

$$Y=Q=28,904+0,002 \cdot X_1+9,5467 \cdot X_2+1,5763 \cdot X_3-0,080 \cdot X_4-2,190 \cdot X_5-0,009 \cdot X_1 X_2-0,189 \cdot X_1 X_3+0,0005 \cdot X_1 X_4+0,008 \cdot X_1 X_5-2,752 \cdot X_2 X_3-0,181 \cdot X_2 X_4+4,325 \cdot X_2 X_5-0,046 \cdot X_3 X_4+0,550 \cdot X_3 X_5-0,009 \cdot X_4 X_5-0,0000335 \cdot X_1^2-40 \cdot X_2^2-0,973 \cdot X_3^2-0,004 \cdot X_4^2-0,200 \cdot X_5^2.$$

Таблица. Условия проведения опытов при ЭМН паст с ЭМУ

Уровень факторов	Технологические факторы				
	I, А	В, Тл	s, мм/с	V, мм/с	P, кН
	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅
Основной (0)	100	1	0,84	6	1
Верхний (+1)	120	1,2	1,02	8	1,2
Нижний (-1)	80	0,8	0,66	4	0,8
Звездная точка (+α)	140	1,4	1,2	10	1,4
Звездная точка (-α)	60	0,6	0,48	4	0,6
Интервалы варьирования:					
основной	20	0,2	0,18	2	0,2
по α	40	0,4	0,36	4	0,4

Выявлено, что все коэффициенты регрессии значимы с 95%-й достоверной вероятностью по критерию Стьюдента. Установлено, что математическая модель адекватна при 5%-м уровне значимости по критерию Фишера.

Установлено, что влияние технологических факторов на параметр Q по степени влияния располагаются в следующий ряд: $v \rightarrow s \rightarrow I \rightarrow B \rightarrow P$.

Определен следующий оптимальный режим нанесения износостойкого покрытия комбинированным методом ЭМН с ЭМУ: $v=5$ мм/с; $s=0,7$ мм/с; $I=100$ А; $B=1,1$ Тл; $P=1$ кН.

Упрощение динамических моделей механических систем

Силкович Ю. Н., Сацук С.М., канд. техн. наук, доценты, БГАТУ, Минск.

Динамическая модель механической системы представляет собой колебательную систему, состоящую из распределенных и сосредоточенных масс, соединенных упругими звеньями, и имеющую бесконечно большое число степеней свободы. Для выполнения расчетов такую систему заменяют упрощенной динамической моделью. Опыт моделирования реальных систем показывает, что с достаточной для практики точностью систему с

бесконечным числом степеней свободы можно моделировать в виде эквивалентной ей системы с сосредоточенными параметрами, имеющей конечное число степеней свободы и описываемой конечным числом дифференциальных уравнений.

Для удобства выполнения расчетов упрощенная динамическая модель должна быть максимально простой, но при этом с достаточной точностью отражать процессы в реальной динамической системе. Для ее получения необходимо учесть решающие факторы, определяющие интересующие нас свойства, отбросив несущественные. Правомерность такой идеализации решается сравнением результатов теоретических и экспериментальных исследований. В большинстве случаев адекватность модели достигается при допущении, что упругие связи в элементах динамической системы линейные, зазоры в соединениях отсутствуют, связи системы стационарны и голономны. Все реальные системы имеют распределенные параметры, но при анализе система приводится к дискретному виду, пренебрегая менее существенным свойством каждого элемента. Так как в системе имеются механические передачи, все ее параметры приводятся к одному валу (к одной угловой скорости).

Приведенная динамическая модель имеет большое число сосредоточенных масс и упругих звеньев. Численное решение системы дифференциальных уравнений большой размерности для такой модели представляет собой достаточно сложную и трудоемкую задачу даже при современном уровне развития вычислительной техники. Вследствие того, что возмущающие воздействия для механических систем обычно лежат в низкочастотной области, модель можно упростить таким образом, чтобы ее частотные свойства в области низких частот, меньших принятой граничной частоты, соответствовали исходной модели. При этом расчет многих характеристик на упрощенной модели обеспечивает достаточную для практических расчетов точность.

Наиболее простым методом упрощения динамических систем является метод парциальных частот, основанный на замене отдельных или парциальных одномассовых систем двухмассовыми или наоборот, на которые можно разбить любую цепную или разветвленную систему. Заменяющая система выбирается так, чтобы ее парциальная частота равнялась парциальной частоте заменяемой системы. Так как высшие частоты при этом существенно искажаются, для достижения приемлемой точности замена производится в случае, когда собственная частота парциальной системы намного больше верхней границы частотного диапазона, в котором требуется провести исследование динамической системы. В результате упрощенная модель имеет избыточное количество собственных частот при отклонении порядка 3...5%. Другие методы упрощения также не обеспечивают высокой точности, особенно для сложных разветвленных систем.

Предлагаемый способ упрощения основан на определении собственных частот и собственных векторов колебаний. Упрощение производится путем объединения отдельных, связанных между собой масс системы таким образом, чтобы общее их количество равнялось количеству собственных частот, меньших граничной частоты. Критерием для объединения масс является наименьшее по абсолютной величине значение разности амплитуд собственных колебаний для всех частот, меньших граничной. Параметры упрощенной системы определяются следующим образом:

- объединенная масса равна сумме объединяемых масс;
- амплитуда колебаний объединенной массы определяется из условия равенства суммы произведений объединяемых масс на амплитуды их колебаний и произведения объединенной массы на амплитуду ее колебаний;
- жесткости связей определяются из условия равенства суммы произведений жесткостей связей объединяемых масс со связанной с ними массой на разность амплитуд колебаний связанных масс и произведения жесткости связи объединенной массы с той же массой на разность амплитуд их колебаний, причем для обеспечения минимальной погрешности упрощения расчет производится для частоты, у которой эта разность максимальна.

Упрощение моделей данным способом целесообразно проводить с использованием математических пакетов, имеющих средства для определения собственных чисел и собственных векторов матриц. Авторами было проведено упрощение динамической модели трактора Т-150К, состоящей из 16 масс, с собственными частотами до 1100 Гц. Для принятой граничной частоты, равной 100 Гц, при помощи пакета MATCAD была получена упрощенная модель, состоящая из 10 масс, при этом погрешность составила менее 1%.

Таким образом, предложенный способ упрощения динамических моделей позволяет обеспечить достаточно высокую точность при небольших затратах времени и упростить моделирование механических систем в требуемом частотном диапазоне.

К моделированию комбинированных агрегатов с учетом экологобережного воздействия на почву

Камински Э., ИБМЭР, Польша, Чнгарев Ю. В., докт. физ.-мат. наук, профессор, **Крук И. С.,** канд. техн. наук, **Зубович Д. Г.,** БГАТУ, г. Минск

Механические обработки почвы являются важнейшим технологическим процессом в земледелии. В системе подготовки почвы возможны варианты раздельного проведения семя и более взаимосвязанных технологических