

*А. А. ЛАРИН*, канд. техн. наук; НТУ «ХПИ»

## **ВКЛАД УКРАИНСКИХ УЧЕНЫХ В РАЗВИТИЕ ТЕОРИИ НЕСТАЦИОНАРНЫХ КОЛЕБАНИЙ**

Статья посвящается истории развития теории нестационарных колебаний и вкладу в нее видных украинских ученых: Ю. А. Митропольского, А. П. Филиппова, В. О. Кононенко, Е. Г. Голоскокова и др. Особое внимание уделяется проблемам прохода роторов через критические обороты.

The history of the theory of non-stationary vibrations of mechanical systems is submitted in the paper. The contribution of Ukrainian scientists Yu. A. Mytropolsky, A. P. Phylippov, V. O. Kononenko, E. G. Goloskokov etc. The special attention attends of problems of passage rotors across critical speeds.

Прикладная теория механических колебаний возникла на рубеже XX века в связи с участвовавшими авариями, причиной которых были повышенные вибрации и усталостное разрушение на резонансных режимах [1]. На первых этапах ее развития основным средством борьбы с вибрациями была отстройка системы от резонанса, поэтому исследование, как правило, ограничивались определением спектра собственных частот. Развитие техники потребовало повышения мощности и скорости вращения энергетических машин, таких как двигатели внутреннего сгорания (ДВС), паровые и газовые турбины с одновременным снижением их веса. Все это привело к тому, что эксплуатационные обороты во многих случаях стали превышать резонансные значения частот колебаний машин в целом или их отдельных деталей, таких как рабочие лопатки, диски, роторы, коленчатые валы и др.

Так возникли задачи о вынужденных колебаниях, в том числе нелинейных систем. Среди них особое место занимают нестационарные колебания, возникающие при переходе от одного установившегося режима работы машины к другому. Дело в том, что во время пуска (разгон) или остановки (выбег) машина проходит резонанс. Амплитуды колебаний, определяющие максимальные напряжения, возникающие при этом в конструкции, меньше, чем на установившемся резонансном режиме, так как они не успевают развиться. Следовательно, простой расчет вынужденных резонансных колебаний даст завышенное значение амплитуд. Поэтому актуальной задачей для таких систем стало изучение нестационарных колебаний, т.е. переходного процесса. Учет особенностей этих колебаний в динамических расчетах способствует более обоснованному выбору запасов прочности и служит дополнительным резервом снижения веса конструкции. Для инженерной практики интерес представляет решение двух видов задач. В прямой задаче при заданной скорости прохода через резонанс, которая определяется мощностью двигателя, инерционными параметрами системы и сопротивлением,

требуется найти максимальную амплитуду колебаний и соответствующую ей частоту, которая отличается от стационарной резонансной. Обратная задача, наоборот, заключается в определении скорости прохода через резонанс, при которой не превышает заданная амплитуда колебаний.

Важнейшим вопросом в изучении нестационарных колебаний стал проход ротора через критическую скорость. Критической угловой скоростью называется угловая скорость вращения вала, при которой упругие восстанавливающие силы и моменты, возникающие при прогибе вала, уравновешиваются силами инерции и их моментами при обращении вокруг линии подшипников. Теория вращения гибкого вала с одним диском при постоянном числе оборотов дает следующее представление о характере движения на критических оборотах: вал выгибается в плоскости неуравновешенности и в таком изогнутом состоянии вращается вокруг линии опор. При этом вектор прогиба на скорости ниже критической направлен в ту же сторону, что и вектор дисбаланса, а на скорости выше критической – в противоположную сторону. При наличии трения вектор дисбаланса всегда составляет некоторый угол с вектором прогиба. На критической же скорости эти векторы образуют прямой угол. Это соответствует сдвигу фазы на резонансе на  $\pi/2$  для обычной колебательной системы с одной степенью свободы. Таким образом, задачи о переходе ротора через критические скорости соответствуют задачам перехода через резонанс и рассматриваются с помощью тех же методов. Проблема прохода ротора через критические скорости возникла, когда в паровых и газовых турбинах стали применяться так называемые "гибкие" роторы, для которых первые критические скорости оказываются ниже рабочих оборотов.

