния только в статически неопределимых рамах. Для статически определимых систем рекомендуется использовать сателлит “Кристалл” или пользоваться ручным расчетом.

Литература

1. Бродский В. М., Илюшин Д. А. Использование динамических линий влияния прогибов при анализе работы балочных пролетных строений мостов // Индор-Мост. 2009. №3. 157 с.
2. СНиП 32-05-2002 (проект). Мосты и трубы. Проектирование, строительство и приемка в эксплуатацию.
3. Васильев, А.И. Состояние и проблемы нормирования мостов // Актуальные проблемы проектирования автомобильных дорог и искусственных сооружений: сб. док. 1-й Всероссийской конференции. СПб., 2008. С. 30-32.
4. ГОСТ Р 52748-2007. Дороги общего пользования. Нормативные нагрузки, расчетные схемы нагружения и габариты приближения.
5. СНиП 2.05.03-84(2000). Мосты и трубы.
6. Киселев, В.А. Строительная механика: спец. курс. Динамика и устойчивость сооружений. М. : Стройиздат, 1980.-616 с.
7. Бабанов В.В. Строительная механика. Том 1. М. : Изд. центр "Академия", 2011. 304 с.
8. Карпиловский В. С., Криксунов Э. З., Маляренко А. А. [и др.] Вычислительный комплекс SCAD. М.: Изд-во АСВ, 2004. 592 с.
9. Константинов И. А. Использование программы SCAD для расчета стержневых систем. Ч.1: Учеб. пособие. СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2003. 84 с..
10. Константинов И. А., Лалина И. И. Строительная механика. Расчет стержневых систем. Учеб. пособие. СПб. : Изд-во Политехн. ун-та, 2005. 156 с.
11. Информационно-компьютерные технологии в строительстве. Применение программы SCAD для решения задач динамики сооружений / Лалин В. В., Константинов И. А., Чусов А. Н., Лалина И. И. Учебно-методический комплекс. СПб. : Изд-во Политехн. ун-та, 2009. 230 с.
12. Cigdemoglu C., Arslanb H. O., Akayc H. (2011). A phenomenological study of instructors' experiences on an open source learning management system. Procedia - Social and Behavioral Sciences. 2011. Vol. 28. Pp. 790–795.
13. Tuparova D., Tuparov G. Management of students' participation in e-learning collaborative activities // Procedia Social and Behavioral Sciences. 2010. Vol. 2. Issue 2. Pp. 4757–4762.
14. Jun H. G., Lee H-won. Student and teacher trial and perceptions of an online ESL academic writing unit // Procedia - Social and Behavioral Sciences. 2012. Vol. 34. Pp. 128–131.
15. Shulamit K., Yossi E. (2011). Development of E-Learning environments combining learning skills and science and technology content for junior high school. Procedia Social and Behavioral Sciences. 2011. Vol.11. Pp. 175–179.
16. Rice W.H. Moodle E-Learning Course Development, Birmingham: Packt Publishing, 2006. 254 p.
17. Ермакова А. В. Взаимосвязь метода дополнительных конечных элементов и других численных методов расчета конструкций // Строительная механика и расчет сооружений. 2012. № 5. С. 28-33.
18. Карпиловский В. С. Криксунов Э. З., Маляренко А. А., Микитаренко М. А., Перельмутер А. В., Перельмутер М. А. SCAD Office. М. : Изд-во Ассоциации строительных вузов, 2004. 590 с.
19. Ключков Ю. В., Николаев А. П., Шубович А. А. Анализ геометрически нелинейной оболочки вращения на основе МКЭ с вариативным формированием матрицы упругости на шаге нагружения // Строительная механика и расчет сооружений. 2011. № 3. С. 40-44.
20. Колкунов Н. В. Основы расчета упругих оболочек. М. : Высшая школа, 1987. 256 с.
21. Крылов А. Н. О расчете балок, лежащих на упругом основании. М. : Академия наук СССР. 1931. 80 с.
22. Лалин В. В., Колосова Г. С. Численные методы в строительстве. СПб. : Изд-во СПбГТУ, 2001. 71 с.
23. Конечные элементы для расчета ограждающих конструкций из тонкостенных профилей / Лалин В. В., Рыбаков В. А. // Инженерно-строительный журнал. 2011. №8. С. 69-80.
24. Moving load identification of a bridge based on influence line (2013) Zhendong yu Chongji / Wang, N.-B., Ren, W.-X., Li, M. Journal of Vibration and Shock, 32 (3), pp. 129-133.

