

через 0 °С весной (датой наступления устойчивых морозов) в данном зимнем сезоне. По найденному значению x рассчитывают y и по нему — ожидаемые даты ввода в эксплуатацию или прекращения эксплуатации зимних дорог описанным способом.

Выводы

1. Установлена зависимость сроков ввода зимних лесовозных дорог в эксплуатацию и прекращения их эксплуатации соответственно от сроков перехода среднесуточной температуры воздуха через 0 °С осенью и весной (наступление устойчивых морозов).

2. Полученные уравнения регрессии и построенные по ним графики позволяют производить как общую оценку периодов пуска и прекращения эксплуатации зимних лесовозных дорог, так и оперативно определять (прогнозировать) сроки ввода в эксплуатацию (прекращения эксплуатации) зимних лесовозных дорог в конкретном зимнем сезоне, что важно для контроля и планирования сроков вывозки леса по зимним дорогам, освоения созданных запасов леса, определения сроков перебазирования лесозаготовительных и погрузочно-транспортных механизмов из летних лесосек в зимние и обратно.

Поступила 3 сентября 1984 г.

УДК 630*848.7.001.2

МЕТОДИКА ПРОЧНОСТНОГО РАСЧЕТА БЕСФУНДАМЕНТНО-БЛОЧНЫХ СЕКЦИЙ ЛЕСОСКЛАДСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ

Л. И. ГУЛЬКО

ВНИПИЭИлеспром

Традиционный метод монтажа нижнескладского оборудования на фундаментах — трудоемкий и дорогостоящий процесс, при этом в 3...8 раз превышаются проектные нормы по срокам ввода в действие производственных мощностей, а также по трудозатратам и капиталовложениям на строительные-монтажные работы (СМР).

Создание бесфундаментно-блочного оборудования [2] позволит перейти на индустриальные методы машинного монтажа и тем самым переместить центр тяжести работ из леспромпхозов на заводы. Это исключит тяжелый ручной труд и в 2...2,5 раза сократит численность рабочих на СМР в леспромпхозах.

Монтаж оборудования в бесфундаментно-блочном исполнении связан с необходимостью передачи функций фундамента элементам упругой системы блочных секций. Статическая устойчивость станков, линий должна обеспечиваться облегченными опорами типа несущих рам, свободно лежащих на грунтовом основании. Необходим расчет статической прочности опор, статической устойчивости системы, учет медленных изменений в системе вследствие ползучести грунта и сезонных его промерзаний. Это необходимый элемент общего комплекса расчетов, потому что динамические расчеты бессмысленны, если опоры не соответствуют условиям статической прочности.

Анализ показывает, что расчет многоячейстых рам блочных секций под разгрузочную эстакаду, манипулятор и другое оборудование потока затруднителен для вычислительных возможностей машин.

Дело в том, что если рама имеет m узлов, то число элементарных балок, входящих в ячейки:

$$N = (m - 1)n + (n - 1)m.$$

Чтобы расчленив задачу расчета рамы на элементарные подзадачи расчета балок, необходимо составить N уравнений равновесия балок на упругом основании. Каждое такое уравнение требует четыре крайних условия для определения решения. Поскольку рассматривается линейная задача, то очевидно, что нужно составить $4N$ линейных алгебраических уравнения относительно крайних значений перемещений и их производных. Ясно, что узлы рамы будут служить краями балок. На них же опираются стойки рамы, поскольку их ставят, как правило, на пересечениях. Следовательно, можно использовать при выводе уравнений равновесия заданные нагрузки от стоек и условия стыковки отдельных балок по нагрузкам, а также по перемещениям их концов.

В конечном итоге многоячейстая рама потребует решения $4N = [(m-1)n + (n-1)m]$ линейных алгебраических уравнений. Например, для решетки эстакады 5×5 (для 40 балок) необходимо решить 160 уравнений. Такая система уже довольно громоздка для решения ее на машинах типа БЭСМ-4.