С необходимостью исследования нестационарных колебаний мы встречаемся в задачах о прохождении через резонанс не только двигателей и турбомашин, но и центрифуг, насосов, различных гироскопических систем, в задачах исследования систем регулирования, при изучении колебаний в системах с переменными параметрами. Нестационарные колебательные процессы возникают также в машинах и механизмах при аэродинамических воздействиях среды, движущейся с переменной скоростью, при действии ударных, пульсирующих или подвижных нагрузок, например, в задачах, связанных с колебаниями мостов и подъемных кранов. Нестационарные процессы имеют большое значение и для решения практических задач электротехники, радиотехники и акустики.

Несмотря на важность нестационарных колебаний, их истории отдельных исследований не посвящается. Поэтому в данной статье ставится задача изложить этот вопрос и осветить вклад в развитие теории нестационарных колебаний украинских ученых, труды которых занимают ведущее место среди работ советских ученых и признаны за рубежом.

Дифференциальные уравнения, описывающие переходные процессы,

принципиальных отличий от уравнений установившихся движений не имеют. Однако сами решения этих уравнений в корне отличаются от расчета вынужденных установившихся колебаний и требуют большого объема вычислений. В связи с этим до появления вычислительной техники разрабатывались различные приемы решения данных уравнений. Наибольший практический интерес среди всех переходных процессов представляет прохождение через резонанс, которое зачастую определяет работоспособность конструкции.

В первых исследованиях нестационарных процессов рассматривались линейные системы с одной степенью свободы в предположении, что источник энергии обладает неограниченной мощностью. Частота возмущающей силы при этом принималась изменяющейся по линейному закону. Ф. М. Льюис в работе [2], изданной в 1932 г., рассматривает переход через резонанс такой системы. Он предложил рассматривать интеграл, к которому приводится определение вынужденных колебаний при переходе через резонанс, в плоскости комплексного переменного и выбирать путь интегрирования так, чтобы избежать вычислительных затруднений. Для этого он использует ряды, при малых значениях комплексной переменной - сходящийся, а при больших - асимптотический. В случаях, когда ряды оказываются непригодными для вычислений, Льюис прибегает к численному интегрированию, а для упрощения вычислений он использует графоаналитический прием, однако довольно трудоемкий. Т. Пёшль в работе 1933 г. [3], рассматривая задачу без учета затухания, сводит ее к интегралу Френеля. Поскольку эти интегралы представляют собой хорошо изученные и табулированные функции, то вычисление амплитуд колебаний не вызывает затруднений.

Однако результаты первых исследователей прохода через резонанс очень плохо согласовываются с экспериментальными данными. Это объясняется отсутствием в этих исследованиях трения, а, как известно, амплитуда резонансных колебаний очень сильно зависит от демпфирования. Но учет сопротивления даже в виде простого вязкого трения, линейно зависящего от скорости, приводит к серьезным вычислительным трудностям. Следующим важным шагом в вопросе о переходе через резонанс системы с одной степенью свободы явилась работа А. М. Каца [4]. Используя идею Льюиса, он выбирает независимые переменные и путь интегрирования иначе, что позволяет ему прийти к более простой методике расчета [5, с. 7]. Однако если ввести в рассмотрение силу сопротивления, то вычисление интеграла сильно усложняется, так как он в то время не был выражен через табулированные функции, а численное его определение крайне затруднительно, так как подынтегральная функция является быстроколеблющейся. Но в большинстве технических задач интерес представляет лишь максимальное значение амплитуды колебаний, а для этого не требуется построения всей кривой амплитуд, т.е. огибающей. А. М. Кац получил весьма важную формулу для определения частоты возмущающей силы, при которой достигается макси-

мальная амплитуда колебаний, а также нашел границы частот, в пределах которых скорость изменения частоты не влияет на амплитуду нестационарных колебаний [4]. Однако методы Льюиса и Каца применимы только для систем с одной степенью свободы [6, с. 19].

