

УДК 624(075.8)

А.З. Манапов – кандидат технических наук, доцент

E-mail: man48-75@mail.ru

Казанский государственный архитектурно-строительный университет

АЛГОРИТМЫ МЕТОДА МОНТЕ-КАРЛО ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ РАБОТЫ И РЕСУРСА СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ

АННОТАЦИЯ

Представлены алгоритмы метода Монте-Карло применительно к моделированию работы строительных конструкций, учитывающие конкретные условия взаимодействия и изменения исходных статистических параметров. В частности, обсуждаются вопросы продолжительности моделирования и длительности циклов действия отдельных параметров, моделирование корреляций, синхронизации циклов действия нагрузок, регрессионные изменения параметров, неопределенности переходов от нагрузок к усилиям и от усилий к напряжениям.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: метод Монте-Карло, строительные конструкции, нагрузки, напряжение, статистическое моделирование.

A.Z. Manapov – candidate of the technical sciences, associate professor

Kazan State University of Architecture and Engineering

ALGORITHMS OF MONTE-CARLO METHOD IN SIMULATION OF BUILDING STRUCTURES WORK AND RESOURCE

ABSTRACT

Algorithms of Monte-Carlo method are presented, with reference to modeling of work building structures, considering concrete conditions of interaction and change of initial statistical parameters. Questions of modeling and duration of separate parameters action are considered. Modeling of correlations, synchronization of cycles action loadings, regression changes of parameters, uncertainty of transitions from loadings to efforts and from efforts to tension are discussed.

KEYWORDS: Monte-Carlo method, building structures, loadings, tension, statistical modeling.

Метод Монте-Карло относится к статистическим имитационным методам. Имитация заключается в том, что на каждом отрезке времени существования конструкции каждому расчетному параметру присваивается определенное численное значение. Численные значения расчетного параметра характеризуют его состояние для данного шага моделирования и определяются генератором случайных чисел. Генератор случайных чисел запрашивает предварительно функцию распределения расчетного параметра, параметры самой функции распределения и число генерированных значений параметра. На подготовительной стадии расчетные параметры выражаются в интервальных оценках. Интервальные оценки выражаются множеством цифровых значений, минимальное из которых считается нижней границей интервальной оценки, максимальное – верхней границей интервальной оценки. Внутри интервала возможные значения параметра конкретизируются функциями распределения. По теории вероятностей интервальная оценка выражается через бесконечное множество случайных чисел, посеянных по определенной функции распределения вероятностей.

Функция распределения вероятностей определяет вероятность нахождения параметра на любом заданном отрезке интервала. По методу Монте-Карло генератором случайных чисел каждому исходному параметру, участвующему в расчете, присваивается мгновенное численное значение, одно из возможных значений из его интервальной оценки. Далее, используя функции взаимодействия, получают мгновенные значения промежуточных и итоговых параметров. Мгновенные значения могут характеризовать состояние одного сооружения, одного этажа сооружения, одного элемента сооружения или объединенной группы сооружений, объединенных общими признаками: принадлежностью к одной серии или к одной территории. Мгновенные значения могут изменяться во времени, могут быть постоянными во времени. К изменяющимся во времени относятся: вес снегового покрова и ветровое давление; к постоянным, не изменяющимся во времени: собственный вес конструкций, для которых реализации происходят в статистическом множестве однотипных

сооружений. То есть для таких параметров полное статистическое представление не может быть реализовано на одном сооружении, поэтому выполняется параллельное моделирование для множества однотипных (серийных сооружений). Объем такого множества (число однотипных сооружений) определяется по результатам тестовых проверок сходимости результатов моделирования. Например, на первом этапе можно назначить объем множества из 1000 однотипных сооружений, на втором из 2000, далее по геометрической прогрессии из 4000; 8000 до получения асимптотической сходимости результатов моделирования (например, максимальных усилий в элементах конструкций после реализации сочетаний нагрузок).

Решение о работоспособности строительных конструкций принимается на основе сравнения итоговых параметров – напряжений с удельной прочностью используемых конструкционных материалов. Промежуточными параметрами являются усилия, геометрические параметры, итоговые нагрузки.

