

А.А. Яланский, д-р техн. наук,  
И.Н. Слащев, канд. техн. наук (ИГТМ НАНУ)  
Алекс. А. Яланский, канд. техн. наук,  
Н.А. Иконникова, ассистент (НГУ)  
А.А. Цикра, канд. техн. наук  
(АП «Шахта им. А.Ф. Засядько»)

## **ОЦЕНКА ХАОТИЧНОСТИ ПРОЦЕССОВ, ПРОИСХОДЯЩИХ В ГОРНЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ, ОСОБЕННОСТИ УПРАВЛЕНИЯ И ИСПОЛЬЗОВАНИЯ**

Проведені дослідження хаотичних процесів в гірничих технічних системах методами математичного моделювання, на основі яких дано оцінку можливості виникнення хаотичності, розглянуті особливості управління та використання.

## **ESTIMATION OF A RANDOMNESS OF THE PROCESSES OCCURRING IN MINING SYSTEMS, THE FEATURES OF THEIR CONTROLLING AND USE**

Researches of chaotic processes in mining systems are executed by methods of mathematical modeling. Features of management and use of these systems are considered. Possibility of occurrence of chaos in mining systems is estimated.

Длительное время в науке существовало убеждение, что вокруг выработок образуются зоны опорного давления, обусловленные только давлением вышележащих пород, на которые накладывается влияние тектонических и техногенных динамических воздействий. Комплексные геофизические исследования протяженных горных выработок, тоннелей показали, что формирование пустот, напряжений подчиняется еще и синергетическим закономерностям, которые определяются как горно-геологическими условиями, так и горнотехническими факторами [1, 2].

На малых глубинах разработки процесс разрушения породного массива имеет причинно-следственный характер. С ростом глубины, когда величины напряжений становятся соизмеримыми с прочностью пород, разрушение усиливается, лавинообразно растет количество очагов разрушения различных типов, природа разрушения становится более многообразной: разрушение хрупкое, пластическое, сколы на дислокациях, трещинах и микротрещинах, с накоплением повреждений, воды и газа [3]. Немаловажную роль в распределении свойств и состояния элементов крепи и массива играют технологические особенности проведения выработок, а именно: способы и средства проходки; вид и тип крепи, цикличность и повторяемость элементов, способы и средства забутовки пространства; условия эксплуатации, а также гидрогеологические условия. Таким образом, ранее принятое модельное представление не отражает в полной мере особенностей поведения подработанной толщи, в особенности в условиях динамического воздействия на массив, а контроль и управление состоянием таких объектов становится чрезвычайно сложным, см. рис. 1 (люДСКОЙ ходок шахты им. А.Ф. Засядько, пласт  $m_3$ ) и рис. 2 (участок тоннеля № 1 канала «Днепр-Донбасс»).

