

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭКВИВАЛЕНТНОЙ НАГРУЗКИ ОТ ПОДВИЖНОГО СОСТАВА ДЛЯ ЛИНИЙ ВЛИЯНИЯ ПРОИЗВОЛЬНОЙ ФОРМЫ

Запропоновано та реалізовано на ЕОМ алгоритм розв'язання задачі з визначення еквівалентного навантаження від рухомого складу (екіпажа) із довільно заданою схемою розташування осей та навантаження на них для ліній впливу будь-якої форми.

Предложен и реализован на ЭВМ алгоритм решения задачи по определению эквивалентной нагрузки от подвижного состава (экипажа) с произвольно заданной схемой размещения осей и нагрузкой на них для линий влияния любой формы.

The algorithm for determination of equivalent load from a rolling stock (a vehicle) with the arbitrary given scheme of location of axles and axle-loads for influence lines of any form was suggested and performed on a computer.

При классификации подвижного состава (локомотивов, различных типов вагонов, транспортёров, кранов на железнодорожном ходу и т. п.) по воздействию на пролётные строения мостов требуется определять эквивалентную нагрузку k_0 , то есть такую равномерно распределённую нагрузку, которая, будучи умноженной на площадь линии влияния Ω_v усилия (силы, момента) в том или ином элементе пролётного строения, давала бы максимальное из всех возможных значение этого усилия при невыгоднейшем положении состава (экипажа) на пролётном строении.

Правила нахождения эквивалентной нагрузки от подвижного состава для линий влияния треугольной формы приводились во всех изданиях «Руководства по определению грузоподъёмности металлических пролётных строений железнодорожных мостов». Приводятся они и в отечественном нормативном документе ГСТУ 32.6.03.11-2002 [1] и сводятся к отысканию так называемого «критического груза» (одной из осей экипажа) и размещении его над вершиной линии влияния. После чего эквивалентная нагрузка вычисляется по формуле

$$k_0 = \frac{\sum P_i y_i}{\Omega_v}, \quad (1)$$

где P_i - величина давления от i -той оси экипажа на рельсы;

y_i - ордината линии влияния под грузом P_i .

Отыскание «критического груза» у экипажа для треугольной линии влияния является одной из классических задач строительной меха-

ники и решается она методом проб и проверок соблюдения ряда условий.

Для линий влияния произвольной (нетреугольной) формы в [1] приводится свод правил определения эквивалентной нагрузки, так или иначе сводящих нетреугольные линии влияния к треугольным с тем или иным показателем положения вершины α и другими поправочными коэффициентами. Очевидно, что это приближённые способы определения эквивалентной нагрузки, которые в некоторых случаях могут давать существенную погрешность. В то же время, получить точное числовое решение задачи можно на персональном компьютере, используя один из математических пакетов, таких как MathCad, MathLab, Matematica, Maple и других. Каждый из этих пакетов в своём арсенале имеет команду, позволяющую находить максимальное значение функции на заданном отрезке области её определения. Последнее позволяет при решении задачи определения эквивалентной нагрузки от произвольного подвижного состава для линий влияния любой формы обходиться без непосредственного отыскания «критического груза» и его положения. Необходимо лишь корректно записать функцию загрузки линии влияния подвижным составом и, разделив численное значение максимума этой функции на площадь линии влияния, получить искомый результат.

Пусть мы имеем подвижной состав в виде n сосредоточенных сил (осей) P_0, P_1, \dots, P_{n-1} с заданными расстояниями от передней оси a_1, a_2, \dots, a_{n-1} и равномерно распределённой нагрузкой интенсивности q , начинающейся на расстоянии a_q от передней оси и имеющей неограниченную длину (рис. 1). Допустим, линия

влияния имеет общую длину λ и представлена на ней k участками, на которых задана функциями $f_1(x), f_2(x), \dots, f_k(x)$ (рис. 2).