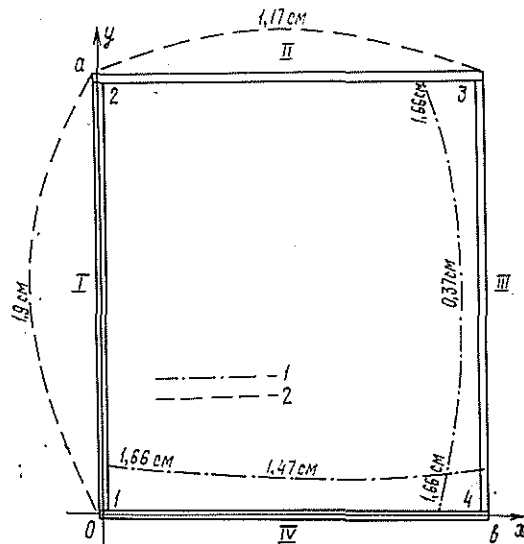
Для расчетных целей достаточно исследовать простую одиночную, прямоугольную раму по двум обстоятельствам:

одиночные секции, как правило, применяют при монтаже технологических потоков;

из одиночных секций можно набрать многоячейстую раму (в проекте Гипролестранса заложены именно такие рамы, из которых собирают мобильные потоки на базе линии ЛО-15С).

Лишние связи при сборке секций, очевидно, пойдут в запас прочности, так как расчетная схема принимает их шарнирными.

Нас, в первую очередь, интересует та часть рамы, которая опирается непосредственно на грунт (см. рис.). Расчет стоек и верхней части рамы будет несложным, как только определится реакция грунта. Схему нагрузок принимают сосредоточенной в узлы. Действие раскосов, предназначенных для придания большей устойчивости раме, обычно облегчает работу балок, так как делает передачу нагрузок на грунт более равномерной [1].



Расчетная схема опорной части блочной секции:
1 — перемещение; 2 — изгибающий момент.

Раму в плане (см. рис.) характеризуют следующие величины: a — длина, см; b — ширина, см; I — момент инерции поперечного сечения балок, см⁴; E — модуль упругости материала рамы, Па.

Внешние воздействия на раму состоят из узловых сил P_i и распределенной реакции основания $Rv_i(z)$, где R — коэффициент Винклера (коэффициент «постели»); $v_i(z)$ — перемещения балок.

Равновесие рамы должно однозначно определяться набором величин a, b, I, E, P_i, k .

Для того чтобы описать равновесие рамы, вводим систему координат (см. рис.). Пронумеруем узлы по часовой стрелке. Для балок I, III координата меняется в пределах $0 < y < a$, для балок II, IV — в пределах $0 < x < b$. Узловые силы обозначены, естественно, через P_i , $i = 1, 2, 3, 4$. Уравнение равновесия одиночных балок на упругом основании имеет вид

$$EI \frac{d^4}{dz^4} v_i(z) + Rv_i(z) = 0, \quad i = 1, 2, 3, 4.$$

В расчетной схеме принято действие только лишь узловых сосредоточенных сил, поэтому в правой части стоит нуль.

В приведенном уравнении $v_i(z)$ означают поперечные перемещения балок, z — координата вдоль балки. Общее решение уравнения имеет вид

$$v_i(z) = v_i(0) u_0(z) + \frac{1}{\alpha} v_i'(0) u_1(z) + \frac{1}{\alpha^2} v_i''(0) u_2(z) + \frac{1}{\alpha^3} v_i'''(0) u_3(z).$$

Функции Крылова в общем решении даны соотношениями

$$u_0(z) = \operatorname{ch}(\alpha z) \cos(\alpha z); \quad \alpha = \sqrt[4]{\frac{k}{4EI}};$$

$$u_1(z) = \operatorname{ch}(\alpha z) \sin(\alpha z) + \operatorname{sh}(\alpha z) \cos(\alpha z);$$

$$u_2(z) = \frac{1}{2} \operatorname{sh}(\alpha z) \sin(\alpha z);$$

$$u_3(z) = \frac{1}{4} [\operatorname{ch}(\alpha z) \sin(\alpha z) - \operatorname{sh}(\alpha z) \cos(\alpha z)].$$

Неизвестные коэффициенты в общем решении следует найти из данных входных параметров a, b, E, I, P_i, k .