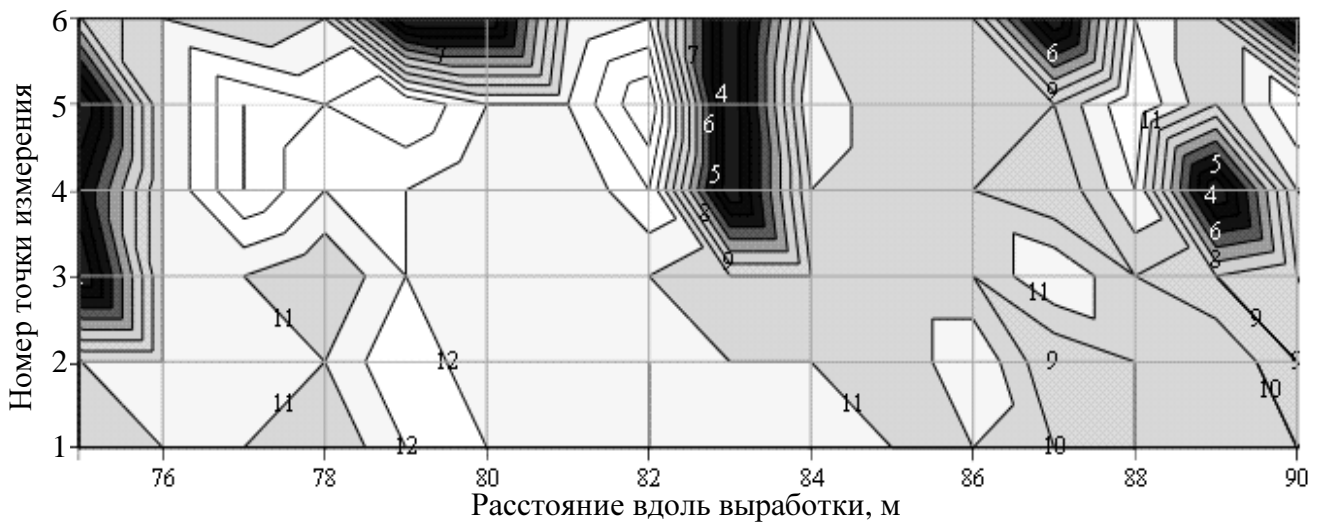
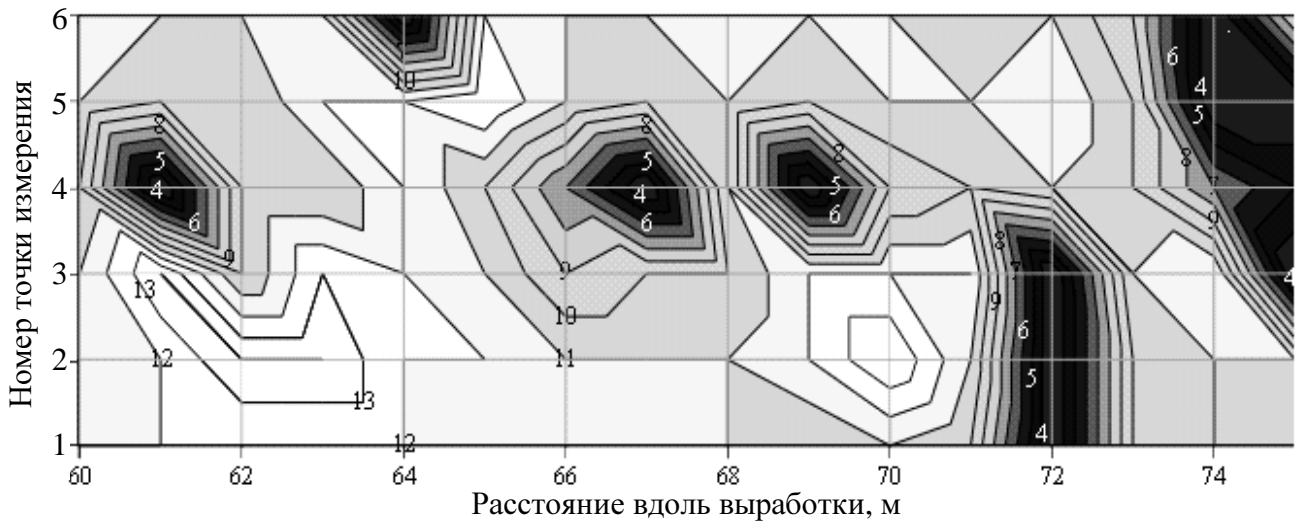
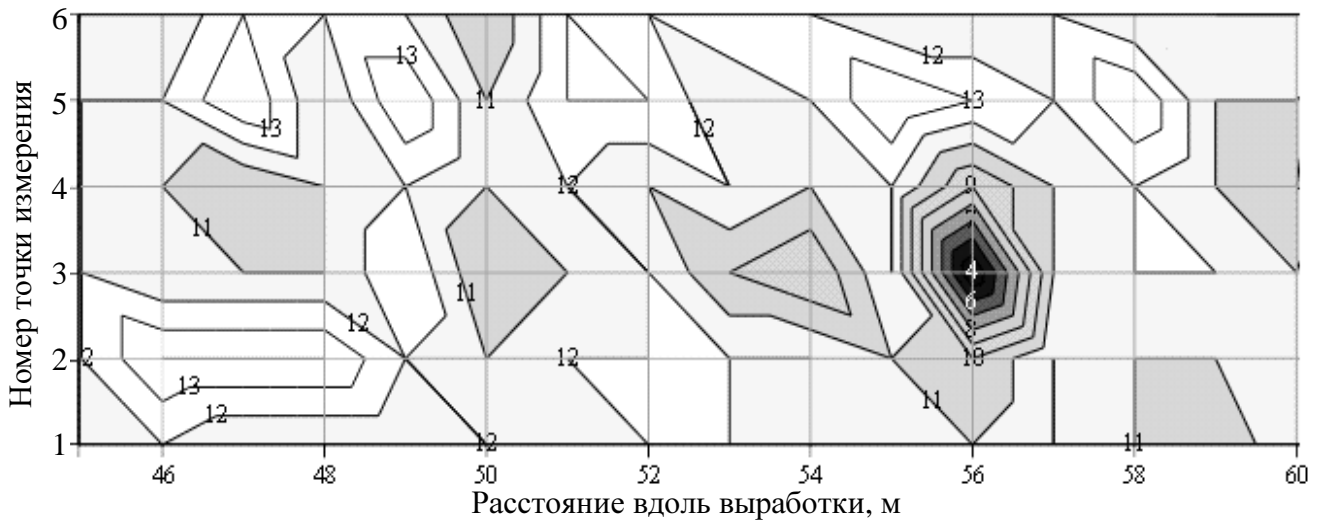