25. Zhao M.B. (2012) Applied study on influence lines of the statically determinate plane trusses based on EXCEL Advanced Materials Research. Pp. 734-737.
26. Yang G., Chen W., Xu J. (2012). The theory and case study of axle load identification based on BWIM of orthotropic steel deck. Applied Mechanics and Materials. Pp. 1247-1254.
27. Ali H.Nayef, Frank P. (2005). Linear and nonlinear structural mechanics: Wiley-interscience, 2005. 746 p.

Assessing the feasibility of use of SCAD software to build influence line of the bending moment

A.V. Savchenko¹, K.I. Solovyeva², Zh.S. Teplova²

Saint-Petersburg Polytechnical University, 29 Polytechnicheskaya st., St.Petersburg, 195251, Russia

ARTICLE INFO

Original research article

Article history

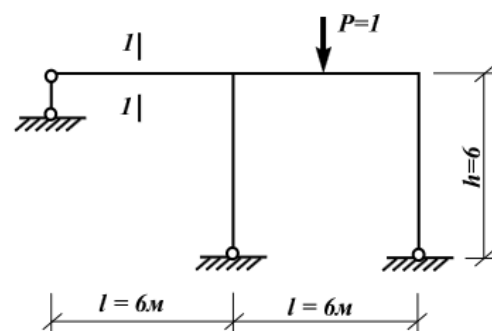
Received 23 April 2014
Accepted 9 July 2014

Keywords

influence line,
bending moment,
SCAD,
2D frame,
statically indeterminate frame,
deformation,
comparison of the results.

ABSTRACT

This article describes a method for building the influence line of bending moments in statically indeterminate 2d frame using SCAD software. The result is compared with the bending moment diagram obtained in SCAD software. Then there is an analysis of the convergence of the calculation results. Authors made a conclusion about the appropriateness of the method. This article describes a method for constructing the influence line of bending moments in statically indeterminate plane frame using SCAD software. The method consists in the construction of the settlement scheme in SCAD software and collecting the values of displacements to formula. The result of applying the formula given in the article is the influence line for the bending moments of the moving load. The resulting influence line is compared with the bending moment diagram obtained in PC SCAD.



1
2
3

Corresponding author:

+7(911) 115 3597, ya.int@yandex.ru (Aleksey Vladimirovich Savchenko, Assistant)

+7(921) 390 9553, kristina_solovyeva@mail.ru (Kristina Igorevna Solovyeva, Student)

+7 (921) 751 0309, zhanna-t@bk.ru (Zhanna Sergeevna Teplova, Student)