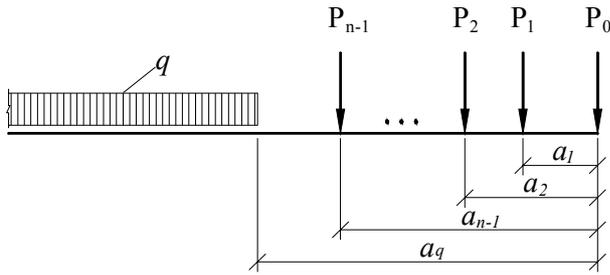


Рис. 1. Схема подвижного состава, заданная сосредоточенными силами P_0, P_1, \dots, P_{n-1} и равномерно распределенной нагрузкой интенсивности q

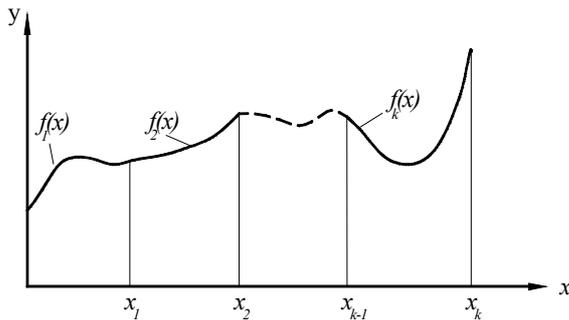


Рис. 2. Линия влияния задана функциями $f_1(x), f_2(x), \dots, f_k(x)$

Все возможные положения подвижного состава над линией влияния при её загрузке будем определять текущей координатой x передней оси (силы P_0). Тогда функцию загрузки F можно записать в виде

$$F(x) = \sum_{i=0}^{n-1} P_i y_i(x) + Q(x), \quad (2)$$

где первый член в правой части – это усилие от всех сосредоточенных сил, находящихся над линией влияния, а второй член – усилие, вызываемое распределенной нагрузкой q для одного и того же (заданного текущей координатой x) положения состава.

Выражения для членов, входящие под знак суммы функции (2), можно представить в виде

$$P_i y_i(x) = \begin{cases} P_i f_1(x - a_i), & 0 \leq x < x_1 \\ P_i f_2(x - a_i), & x_1 \leq x - a_i < x_2 \\ \dots \\ P_i f_k(x - a_i), & x_{k-1} \leq x - a_{n-1} < x_k \\ 0, & x < 0 \vee x - a_{n-1} > x_k \end{cases} \quad (3)$$

а второй член правой части выражения (2) – в виде:

$$Q(x) = \begin{cases} q \int_{a_q}^x f_1(x - a_q) dx, & 0 \leq x - a_q < x_1 \\ q \int_{a_q}^{x_1 + a_q} f_1(x - a_q) dx + \\ + q \int_{x_1 + a_q}^x f_2(x - a_q) dx, & x_1 \leq x - a_q < x_2 \\ \dots \\ q \int_{a_q}^{x_1 + a_q} f_1(x - a_q) dx + q \int_{x_1 + a_q}^{x_2 + a_q} f_2(x - a_q) dx + \dots \\ \dots + q \int_{x_{k-1} + a_q}^x f_k(x - a_q) dx, & x_{k-1} \leq x - a_q < x_k \\ 0, & x - a_q < 0 \vee x - a_q > x_k \end{cases} \quad (4)$$

Следует обратить внимание на то, что в выражениях (3) и (4) функции $f_1(x), f_2(x), \dots, f_k(x)$, определяющие линию влияния на всех её участках, записаны как функции с параметрами a_i и a_q . Это означает, что для каждой из сил (осей) P_i состава, включая его часть с распределенной нагрузкой q , линия влияния из своего исходного положения оказывается сдвинутой вдоль координатной оси x на параметр a_i или a_q соответственно. Такой приём позволяет упростить и формализовать запись всех компонентов функции загрузки (2) и делает их удобными для ввода в ЭВМ.