Рис. 1 – Карты распределения зон повышенной нагруженности крепи (темные участки) и пустот закрепного пространства (светлые участки) людского хода угольной шахты им. А.Ф. Засядько

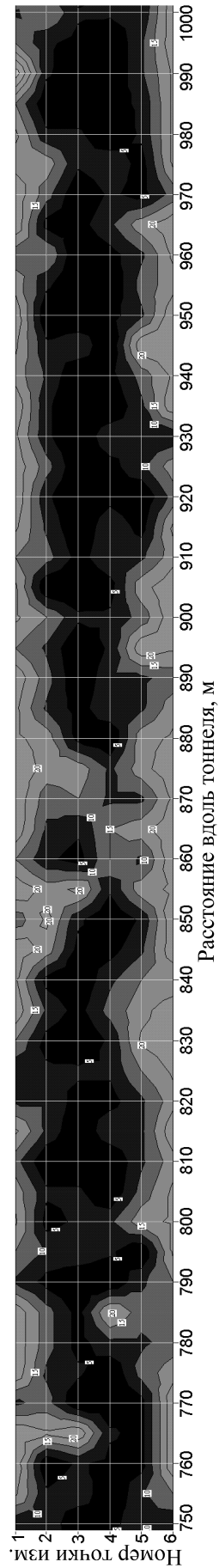
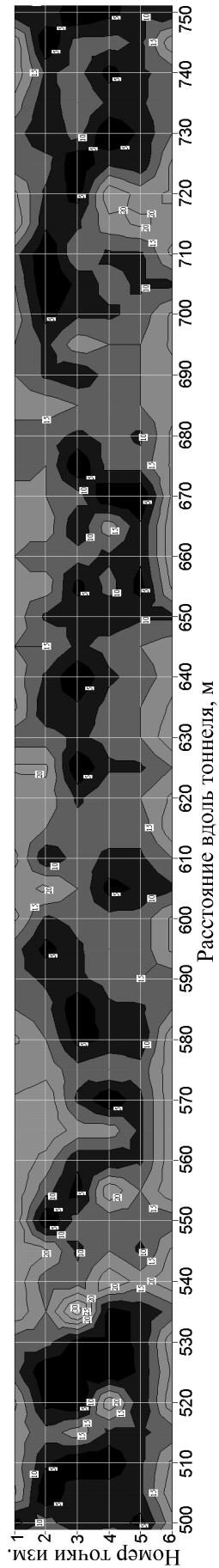
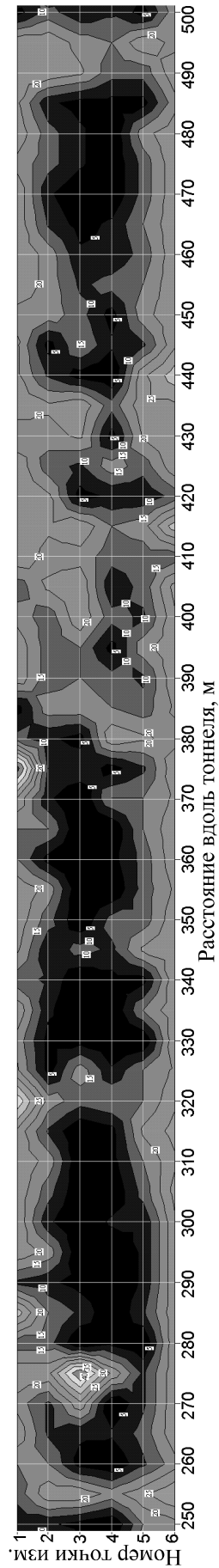
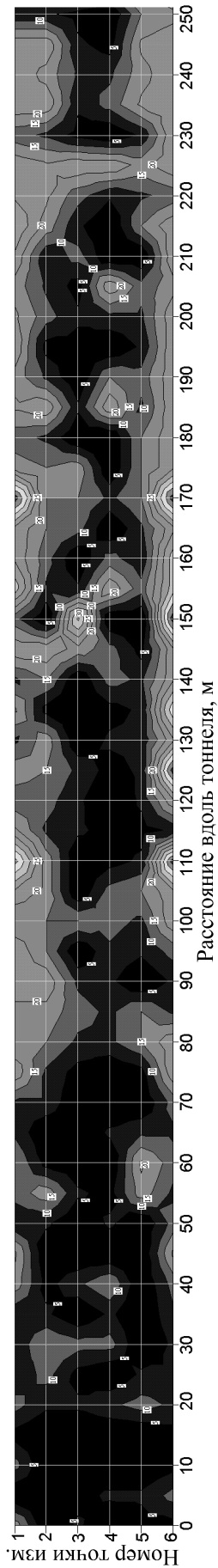