References

1. Brodskiy V. M., Ilyushin D. A. (2009). *Ispolzovaniye dinamicheskikh liniy vliyaniya progibov pri analize raboty balochnykh proletrykh stroyeniye mostov*. [Use of dynamic deflection influence lines in the analysis of the beam bridge spans] *Indor-Most*. 2009. Issue 3. 157 p. (rus)
2. SNiP 32-05-2002 (proyekt). *Mosty i truby. Proyektirovaniye, stroitelstvo i priyemka v ekspluatatsiyu*. [SNIP 32-05-2002. Bridges and pipes. Design, construction and acceptance into operation] (rus)
3. Vasilyev, A.I. (2008). *Sostoyaniye i problemy normirovaniya mostov*. [Status and problems of valuation bridges] *Aktualnyye problemy proyektirovaniya avtomobilnykh dorog i iskusstvennykh sooruzheniy: sb. dok. 1-y Vserossiyskoy konferentsii*. SPb., 2008. Pp. 30-32. (rus)
4. GOST R 52748-2007. *Dorogi obshchego polzovaniya. Normativnyye nagruzki, raschetnyye skhemy nagruzheniya i gabarity priblizheniya*. [Public roads. Regulatory burden, estimated loading scheme and dimensions approaching.] (rus)
5. SNiP 2.05.03-84 (2000). *Mosty i truby. Gosstroy USSR*. [SNIP 2.05.03-84 (2000). Bridges and pipes] (rus)
6. Kiselev V.A. (1980). *Stroitel'naya mekhanika: spets. kurs. Dinamika i ustoychivost sooruzheniy*. [Structural mechanics: special. Rates. Dynamics and stability of structures.] *M. : Stroyizdat*, 1980. 616 p. (rus)
7. Babanov V.V. (2011) *Stroitel'naya mekhanika*. [Structural Mechanics] Vol. 1. *M. : Izd. tsentr "Akademiya"*, 2011. 304 p. (rus)
8. Karpilovskiy V. S., Kriksunov E. Z., Malyarenko A. A. [et. al.] (2004). *Vychislitel'nyy kompleks SCAD*. [Computing system SCAD] *M.: Izd-vo ASV*, 2004. 592 p. (rus)
9. Konstantinov I. A. (2003) *Ispolzovaniye programmy SCAD dlya rascheta sterzhnevnykh sistem*. [Using SCAD to calculate rod systems] Part.1: *Ucheb. posobiye*. SPb.: *Izd-vo Politekhn. un-ta*, 2003. 84 p. (rus)
10. Konstantinov I. A., Lalina I. I. (2005) *Stroitel'naya mekhanika. Raschet sterzhnevnykh sistem*. [Structural Mechanics. Calculation of core systems.] *Ucheb. posobiye*. SPb.: *Izd-vo Politekhn. un-ta*, 2005. 156 p. (rus)
11. Lalin V. V., Konstantinov I. A., Chusov A. N. [et. al.] *Informatsionno-kompyuternyye tekhnologii v stroitel'stve. Primeneniye programmy SCAD dlya resheniya zadach dinamiki sooruzheniy*. [Information and computer technology in construction. Application SCAD program for solving structural dynamics] *Uchebno-metodicheskiy kompleks*. SPb. : *Izd-vo Politekhn. un-ta*, 2009. 230 p. (rus)
12. Cigdemoglu C., Arslanb H. O., Akayc H. (2011). A phenomenological study of instructors' experiences on an open source learning management system. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*. 2011. Vol. 28. Pp. 790–795.
13. Tuparova D., Tuparov G. (2010). Management of students' participation in e-learning collaborative activities. *Procedia Social and Behavioral Sciences*. 2010. Vol. 2. Issue 2. Pp. 4757–4762.
14. Jun H. G., Lee H-won. (2012). Student and teacher trial and perceptions of an online ESL academic writing unit. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*. 2012. Vol. 34. Pp. 128–131.
15. Shulamit K., Yossi E. (2011). Development of E-Learning environments combining learning skills and science and technology content for junior high school. *Procedia Social and Behavioral Sciences*. 2011. Vol.11. Pp. 175–179.
16. Rice W.H. (2006). *Moodle E-Learning Course Development*, Birmingham: Packt Publishing, 2006. 254 p.
17. Yermakova A. V. (2012) *Vzaimosvyaz metoda dopolnitel'nykh konechnykh elementov i drugikh chislennykh metodov rascheta konstruktsiy*. [Relationship additional method of finite elements and other numerical methods for the calculation of structures] *Stroitel'naya mekhanika i raschet sooruzheniy*. 2012. Issue 5. Pp. 28-33. (rus)
18. Karpilovskiy V. S. Kriksunov E. Z., Malyarenko A. A. [et. al.] (2004). *SCAD Office*. *M. : Izd-vo Assotsiatsii stroitel'nykh vuzov*, 2004. 590 p. (rus)
19. Klochkov Yu. V., Nikolayev A. P., Shubovich A. A. (2011). *Analiz geometricheski nelineynoy obolochki vrashcheniya na osnove MKE s variativnym formirovaniyem matritsy uprugosti na shage nagruzheniya*. [Geometrically nonlinear analysis of shells of revolution based on the finite element method with variational elasticity matrix formation step loading] *Stroitel'naya mekhanika i raschet sooruzheniy*. 2011. Issue 3. Pp. 40-44. (rus)
20. Kolkunov N. V. (1987). *Osnovy rascheta uprugikh obolochek*. [Basis for calculation of elastic shells] *M.: Vysshaya shkola*, 1987. 256 p. (rus)
21. Krylov A. N. (1931) *O raschete balok, lezhashchikh na uprugom osnovanii*. [About the analysis of beams on elastic foundation] *M. : Akademiya nauk USSR*. 1931. 80 p. (rus)

22. Lalin V. V., Kolosova G. S. (2001). *Chislennyye metody v stroitelstve*. [Numerical methods in construction] SPb. : Izd-vo SPbGTU, 2001. 71 p. (rus)
23. *Konechnyye elementy dlya rascheta ograzhdayushchikh konstruktsiy iz tonkostennykh profiley* [Finite elements for the calculation of thin-walling profiles] / Lalin V. V., Rybakov V. A. (2011). Magazine of Civil Engineering. 2011. Issue 8. Pp. 69-80. (rus)
24. Moving load identification of a bridge based on influence line (2013) Zhendong yu Chongji / Wang, N.-B., Ren, W.-X., Li, M. Journal of Vibration and Shock. Vol. 32. Issue 3. Pp. 129-133.
25. Zhao M.B. (2012) Applied study on influence lines of the statically determinate plane trusses based on EXCEL. Advanced Materials Research. Pp. 734-737.
26. Yang G., Chen W., Xu J. (2012). The theory and case study of axle load identification based on BWIM of orthotropic steel deck. Applied Mechanics and Materials. 204-208. Pp. 1247-1254.
27. Ali H.Nayef, P. Frank Pai. (2005). Linear and nonlinear structural mechanics: Wiley-interscience, 2005. 746 p.