Площадь линии влияния вычисляется по формуле

$$\Omega_v = \int_0^{x_1} f_1(x) dx + \int_{x_1}^{x_2} f_2(x) dx + \dots + \int_{x_{k-1}}^{x_k} f_k(x) dx. \quad (5)$$

Произведя все вычисления и получив при помощи машинной команды максимальное значение функции загрузки F_{max} , а затем разделив его на площадь линии влияния Ω_v , находим искомую эквивалентную нагрузку k_0 . Следует отметить, что, поскольку загрузка линии влияния подвижным составом может происходить как слева направо, так и справа налево, то необходимо производить вычисления для каждого из этих двух случаев отдельно и принимать в качестве окончательного результата наибольшее из полученных значений k_0 . По вышеприведенному алгоритму была определена эталонная временная эквивалентная нагрузка k_{et} от поезда по схеме Н1 для линий

влияния усилий в элементах главных ферм пролётного строения ПСК длиной 110 м. (Металлическое пролётное строение с ездой понизу имеет двухрешётчатые главные фермы с параллельными поясами и дополнительными полустойками–полуподвесками. Для линий влияния усилий в элементах таких ферм характерно зубчатое очертание.)

В качестве примера на рис. 3 приведена линия влияния усилия в крайнем нисходящем раскосе фермы ПСК длиной 110 м, а на рис. 4 показан график функции загрузки этой линии влияния эталонной нагрузкой Н1 при её накатывании на пролётное строение.

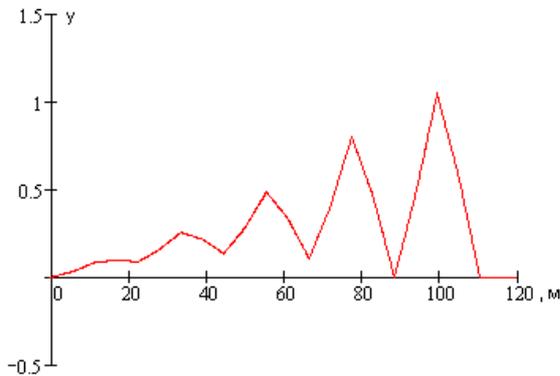


Рис. 3. Линия влияния усилия в крайнем нисходящем раскосе фермы ПСК-110

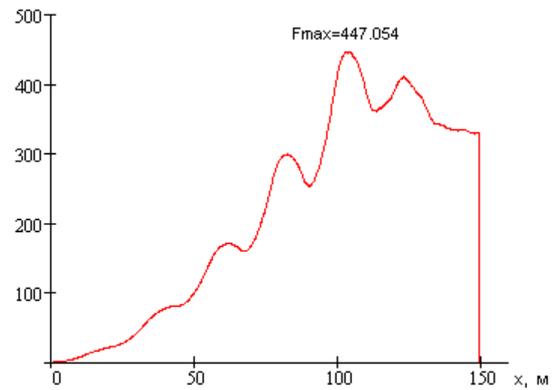


Рис. 4. График функции загрузки

Максимальное численное значение функции загрузки $F_{max} = 447.05$ кН достигается в положении, когда передняя ось состава имеет координату $x = 103.80$ м. При площади линии влияния $\Omega_v = 33.07$ м² эталонная временная эквивалентная нагрузка $k_{et} = 13.51$ кН/м пути, что несколько больше значения, которое получается по правилам, предписываемым нормами [1]. Согласно этим нормам, $k_{et} = 13.2$ кН/м пути. Погрешность составляет всего 2.4 %, а не 42 %, как ошибочно указывается в статье [2] .

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. ГСТУ 32.6.03.111-2002. Правила визначення вантажопідйомності металевих прогонових будов залізничних мостів. – К.: Міністерство транспорту України, 2003. – 381с.
2. Ращепкин А. А. Автоматизированная система расчёта грузоподъёмности эксплуатируемых металлических пролётных строений железнодорожных мостов // Вісник Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. тр-ту ім. акад. В. Лазаряна, Вип. 14. – Д.: Вид-во ДНУЗТ, 2007. – С. 198-207.

Поступила в редколлегию 10.10.2007.