Рис. 2 – Карта пустот за обделкой участка тоннеля № 1 канала «Днепр – Донбасс», подтверждающая квазипериодический характер структурно-фазовой организации грунтового массива

Если на рис. 1 еще видно влияние детерминированной составляющей от напряжений, возникающих в результате отработки предыдущих лав, то карта распределения пустот в грунтовом массиве и нагрузок на обделку тоннеля (рис. 2) свидетельствует о значительном вкладе случайности в их зональность.

Экспериментально установлена неизвестная ранее закономерность самоорганизации грунтовых и породных массивов вокруг протяженных подземных выработок, заключающаяся в том, что при комплексном воздействии случайных и детерминированных природно-техногенных факторов самоорганизации массивов она реализуется в виде возникающих вокруг протяженных подземных выработок квазипериодических (по времени выстраивания и по расположению относительно сечения и простирания выработок) регулятивных геодилатационных полей и обусловлена саморазрушениями перенапряженных участков этих массивов за счет суперпозиции зон концентрации напряжений вокруг подземных выработок и рекомбинационной смены альтернативных квазистационарных равновесных состояний, соответствующих минимальным значениям потенциальной энергии [4].

Это открытие вносит принципиально новые представления о геомеханических процессах, происходящих в напряженных массивах вокруг протяженных геомеханических структур: тоннелей, стволов, горных выработок, карстов, пустот и дизъюнктивных тектонических нарушений.

Для анализа хаотичности горных геотехнических и технических систем в качестве исходных математических моделей используем системы трех связанных гравитационных маятников, в том числе с маховиком, и системы простых и полносвязных пружинных маятников. Они позволили на основе методов аналитической механики выявить, проработать и описать особенности моделирования хаотических режимов механических систем, определить влияние допустимой погрешности итераций и порядка вычислений величин угловых ускорений эксцентрически смещенных масс внутри одной итерации на поведение детерминированной системы при моделировании динамики развития хаотических процессов [5, 6].

Как известно, наличие положительного старшего ляпуновского показателя  $\Lambda$  является критерием хаоса, который определяем в соответствии с алгоритмом Бенеттина [7], состоящим в выполнении следующих действий, рис. 3, а. Задавшись некоторой исходной точкой фазового пространства  $x_0$ , рассмотрим исходящую из нее траекторию и возмущенную траекторию, стартующую из точки, удаленной от  $x_0$  на расстояние нормы вектора возмущения  $\xi: x_0 + \tilde{x}_0$ , где  $\|\tilde{x}_0\| = \xi$  (см. рис. 3). С помощью программной модели определяем векторы состояния системы и их возмущения через периоды времени  $T$ . Отношение  $\|\tilde{x}_k\|/\xi$  характеризует изменение нормы вектора возмущения за время  $T$  на  $k$ -ом шаге. При прохождении точки бифуркации указанное отношение значительно возрастает, т. к. возмущенная траектория качественно отклоняется от исходной.