Большой вклад в развитие теории нестационарных колебаний внес академик АН УССР А. П. Филиппов. Решения задачи о переходе через резонанс линейной системы с одной степенью свободы при изменении частоты по законам квадратной и кубической парабол им получены в рядах [7, 8]. В монографии Анатолия Петровича [9, с. 513-517] решения для системы с одной степенью свободы распространяются на случай линейных систем с несколькими степенями свободы. Это одна из первых работ, где рассматриваются такие системы. В ней приводятся численные результаты и графики максимальных амплитуд в зависимости от скорости прохода через резонанс.

Проблемами теории нестационарных колебаний занимался ученик Филиппова Е. Г. Голоскоков, их совместные монографии [10, 11, 12] являются самыми фундаментальными в этой области теории колебаний. В противовес прямому интегрированию и разложению решения в ряды харьковские ученые предложили вместо обобщенной координаты использовать комплексную переменную, решая полученное уравнение методом вариации произвольной постоянной. Поскольку полученный в результате преобразований интеграл не выражается через простые функции в замкнутой форме, а подынтегральная функция является быстроколеблющейся, для решения задачи Филиппов и Голоскоков применяли табулированные функции [13]. В результате они получали зависимость амплитуды колебаний, происходящих с переменной частотой, от времени, т.е. огибающую кривую колебательного процесса. Таким образом, в систематизированном виде была разработана методика определения амплитуды колебаний в задаче о прохождении через резонанс линейной системы с одной степенью свободы под действием возмущающей силы с линейно изменяющейся частотой.

Полученное решение задачи для системы с одной степенью свободы, а также информация и выводы, следующие из этого решения, служат основой для анализа нестационарного колебательного процесса в любых других системах, движение которых описывается линейными дифференциальными уравнениями с постоянными коэффициентами, поскольку они сводятся к сумме решений соответствующих дифференциальных уравнений второго порядка. Это обстоятельство позволило разработать единую методику решения задач о нестационарных колебаниях более сложных систем с любым числом степеней свободы. Применение таблиц для вычисления интегралов от быстро колеблющихся функций значительно сокращает трудоемкость вычислений по сравнению с численным интегрированием или использованием рядов. Это обстоятельство обеспечивает эффективность метода решения данной задачи, в том числе и для системы с любым числом степеней

свободы. Решения, выраженные через интеграл вероятностей от комплексного аргумента, позволяют рассматривать прохождение через резонанс не только с первой собственной частотой, но и с высшими частотами. Применение этого интеграла позволило получить удобные для анализа и вычислений решения ряда новых задач, важных для практики, установить некоторые ранее неизвестные закономерности в поведении систем при нестационарном режиме колебаний, описываемых линейными уравнениями, как с постоянными коэффициентами, так и с периодически изменяющимися, а также определить характер совместного влияния различных параметров системы на развитие колебаний. Полученные решения позволяют найти амплитуды нестационарных колебаний и, таким образом, дают возможность ответить на важный вопрос, насколько уменьшается эта амплитуда по сравнению со стационарным резонансным режимом, насколько опасными являются нестационарные колебания и при какой скорости перехода через резонанс амплитуда колебаний окажется в допустимых пределах.

В докторской диссертации Е. Г. Голоскокова [14] получено решение для стержней, пластин и оболочек при действии продольных сил (или сил, действующих в срединной плоскости) постоянной частоты. Обнаружены новые особенности систем, характерные для такого сочетания действующих сил.

Значительно сложнее задача исследования нестационарных процессов в нелинейных системах. Однако для них оказалась применима идея асимптотических методов, развитых Н. М. Крыловым и Н. Н. Боголюбовым. Правда, в их работах метод асимптотических разложений не применен для детального исследования нестационарных процессов в нелинейных системах. Случай медленного прохождения через резонанс не только линейных систем, как с одной, так и со многими степенями свободы с помощью метода асимптотического интегрирования был рассмотрен С. Ф. Фещенко [15].

Разработке методов приближенного решения нелинейных уравнений с медленно меняющимися параметрами и исследованию с помощью этих методов резонансных явлений посвящена кандидатская диссертация Ю. А. Митропольского [16], выполненная в 1947 г. под руководством Н. Н. Боголюбова. В ней на основе методов нелинейной механики Крылова-Боголюбова была изложена методика формальных решений для нелинейных систем с медленно меняющимися параметрами. До этого подобные задачи решались только для простых линейных систем. Однако в этой работе еще отсутствовало строгое математическое доказательство изложенного метода.