Чтобы составить линейные алгебраические уравнения для совокупности коэффициентов общих решений, воспользуемся условиями совместности деформирования отдельных балок рамы. Очевидно, что перемещения в узлах должны быть одинаковыми для балок, сходящихся в узлах. Кроме того, узловая внешняя сила может быть разложена на две силы, воспринимаемые балками порознь. И, наконец, последняя группа условий — отсутствие сосредоточенных моментов в узлах. При помощи перечисленных условий совместности составляем нужные уравнения; их должно быть всего $4 \cdot 4 = 16$, по числу балок, входящих в плоскую раму. Приводим эти уравнения в сокращенной форме:

$$v_1(0) = v_4(0); \quad v_2(b) = v_3(a); \quad \text{совместность перемещений в узлах рамы}$$

$$v_1(a) = v_2(0); \quad v_4(b) = v_3(0);$$

$$N_1^H + N_4^K = P_1; \quad \text{разложение внешних сил на составляющие по балкам}$$

$$N_2^H + N_1^K = P_2;$$

$$N_2^K + N_3^H = P_3;$$

$$N_3^K + N_4^H = P_4;$$

$$v_1''(0) = v_2''(0) = v_3''(0) = v_4''(0) = 0;$$

$$v_1''(a) = v_2''(b) = v_3''(a) = v_4''(b) = 0;$$

отсутствие сосредоточенных моментов в узлах

$$v_2'''(0) = \frac{1}{EI} N_2^n, \quad i = 1, 2, 3, 4;$$

краевые условия для сосредоточенных сил

$$v_1'''(a) = -\frac{1}{EI} N_1^k; \quad v_2'''(b) = -\frac{1}{EI} N_2^k;$$

$$v_3'''(a) = -\frac{1}{EI} N_3^k; \quad v_4'''(b) = -\frac{1}{EI} N_4^k.$$

Поскольку сосредоточенные моменты отсутствуют, то фактически остается 12 неизвестных и 12 уравнений.

Программа расчета рамы на упругом основании

Входной информацией программы является вектор данных: a — длина рамы, см; b — ширина рамы, см; k — коэффициент «постели»; E — модуль упругости материала балки, Па; I — момент инерции сечения балки, см⁴; P_1, P_2, P_3, P_4 — узловые внешние силы.

Исходные данные описаны в той последовательности и в той размерности, как этого требует составленная программа.

После решения линейной системы на первом этапе формируется и выдается массив коэффициентов при общих решениях: $N_i^n, N_i^k, v_i(0)$ (см), $\frac{1}{a} v_i'(0)$ (см), $i = 1, 2, 3, 4$.

При помощи этих коэффициентов можно найти все интересующие нас величины:

перемещения

$$v_i(z) = v_i(0) u_0(z) + \frac{1}{a} v_i'(0) u_1(z) + f N_i^n u_3(z);$$

вторую производную перемещений

$$\frac{1}{a^2} v_i''(z) = -4 v_i(0) u_2(z) - 4 \frac{1}{a} v_i'(0) u_3(z) + f N_i^n v_1(z),$$

где $i = 1, 2, 3, 4$, а $f = 1000/EI a^3$ — масштабный множитель.

Истинный изгибающий момент находят по формуле

$$M_i(z) = EI \frac{1}{a^2} v_i''(z).$$

В программе предусмотрен вывод массивов для перемещений и их вторых производных, т. е. фактически изгибающих моментов, с шагом 0,1 стороны рамы: либо 0,1a, либо 0,1b.

Программа составлена на языке «АЛГОЛ» для ЭВМ М-222. Прочитанные контрольные варианты относятся к раме $a = 100$ см, $b = 200$ см, нагруженной силами в узлах 25 кН и лежащей на винклеровском основании с $k = 25$ мПа или $k = 1,56$ мПа. Изгибная жесткость $EI = 160$ кН · м².

Об эффективности методики можно судить по симметрии результатов расчетов при симметричном нагружении. В пределах точности машины результат является симметричным.

Схематически на рисунке представлены эпюры перемещений и их вторых производных для контрольного варианта при $k = 1,56$ мПа. По таким эпюрам можно определить максимальный изгибающий момент, что, в свою очередь, позволит выбрать сечение балок, обеспечивающее минимум леса при заданном запасе прочности.

Разработанная методика позволила, основываясь на точном инженерном расчете, создать бесфундаментно-блочные секции. Она нашла применение при разработке типовых и рабочих проектов мобильных потоков в бесфундаментно-блочном исполнении для лесных складов объединений Тюменьлеспром и Новгородлес.

ЛИТЕРАТУРА

[1]. Бородачев Н. М. Определение динамических напряжений, возникающих в упругом полупространстве под штампом с плоским круговым основанием // *Механика*.— 1965.— № 4.— (Изв. АН СССР). [2]. Гулько Л. И. Бесфундаментная устойчивость станочного оборудования // *Лесн. пром-сть*.— 1979.— № 1.

Поступила 25 января 1985 г.