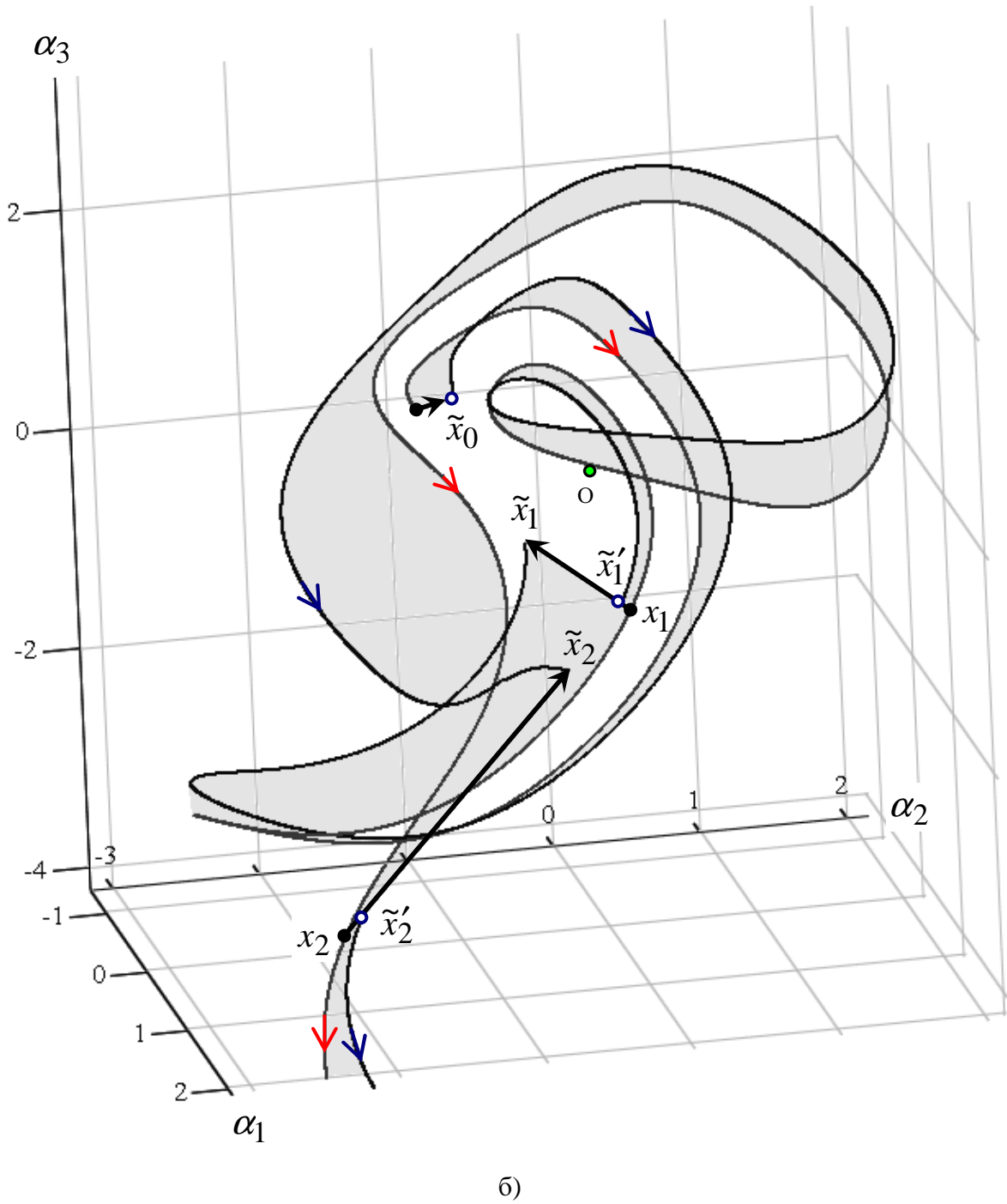
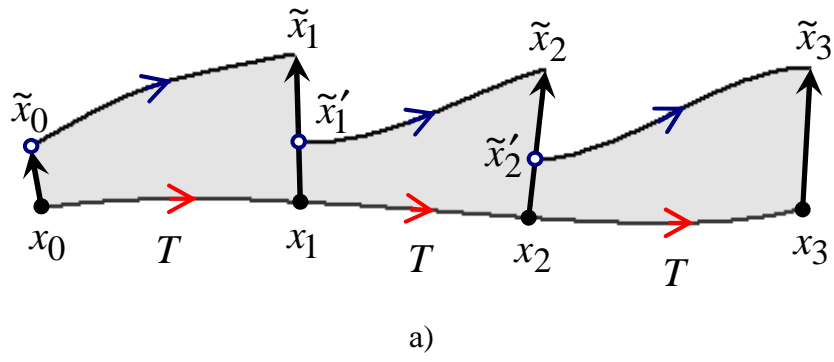