Метод Монте-Карло сформулирован в виде гипотезы, общего аналитического доказательства применимости метода не существует, однако в конкретных случаях правдивость метода подтверждается.

Для решения конкретных задач необходимо предварительно разработать алгоритмы применения метода Монте-Карло, учитывающие конкретные условия взаимодействия и изменения исходных статистических параметров. Ниже, в таблицах 1-6 и пояснениях к ним, приведены алгоритмы метода Монте-Карло применительно к моделированию работы строительных конструкций.

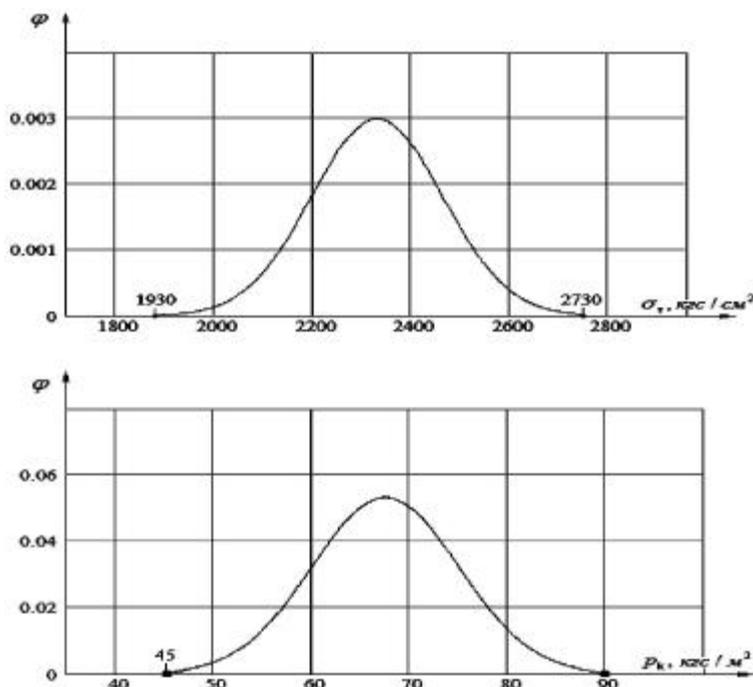


Рис. 1. Интервальная оценка с использованием нижнего и верхнего пределов возможных значений и функции распределения внутри интервала: а) интервальная оценка предела текучести стали ВстЗпс; б) интервальная оценка постоянной нагрузки от веса утеплителя кровли

Первый этап моделирования предполагает создание обобщенного алгоритма прогнозного моделирования работы строительных конструкций, определение продолжительности моделирования, координатных осей моделирования.

Таблица 1

Создание обобщенного алгоритма прогнозного моделирования работы строительных конструкций. Определение продолжительности моделирования, координатных осей моделирования				
Моделирование нагрузок	Моделирование расчетных схем. Моделирование перехода от нагрузок к усилиям, деформациям, перемещениям	Моделирование перехода от усилий к напряжениям	Моделирование удельной прочности конструкционных материалов	Многочисленные прогоны по различным сценариям. Проверка сходимости результатов. Статистический анализ результатов моделирования

Продолжительность моделирования может приниматься равной расчетной продолжительности эксплуатации, в зависимости от класса ответственности сооружения 25, 50, 100 лет. На основании обобщенного алгоритма разрабатываются алгоритмы моделирования отдельных групп параметров: нагрузок, расчетных схем, перехода от нагрузок к усилиям, деформациям, перемещениям, от усилий к напряжениям.