Позже Ю. А. Митропольский развил это направление в своей докторской диссертации [6] и последующих работах [17, 18], посвященных разработке и математическому обоснованию методов решения нелинейных уравнений с медленно меняющимися параметрами и исследованию с помощью этих методов процессов, происходящих в нелинейных механических системах при прохождении через резонанс. Митропольским дано дальнейшее развитие и

применение метода усреднения для изучения нестационарных режимов в сложных нелинейных системах, а также дано математическое обоснование асимптотического метода. Рассматриваются особенности резонансных кривых при различных типах нелинейностей упругих характеристик элементов, прохождение через резонансы основной, дробный и внутренний, влияние гармоник возмущающей силы, прохождение через параметрический резонанс и т.д. Построены асимптотические решения, описывающие одночастотные колебания в нелинейных гироскопических системах и в некоторых системах с распределенными параметрами. Одночастотный метод оказался особенно эффективным, позволяя построить асимптотические приближения для нелинейной системы со многими степенями свободы на основе простой расчетной схемы, представляющей некоторую эквивалентную систему с одной степенью свободы. В докторской диссертации Ю. А. Митропольский в качестве примера рассматривает вынужденные колебания валопровода авиадвигателя М-105 при прохождении через резонанс [6, с. 103-142]. Таким образом, в трудах Ю. А. Митропольского впервые в мировой литературе изложена полная теория нестационарных колебаний [19, с. 103].

Идеи асимптотических методов получили дальнейшее развитие в работах Б. И. Мосеевкова [20], В. П. Рубаника [21], Т. А. Гибилова [22] и других авторов для получения решений задач о нестационарных колебаниях стержней двойкой жесткости, при рассмотрении многочастотных нестационарных колебаний в квазилинейных системах с запаздывающими аргументами и других нелинейных систем.

В исследованиях А. П. Филиппова и Е. Г. Голоскокова проведено сравнение результатов точного численного интегрирования дифференциального уравнения с решением в первом приближении, полученным при помощи асимптотических методов, выяснена точность первого приближения, т.е. пределы применимости их к задачам с существенной нелинейностью. Расчеты выполнялись на ЭЦВМ и моделирующей машине. В частности, при малом затухании и большой амплитуде возмущающей силы, т.е. в случае резко выраженного резонанса, асимптотические методы дают завышенные значения амплитуды.

С развитием ЭВМ точные численные методы пришли на смену приближенным аналитическим. Их достоинство в том, что они не накладывают каких-либо ограничений на вид рассматриваемой нелинейности и на скорость протекания процесса. При их использовании нет необходимости заранее предписывать вид решения. Таким образом, численные методы представляют собой наиболее мощное средство решения обширного круга задач нестационарных колебаний, задач об ударном воздействии нагрузок, о воздействии подвижных нагрузок и др.

Наиболее важной для практики задачей теории нестационарных колебаний является задача о переходе ротора через критические скорости. Однако,

несмотря на ее важность, долгое время вопрос о нестационарных изгибных колебаниях вращающихся при переменных оборотах валов и соответствующем напряженном состоянии гибкого вала в связи с его вращением долго оставался слабо изученным. Совершенно не был освещен вопрос об изгибных колебаниях при переходе через критическую скорость вращения вала на упругих анизотропных опорах и вала неравножесткого в двух плоскостях изгиба.

Первая попытка решения вопроса поперечных колебаний вращающегося вала с одним диском при переходе через критическую скорость была предпринята известным физиком П. Л. Капицей в 1939 г. [23]. Но в этой работе автор, принимая угловое ускорение слишком малым, приходит к решению, которое, в сущности, отражает вынужденные установившиеся колебания. Задача о переходе через критическую скорость гибкого вала, лежащего на жестких или упруго-податливых опорах, сводится к вычислению интегралов вероятностей от комплексного аргумента. В системе с упругими опорами разной жесткости в вертикальном и горизонтальном направлении имеется две критические скорости, а прогибы вала на оси, вращающейся вместе с ним системы координат, содержат вторую гармонику колебаний. Напряжения в вале содержат медленно меняющуюся составляющую, которая неоднократно переходит через 0, достигая наибольшего значения в момент времени, несколько смещенный относительно момента достижения критической скорости вращения. Сравнивая прохождение через критическую скорость вала с распределенной массой с системой с одной степенью свободы (случай вала с одним диском), Ф. М. Диментберг [24, с. 47-65] установил, что такой вал вблизи любой из критических скоростей ведет себя как система с одной степенью свободы.