Рис. 3 – Иллюстрация определения старшего показателя Ляпунова по алгоритму Бенеттина в общем случае (а) и для системы трех гравитационных маятников(б)

Старший показатель Ляпунова  $\Lambda \cong \frac{1}{MT} \ln P = \frac{1}{MT} \sum_{k=1}^M \ln \frac{\|\tilde{x}_k\|}{\xi}$ , где  $M$  – число

шагов,  $P = \prod_{k=1}^M \frac{\|\tilde{x}_k\|}{\xi}$  – фактор изменения амплитуды возмущения за  $M$  шагов [7].

Оценим хаотичность динамических воздействий на тоннельную обделку на основе модельного представления ее в виде системы пружинных маятников, так как обделка обычно состоит из массивных бетонных колец, соединенных упругими элементами. На рис. 4 представлены фрагменты исходных  $x$  и возмущенных  $\tilde{x}$  траекторий движения центров масс грузов системы пружинных маятников без учета дополнительных нелинейных элементов при определении старшего показателя Ляпунова. Для примера приведены траектории первого ( $j=1$ ) и 10-го ( $j=10$ ) грузов системы с 15-ю массами  $m_j$  и упругими связями  $c_j$ . В обоих случаях (а и б) в соответствии с алгоритмом Бенеттина через равные промежутки времени  $T$  в дискретные моменты времени  $t_k$  к текущим значениям динамических переменных системы (на рисунке видны только пространственные координаты  $x_k$ ) добавлялось смещение (вектор возмущения с нормой  $\xi$ ), что приводило к дальнейшему следованию системы по возмущенной траектории. В случае (а) вектор возмущения включал смещения только по пространственным координатам, обозначим его как вектор с нормой  $\xi_x$ . В случае (б) вектор возмущения проецировался как на оси пространственных координат, так и на оси скоростей, обозначим вектор такого возмущения как вектор с нормой  $\xi_{x,v}$ .

На основе результатов моделирования систем указанного класса с разными параметрами можно сделать следующие выводы (см. рис. 4). Для масс с меньшими порядковыми номерами ( $j=1, 2, \dots$ ), для которых в значительной степени проявляется влияние удерживающей стационарной связи, наложенной на крайнюю точку первого упругого элемента, возмущенная траектория достаточно быстро сходится с исходной, т. е.  $\tilde{x}_k \ll \tilde{x}'_k = \xi$ . Таким образом, эти массы совершают колебания, являющиеся биениями, которые нельзя считать хаотическими. С увеличением порядкового номера  $j$  сходимость возмущенной и исходной траекторий уменьшается до тех пор, пока они не станут практически одинаковыми, равноотстоящими друг от друга на расстоянии нормы возмущения  $\xi$ , т. е.  $\tilde{x}_k \approx \tilde{x}'_k = \xi$ . Наконец, для масс с большими порядковыми номерами, находящихся у свободного конца линейной цепочки, возмущенная траектория с течением времени удаляется от исходной траектории, имеем  $\tilde{x}_k > \tilde{x}'_k = \xi$ . Однако относительное увеличение нормы вектора возмущения за одинаковый период времени  $T$ , равное  $\tilde{x}_k/\xi$  для массы с номером  $j$ , является практически постоянной величиной и не зависит от номера временного интервала  $k$ .