Таблица 2

Моделирование статических нагрузок				
Назначение координатных осей моделирования (координата времени, координата серийных конструкций)	Определение параметров нагрузок и интервальных оценок параметров	Назначение циклов действия нагрузки, синхронизация циклов действия нагрузки	Анализ условий и моделирование корреляций нагрузок, анализ и моделирование регрессионных изменений	Моделирование мгновенных значений нагрузок с использованием генератора случайных чисел. Многократные прогоны, проверка сходимости результатов

Длительность цикла действия нагрузки принимается равной периоду его изменения. Самой быстроизменяющейся нагрузкой часто оказывается крановая нагрузка, с характерной продолжительностью изменения 2 минуты. Длительность цикла ветровой нагрузки принимается обычно равной периоду его усреднения при метеонаблюдениях – 10 минут, снеговой нагрузки – периоду снятия показаний при метеонаблюдениях – 10 суток. Синхронизация циклов действия нагрузки предполагает обеспечение кратности длительности циклов медленно изменяющихся нагрузок относительно самой быстроизменяющейся. Моделирование корреляций нагрузок обычно выполняется автоматически при условии применения формул, отражающих физические связи между ними. Например, корреляция между вертикальной и горизонтальной крановыми нагрузками будет равна 1.0, если использовать распространенную формулу: горизонтальная крановая нагрузка равна 0.05 от вертикальной крановой нагрузки. При использовании более сложных формул, учитывающих все возможные рабочие операции крана, вес крюковой подвески, вес тележки, коэффициент корреляции может существенно уменьшиться. Регрессионные изменения предполагают постепенное нарастание или уменьшение нагрузок при длительной эксплуатации сооружений. Например, нагрузки от собственного веса несущих конструкций или кровельных конструкций имеют тенденцию увеличиваться за счет накопления пыли, очередной покраски, ремонтов.

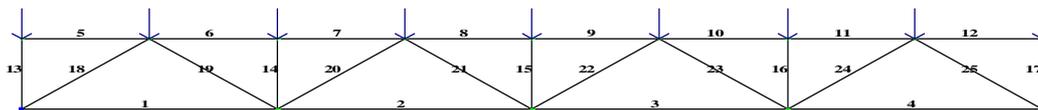
Таблица 3

Моделирование расчетных схем. Моделирование перехода от нагрузок к усилиям, деформациям, перемещениям				
Вариантное, дискретное моделирование расчетных схем	Моделирование перехода от нагрузок к усилиям, деформациям, перемещениям для вариантов расчетных схем	Учет геометрической нелинейности	Построение общей функции распределения для вариантных дискретных расчетных схем	Моделирование множества перехода от нагрузок к усилиям для расчетных элементов и сечений

Расчетная схема конструкций составляется, как правило, в нескольких вариантах. По этой причине результаты расчетов усилий и коэффициенты перехода от нагрузок к усилиям, деформациям, перемещениям представляются в интервальных оценках. Рассмотрим пример определения коэффициентов перехода от нагрузок к усилиям для стропильной фермы пролетом 24 метра со стержнями из равнополочных уголков по ГОСТ 8509-93, верхний пояс и опорные раскосы – уголки L120x12, нижний пояс и раскосы – уголки L80x12, стойки – уголки L70x4. Примем три варианта расчетной схемы:

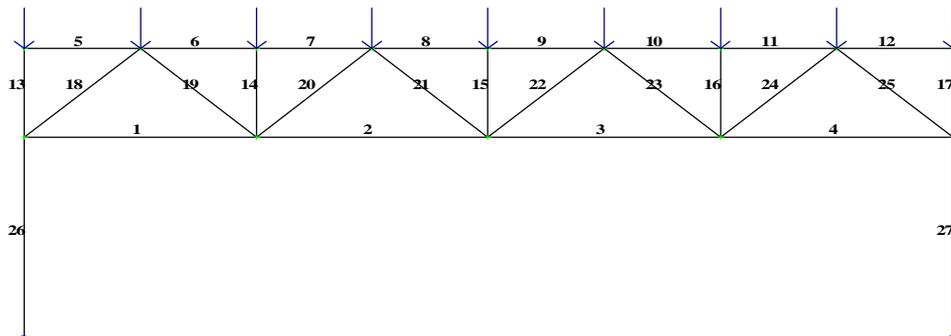
1 вариант расчетной схемы

Загружение 1



2 вариант расчетной схемы

Загружение 1



3 вариант расчетной схемы

Загружение 1

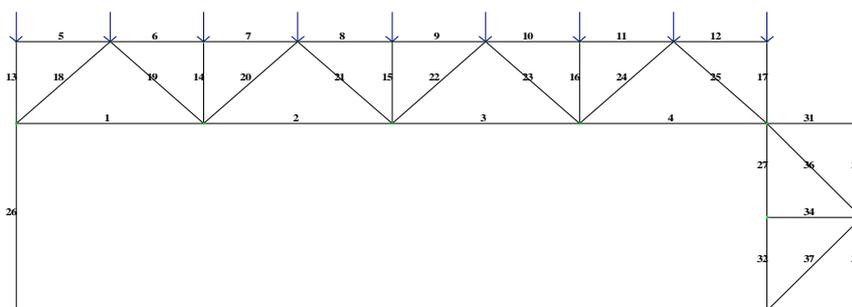


Рис. 2. Варианты расчетных схем для стропильной фермы

В таблице 4 приведены усилия в расчетных стержнях и коэффициенты перехода от нагрузок к усилиям. Полученные результаты показали максимальные изменения коэффициентов перехода от нагрузок к усилиям в стержнях нижнего пояса фермы до 39,2 %

Таблица 4

Номер стержня	Усилия при 1 варианте расчетной схемы (т)	Усилия при 2 варианте расчетной схемы	Усилия при 3 варианте расчетной схемы	Коэффициенты перехода от нагрузок к усилиям
1	40.92	32.15	29.39	2.45 ч 3.41 39.2 %
2	87.63	78.88	76.15	6.34 ч 7.30 15.1 %
8	-93.42	-88.45	-87.13	-7.26 ч -7.78 7.2 %
14	-11.85	-11.87	-11.87	-0.98
18	-58.60	-58.54	-58.58	-4.88
19	41.72	41.75	41.76	3.48

Так как переход от усилий к напряжениям содержит неопределенности из-за невозможности точных оценок концентрации напряжений, геометрических размеров сечений, эксцентриситетов и кривизны, расчетных длин и функций изгиба продольной оси, коэффициент перехода определяется в интервальных оценках в виде числового множества. Напряжения в виде числового множества определяются отдельно от каждой нагрузки, суммарное итоговое напряжение получается после суммирования всех промежуточных напряжений, действующих на одном отрезке времени.

Таблица 5

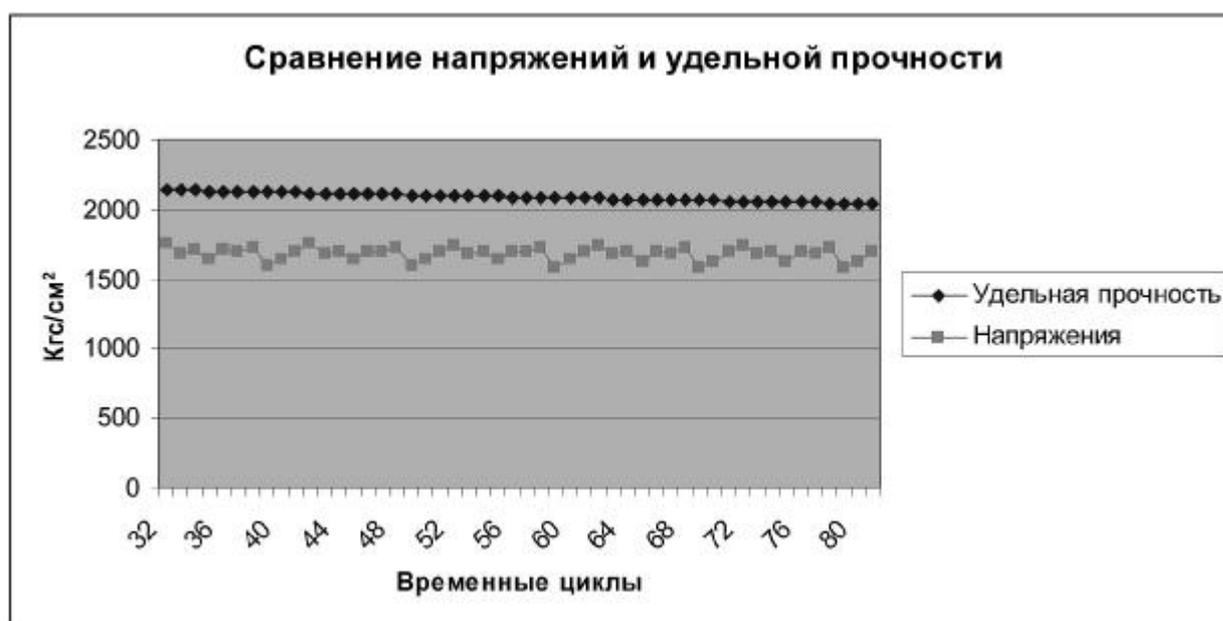
Моделирование перехода от усилий к напряжениям				
Построение общей функции перехода от усилий к напряжениям	Учет концентрации напряжений	Учет допусков на геометрические размеры сечений, эксцентриситетов и кривизны	Учет неопределенностей при определении расчетных длин и функций изгиба продольной оси	Моделирование числового множества перехода от усилий к напряжениям

