

Изгибная жесткость резиновой нити. Теория и эксперимент.

Панфилов Дмитрий Игоревич

Аспирант

Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова,
Механико-математический факультет, Кафедра волновой и газовой динамики, Москва,
Россия

E-mail: dmitry.i.panfilov@gmail.com

Одной из мало изученных задач механики, является определение характеристик среды при движении в ней внешнего тела со скоростями близкими к скорости звуковых волн [9]. Между тем, переход через скорость звука является критическим для всех волновых задач. При решении стационарных линейных задач в газовой динамике [8] при переходе через скорость звука меняется тип уравнений (эллиптический тип меняется на гиперболический тип). Отметим, что аналогичные эффекты характерны и для движения тел в твердых деформируемых средах, в которых присутствуют волны двух типов - продольные и поперечные [10]. Увеличение скорости движения поездов уже приблизило эту скорость к скорости поперечных волн, характерной для «пути» (здесь имеется в виду вся система - «рельсы и шпалы, лежащие на грунтовом основании»). В данное время все более широко применяются канатные дороги, где роль рельса выполняет натянутые балки или тросы. В качестве примера можно привести проекты висячих струнных дорог А.Э. Юницкого (пробный проект уже реализован в Нижнем Новгороде). В этом проекте заявляется о возможной скорости движения транспорта - 500 км/час, что может быть вполне сопоставимым со скоростью поперечных волн. Это позволяет говорить об актуальности и новизне такого рода задач, поскольку они имеют как практическую значимость, так и фундаментальный интерес. Поскольку все волновые задачи, независимо от типа волн и объектов, в которых они распространяются, имеют множество схожих аспектов поведения, для анализа данного эффекта выбрана балка Кирхгофа-Лява [1, 2].

В данной же работе рассматривался процесс динамического прогиба предварительно натянутой балки Кирхгофа-Лява под действием сосредоточенной нагрузки [3,5]. Цель работы - определение критических явлений, возникающих при переходе скорости движения нагрузки через характерную скорость для балки. В результате было получено точное аналитическое решение для двух принципиальных задач - во-первых, случая движения нагрузки с постоянной скоростью (Рис.1) и, во-вторых, с постоянным ускорением (Рис.2). Был проведен анализ амплитуды колебаний, а также показано влияние изгибной жесткости балки на ее прогиб как непосредственно в месте приложения нагрузки, так и в области, связанной с фронтом волны, бегущей с характерной для балки скоростью.

Проведенный в НИИ механики МГУ эксперимент доказывает предположение о важности учета изгибной жесткости при решении подобных динамических задач [4,6,7]. В ходе эксперимента моделировалась задача о скольжении связи (ролика) вдоль растяжимой резиновой нити. Верификация эксперимента производилась в рамках модели идеальной нити. На Рис. 3 и 4 представлены отклонения в деформациях, полученных теоретически и экспериментально. Наибольшее расхождение в результатах наблюдается в месте соприкосновения ролика и резиновой нити, а также области, соответствующей фронту поперечной волны, бегущей впереди ролика вдоль нити. В этих областях сказывается изгибная жесткость резины, не учитываемая в рамках модели идеальной нити.

Данная задача является интересной практически и новой с научной точки зрения, поскольку сводится к решению динамической физически и геометрически нелинейной задачи с большими деформациями и перемещениями. Количество исследованных задач такого

типа мало, поэтому теория и получение данных экспериментов для такого класса задач является важным, новым и актуальным делом.

Источники и литература

- 1) Гирхгоф Г. Механика. Лекции по математической физике. - М.: АН СССР, 1962
- 2) Гирхгоф Г. Механика. - М.: АН СССР, 1962
- 3) Звягин А.В., Зубков А.Ф., Панфилов Д.И. Динамический прогиб балки. Исследование традиционных и новых тенденций, закономерностей, факторов и условий функционирования и развития в экономике, проектном менеджменте, образовании, юриспруденции, языкознании, культурологии, экологии, зоологии, химии, биологии, медицине, психологии, политологии, филологии, философии, социологии, градостроительстве, информатике, технике, математике, физике, истории, растениеводстве, 30-31 октября 2014 года, г. Санкт-Петербург. - СПб.: Изд-во «КультИнформПресс», 2014. – 38-43 с.
- 4) Звягин А.В., Зубков А.Ф., Панфилов Д.И. Скользящий удар по гибкой растяжимой нити. Теория и эксперимент. Исследование традиционных и новых тенденций, закономерностей, факторов и условий функционирования и развития в экономике, проектном менеджменте, образовании, юриспруденции, языкознании, культурологии, экологии, зоологии, химии, биологии, медицине, психологии, политологии, филологии, философии, социологии, градостроительстве, информатике, технике, математике, физике, истории, растениеводстве, 30-31 октября 2014 года, г. Санкт-Петербург. - СПб.: Изд-во «КультИнформПресс», 2014. – 44-49 с.
- 5) Панфилов Д.И. Скользящий удар по идеальной растяжимой нити. Сборник докладов международной конференции «Наука как основа возрождения общества и экономики» - Д.: научно-информационный центр «Знание», 2014 – с.10-11
- 6) Панфилов Д.И. Скользящий удар по идеальной растяжимой нити. Москва: МГУ, 2014. Материалы конференции «Ломоносов 2014»
- 7) Панфилов Д.И. Скользящий удар по идеальной растяжимой нити. Москва: МГУ, 2013. Материалы конференции «Конкурс молодых ученых НИИ механики МГУ - 2013»
- 8) Седов Л.И. Механика сплошной среды. – М.: Учебное пособие. Т.1-2. Изд. Наука.1970.
- 9) Тихонов А.Н., Самарский А.А. Уравнения математической физики. Учебное пособие. – М.: Изд-во МГУ, 1999. – 798 с.
- 10) Zvyaguin A.V., Panfilov D.I. The motion of the thread with a variable length. Acta Astronautica 97 (2014) pp. 92–98.