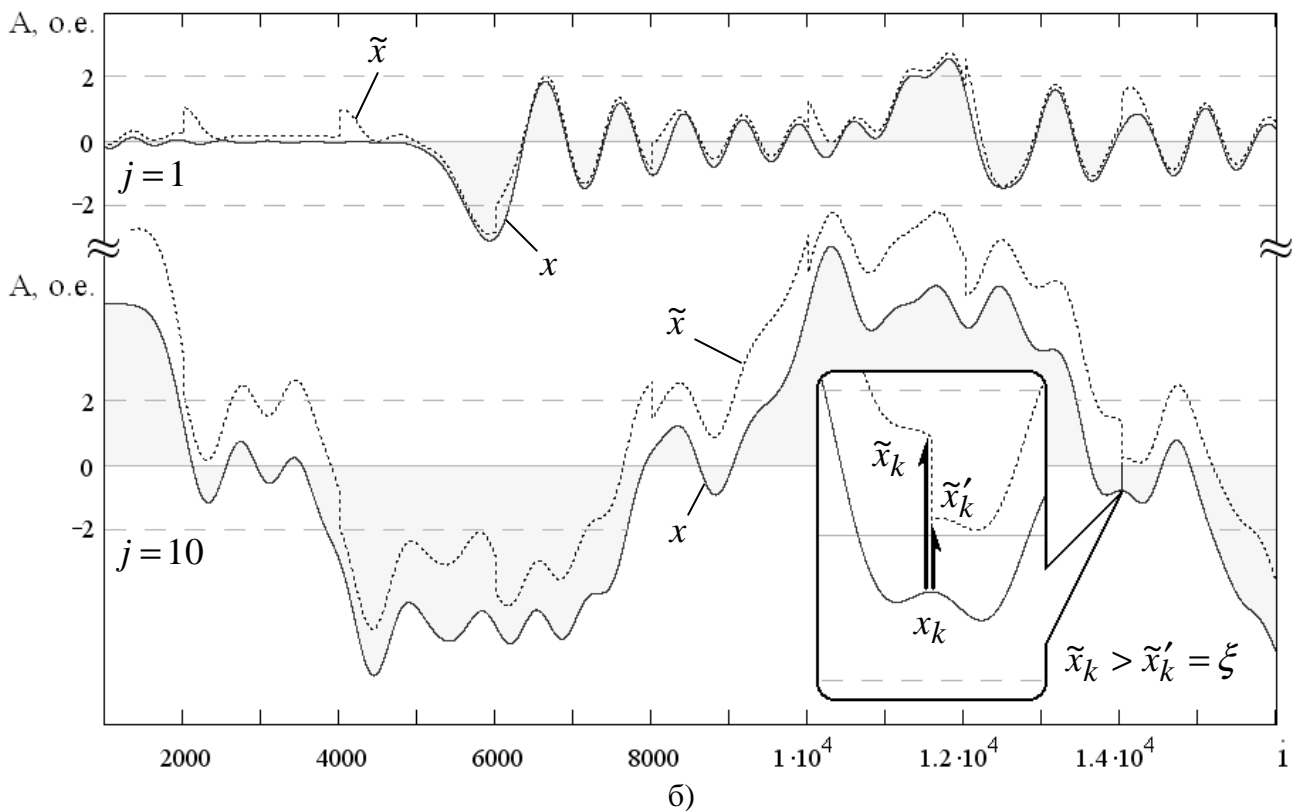
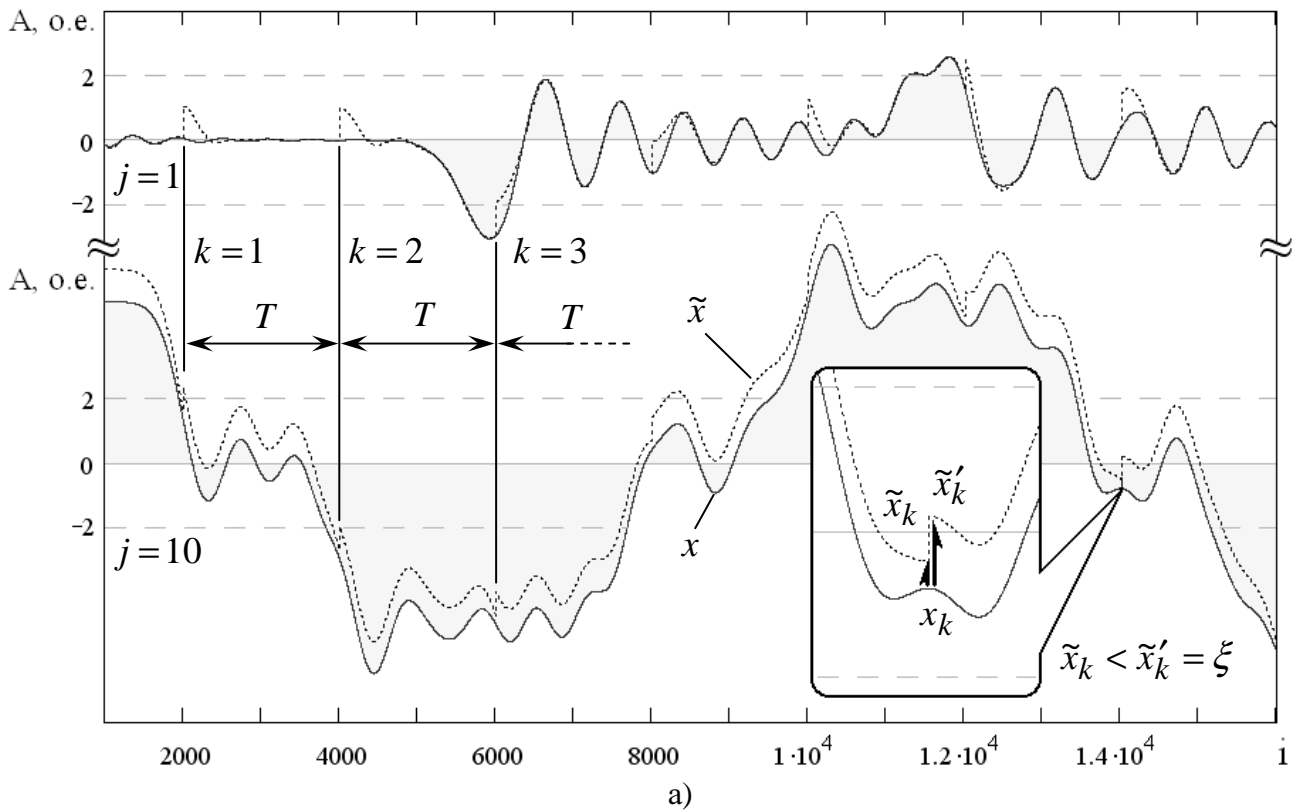