Моделирование удельной прочности конструкционных материалов выполняется с учетом всех факторов влияния и оформляется в виде числового множества. Количество чисел в этом множестве должно совпадать с количеством чисел в множестве итоговых напряжений.

Таблица 6

Моделирование удельной прочности конструкционных материалов				
Учет физической нелинейности	Учет масштабного фактора	Учет скорости деформаций	Учет температуры деформаций	Учет старения

Решение о работоспособности строительных конструкций принимается на основе сравнения итоговых суммарных напряжений с удельной прочностью конструкционных материалов. Так как множество итоговых напряжений изменяется во времени, а множество удельной прочности изменяется в множестве однотипных элементов сооружения, сравнение множеств выполняется для всей совокупности серийных сооружений за полный период эксплуатации (рис. 3).



Для использования метода Монте-Карло для статистического моделирования работы и ресурса строительных конструкций необходимо предварительно разработать алгоритмы расчета, с назначением и численным представлением в интервальных оценках исходных параметров, функциональных переходов от исходных параметров к промежуточным и конечным параметрам, определить оси рассеивания параметров и корреляции между ними, приемы корректировки в процессе решений, принципы сравнения и оценки конечных параметров, приемы оценки и корректировки по результатам тестовых решений.

Выводы:

1. Разработаны алгоритмы метода Монте-Карло для статистического моделирования работы и ресурса строительных конструкций. В соответствии с этими алгоритмами моделирование выполняется в статистическом множестве однотипных сооружений, для которых исходные, промежуточные, конечные параметры, функции перехода и взаимодействия между этими параметрами определяются как статистические множества, а значения параметров конкретного сооружения в конкретный момент времени путем случайного выбора из этих статистических множеств генератором случайных чисел.

2. Предложены принципы разделения параметров по признакам: масштаба распространения статистического множества, представляющего параметр (снеговой, ветровой район, отдельное сооружение, отдельный этаж, отдельный конструктивный элемент); характера изменения или постоянства во времени. Предложены обоснованные операционные интервалы статистического моделирования: общей продолжительности моделирования, продолжительности одного цикла существования параметров, приемы синхронизации циклов и корреляций между параметрами.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кузнецов В.П. Интервальные статистические модели. – М.: Радио и связь, 1991. – 352 с.
2. Мананов А.З. Поверочный расчет стальной стропильной фермы производственного здания статистическим имитационным методом // Известия КГАСУ, 2008, № 2(10). – С. 53-60.
3. Мкртычев О.В. Надежность многоэлементных стержневых систем инженерных конструкций. Диссертация доктора технических наук. – М., 2000. – 412 с.
4. Орлов А.И. Интервальный статистический анализ // В сб.: Статистические методы оценивания и проверки гипотез: Межвузовский сборник научных трудов. – Пермь: Пермский государственный университет, 1993. – С. 149-158.