В конце 1950-х гг. в связи с увеличением мощности и быстроходности турбомашин, а также с развитием роторных машин актуальной стала проблема динамических расчетов роторов. Решение ряда задач для роторов удалось построить на основе асимптотических методов нелинейной механики. Б. И. Мосеенков в работе [20] рассмотрел дифференциальное уравнение изгибных колебаний стержня двойкой жесткости с учетом собственного веса стержня и сил трения. Если главные моменты инерции поперечного сечения стержня мало отличаются друг от друга, то задаче соответствует система уравнений, содержащая малый параметр. В этом случае ее можно интегрировать методами Крылова – Боголюбова. Параллельно изгибные колебания стержня двойкой жесткости изучал О. Н. Романив [25]. Его результат, полученный методом Ван-дер-Поля, совпадает с первым приближением Мосеенкова. Переход вала с неодинаковой жесткостью через критическую скорость рассматривались также Ф. М. Диментбергом [24, с. 210-218].

Известный теоретический и практический интерес представляет задача о вращении ротора на нелинейных упругих опорах, впервые поставленная и

решенная Н. В. Григорьевым [26, с. 115-129]. Это решение позволяет объяснить поведение ряда упругих систем, а также построить теорию и методы учета нелинейного демпфирования колебаний элементов машин с помощью применения упруго-нелинейных звеньев.

В 1960-е гг. появились газотурбинные установки, у которых соосные роторы связаны между собой через опоры. При этом на каждый вал действуют возмущения, имеющие разные частоты, что приводит к возникновению режимов прямой и обратной прецессии [27]. В таких системах происходит перекачка энергии от одного ротора к другому, вследствие чего могут возникнуть субгармонические (дробные) резонансы и автоколебательные режимы.

В работе В. А. Грובה [27] рассматриваются изгибные колебания валов быстроходных турбомашин на основе асимптотических методов. Им исследуются нестационарные колебания валов на жестких опорах, на упругих опорах, совместные колебания системы ротор-статор, колебания соосных роторов, а также исследуется ряд других задач, связанных с устойчивостью и стационарными и нестационарными колебаниями валов.

Работами В. О. Кононенко положено начало новому разделу в исследовании нестационарных колебаний механических систем – систем с источниками энергии ограниченной мощности. В его монографии [28] излагаются основополагающие исследования, определяющие основные особенности поведения систем с ограниченным возбуждением в стационарном и нестационарном режимах. Кононенко были выяснены энергетические соотношения, вносимые связностью с двигателем, и показан их геометрический смысл в стационарном режиме. При этом на базе метода усреднения рассмотрены параметрические колебания, автоколебания, резонанс  $n$ -го рода, одночастотные резонансные колебания в системе с несколькими степенями свободы, взаимодействующей с источником энергии и другие задачи. Для изучения взаимодействия колебательных систем с источником энергии широко использовалось электро моделирование. Ряд теоретических результатов проверен экспериментально на лабораторной модели, представляющей собой вал с двумя тяжелыми неуравновешенными дисками. Было установлено, что экспериментальные данные, как при стационарном режиме, так и при нестационарном, находятся в достаточно хорошем согласии с теоретическими выводами [28, с. 231-248].

В докторской диссертации Е. Г. Голоскокова задача о критических режимах обобщается на случай валов переменного поперечного сечения и решается методом последовательных приближений на базе интегральных уравнений, предложенных И. А. Биргером [29, с. 122-129]. Метод позволяет учитывать гироскопический эффект распределенных и сосредоточенных масс и допускает реализацию алгоритма последовательных приближений на ЭЦВМ для вычисления не только первой, но и высших критических



скоростей вращения. При этом он не имеет ограничений на количество нелинейных упругих опор и имеет хорошую сходимость, что в работе иллюстрируется примером [14, с. 540].