Слова благодарности

Автор выражает благодарность А.В. Звягину за постановку задачи и ценные замечания по работе, а также А.Ф. Зубкову и С.В. Гувернюку, оказавшим содействие при проведении экспериментов.

Иллюстрации

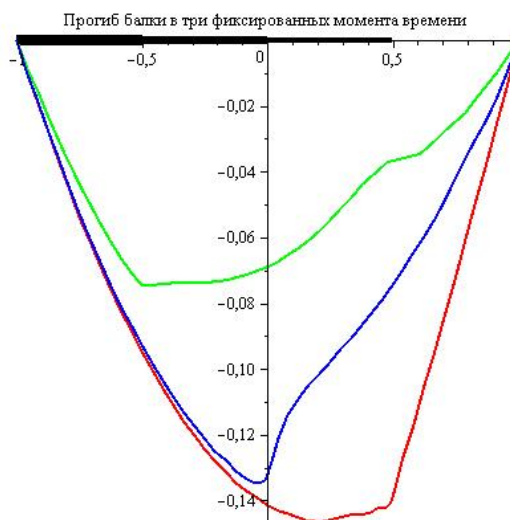


Рис. 1. Прогиб резиновой нити в три последующих момента времени при движении нагрузки равноускорено.

Отн. погрешность	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65
212 кадр: t = 0.0635 сек; V = 8.7 м/сек	104%	229%	92%	91%	28%	28%	11%	18%	66%	36%	20%	10%	13%	4%
235 кадр: t = 0.075 сек; V = 9.7 м/сек	41%	616%	106%	91%	43%	40%	4%	60%	29%	9%	18%	1%		
258 кадр: t = 0.0865 сек; V = 10.8 м/сек	16%	55%	34%	2%	9%	83%	81%	8%						
283 кадр: t = 0.099 сек; V = 11.8 м/сек	37%	67%	58%	40%	21%	20%	19%							
310 кадр: t = 0.1125 сек; V = 12.6 м/сек	44%	114%	96%	14%	4%									

Рис. 2. Относительная погрешность по деформациям впереди ролика.

Отн. погрешность	-85	-80	-75	-70	-65	-60	-55	-50	-45	-40	-35	-30	-25	-20	-15	-10	-5	0
212 кадр: t = 0.0635 сек; V = 8.7 м/сек									2%	3%	1%	8%	52%	52%	51%	50%	45%	104%
235 кадр: t = 0.075 сек; V = 9.7 м/сек								26%	26%	68%	69%	58%	98%	81%	74%	65%	47%	41%
258 кадр: t = 0.0865 сек; V = 10.8 м/сек						26%	6%	34%	79%	40%	85%	112%	83%	62%	55%	41%	35%	16%
283 кадр: t = 0.099 сек; V = 11.8 м/сек			15%	22%	50%	39%	48%	43%	40%	67%	60%	7%	10%	8%	8%	13%	12%	37%
310 кадр: t = 0.1125 сек; V = 12.6 м/сек	15%	18%	14%	15%	36%	37%	30%	46%	46%	3%	3%	2%	8%	24%	28%	39%	39%	44%

Рис. 3. Относительная погрешность по деформациям позади ролика.

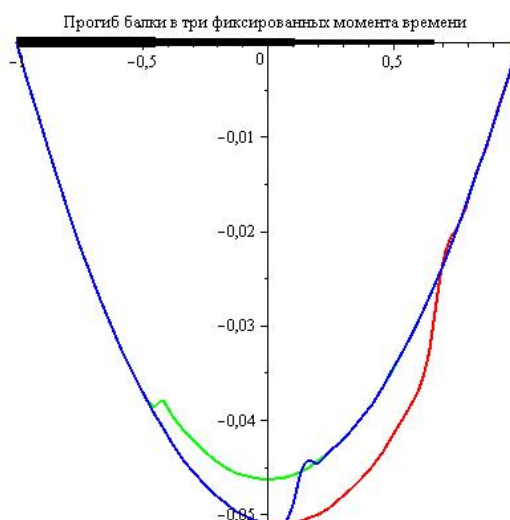


Рис. 4. Прогиб резиновой нити в три последующих момента времени при движении нагрузки с постоянной скоростью.