Е. Г. Голоскоков рассмотрел одну из принципиальных схем соосных роторов и подтвердил своим исследованием возможность существования устойчивых автоколебательных режимов. Он также проанализировал влияние некоторых параметров на амплитуды автоколебаний. Им подробно изучено влияние упругих опор на критические скорости вала с одним диском при учете гироскопического эффекта, обусловленного податливостью опор. Показано, что при определенных условиях поведение системы является таким же, как и в хорошо изученном случае жестких опор, но с несимметрично расположенным диском. В задачах об устойчивости вала двоякой жесткости установлено, что, в отличие от вращения круглого вала с критической скоростью, когда силы внешнего трения, независимо от их величины, ограничивают деформации вала, здесь не всегда наблюдается такой результат.

Полученные для различных моделей результаты прохода гибкого вала через критические обороты нашли широкое применение при расчетах роторов паровых и газовых турбин.

**Список литературы:** 1. *Ларин А. А.* Становление теории колебаний механических систем: исторический обзор / А. А. Ларин // Дослідження з історії техніки Зб. наукових праць. – 2006. – Вип. 8. – С. 41-50 2. *Lewis F. M.* Vibration During Acceleration Through a Critical Speed. / F. M. Lewis // Transaction of the ASME. - 1932, 54, 23. - P. 253-263 3. *Pöschl T.* Das Anlaufen eines einfachen Schwinger. / T. Pöschl // Ing. Arch., 1933, 4.- P. 98-102 4. *Кац А. М.* Вынужденные колебания при прохождении через резонанс/ А. М. Кац // Инж. сб. – 1947. - т. III, вып. 2. - М.: Изд-во АН СССР. - С. 100-125 5. *Голоскоков Е. Г.* Прохождение через резонанс линейных систем с одной и многими степенями свободы (стержни, пластины): дис. ... канд. техн. наук / Голоскоков Евгений Григорьевич. – Харьков, 1958. – 202 с. 6. *Митропольский Ю. А.* Медленные процессы в нелинейных колебательных системах со многими степенями свободы: дис. ... докт. техн. наук // Юрий Алексеевич Митропольский. – К., 1950.– 199 с. 7. *Филиппов А. П.* Вынужденные колебания линейной системы при прохождении через резонанс с нелинейно изменяющейся частотой / А. П. Филиппов // Изв АН СССР, ОТН. – 1958. - 12. - С. 47-53 8. *Филиппов А. П.* К вопросу о переходе через резонанс с нелинейной скоростью системы с одной степенью свободы / А. П. Филиппов // Труды Лаборатории гидравлических машин АН УССР, 9. – К.: Изд-во АН УССР.– 1961. – С. 37-48 9. *Филиппов А. П.* Колебания механических систем / А. П. Филиппов. – К.: Наукова думка. - 1965. – 716 с. 10. *Голоскоков Е. Г.* / Нестационарные колебания деформируемых систем / Е. Г. Голоскоков, А. П. Филиппов // – К.: Наукова думка, 1977. – 336 с. 11. *Голоскоков Е. Г.* / Нестационарные колебания механических систем/ Е. Г. Голоскоков, А. П. Филиппов // – К.: Наукова думка, 1966. – 334 с. 12. *Goloskokov G.* Einstationäre Schwingungen mechanischer Systeme / G. Goloskokov; A. P. Filippov. – Academie – Verlag, Berlin. – 1971. 13. *Фаддеева В. Н.* Таблицы значений интеграла вероятностей от комплексного аргумента / В. Н. Фаддеева, Н. М. Терентьев Н. М. // М.: ГИТТЛ, 1954. – 268 с. 14. *Голоскоков Е. Г.* Нестационарные колебания механических систем дис. ... докт. техн. наук / Голоскоков Евгений Григорьевич. – Харьков, 1968. – 564 с. 15. *Фещенко С. Ф.* Про асимптотичне представлення інтегралів спеціальної системи диференціальних рівнянь, що мають параметр / С. Ф. Фещенко // Доп. АН УССР. – № 2. – 1947. – С. 48-56 16. *Митропольский Ю. А.* Исследование резонансных явлений в нелинейных системах с переменными частотами дис. ... канд. техн. наук // Митропольский Юрий Алексеевич. – К., 1947.– 107 с. 17. *Митропольский*

Ю. А. Нестационарные процессы в нелинейных колебательных системах / Ю. А. Митропольский. – К.: Изд-во АН УССР. – 1955. – 284 с. **18. Митропольский Ю. А.** Проблемы асимптотической теории нестационарных колебаний / Ю. А. Митропольский. – М.: Наука. – 1964. – 431 с. **19. Храмов Ю. О.** Ю. О. Митропольский та його наукова школа (до 90 річчя від дня народження вченого) / Ю. О. Храмов, Кілочицька Т. В. // «Наука і наукознавство». – 2007. – №.2. – С. 101-115 **20. Мосєнков Б. І.** Поперечні коливання стержня двоякої жорсткості в перехідному режимі обертання / Б. І. Мосєнков // Прикладна механіка. - 1957. – т. III. – вип. 2. – С. 155-167 **21. Рубаник В. П.** Прохождение через резонанс в нелинейных системах со многими степенями свободы при воздействии многочастотных возмущающих сил / В. П. Рубаник // Сб. «Проблемы прочности в машиностроении», вып. 7. – М.: Изд-во АН СССР. – 1962. – С. 3-18 **22. Тибилов Т. А.** Асимптотический метод исследования переходных процессов в нелинейных колебательных системах / Т. А. Тибилов // Докл. АН СССР. – 1963. - т. 153. – № 1. – С. 64-66 **23. Капица П. Л.** Устойчивость и переход через критические обороты быстро вращающихся роторов при наличии трения / П. Л. Капица // Журнал технической физики. – 1939. – т. IX, вып. 2. – С. 125-147 **24. Диментберг Ф. М.** Изгибные колебания вращающихся валов / Ф. М. Диментберг. – М.–Л.: Изд-во АН СССР, 1959. – 248 с. **25. Романив О. Н.** Поперечные колебания вала двоякой жесткости / О. Н. Романив. – Львов: Изд-во ЛПИ. - 1957. – 83 с. **26. Григорьев Н. В.** Нелинейные колебания машин и сооружений / Н. В. Григорьев. – М.–Л.: МАШГИЗ. - 1961. – 256 с. **27. Гробов В. А.** Асимптотические методы расчета изгибных колебаний валов турбомашин / В. А. Гробов. – М.: Изд-во АН СССР. – 1961. – 166 с. **28. Кононенко В. О.** Колебательные системы с ограниченным возбуждением / В. О. Кононенко. – М.: Наука. – 1964. – 254 с. **29. Биргер И. А.** Некоторые математические методы решения инженерных задач / И. А. Биргер. - М.: Оборонгиз. - 1956. – 151 с.

*Поступила в редакцію 07.11.09*

УДК 51(09)

**Я. ЛЕВКУН**, Чернівецький національний Університет

## **ІВАН БОРКОВСЬКИЙ - ПРЕДСТАВНИК "ПРАЗЬКОЇ ШКОЛИ УКРАЇНСЬКОЇ АРХЕОЛОГІЇ"**

Автор вперше в Україні досліджує біографію Івана Борковського, вченого, першовідкривача археологічної "пражської культури", засновника модерної чеської археологічної науки, дослідника Празького града, Старої Праги, Левого Градця та інших знаменитих святинь.

The author is the first researcher in Ukraine who explores his biography and returns the fame to Ivan Inanovych Borkovskuy a freeman of Ukraine. He is a famous scientist with a world- famous name, who discovered the archeology of the «Prague culture», a founder of archeology- a new modern Czech science, a researcher of the Prague grad, the Old Prague, the Left gradec and many others well-known relics.

З проголошенням Незалежності України 24 серпня 1991 року науковці почали відкривати народіві України сторінку за сторінкою замовчувану правду. І це, звичайно, робили і продовжують робити вчені, свідомо розуміючи слова великого сина України Миколи Костомарова: "... щира