Рис. 4 – Фрагменты исходных и возмущенных траекторий движения центров масс грузов пружинных маятников при определении старшего показателя Ляпунова: а) возмущение только по пространственным координатам; б) возмущение по пространственным координатам и скоростям.

Таким образом, можно сделать вывод об отсутствии точек бифуркаций, приводящих к качественно значительному расхождению траекторий. Все же, процесс колебаний приводит к тому, что старшие показатели Ляпунова  $\lambda_k$  увеличиваются с ростом  $k$ , их значения положительные, но они близки к нулю, и для всей системы имеем итоговые значения старшего показателя Ляпунова  $\Lambda$  близкие к нулю, рис. 5.

Для одной и той же массы с порядковым номером  $j$  большее расхождение исходной и возмущенной траекторий получаем в случае, когда возмущение вносится не только по пространственным координатам, но и по скоростям их изменения (т. е. по обобщенным импульсам), причем влияние второго вида возмущения больше, чем первого (рис. 4, а, б). Кроме того, нельзя забывать, что данные расчеты старшего показателя Ляпунова выполнены для линейной, чисто упругой системы, однако известно, что введение нелинейности приводит к хаотизации системы [6].

В оболочке Mathcad исследованы полносвязные системы пружинных маятников, простые системы пружинных маятников вплоть до 150 элементов, и все эти расчеты приводили к удвоению периода, то есть при критических условиях возможен переход к хаосу через удвоение периода или квазипериодичность. Размерность Хаусдорфа для критического аттрактора Фейгенбаума вычислена с высокой точностью и составляет  $d = 0,538\dots$  или  $1 + d$ , единица добавляется, если есть дополнительное измерение вдоль фазовой траектории. Переход к хаосу через удвоение периода относится ко всем типичным однопараметрическим нелинейным диссипативным системам, хотя старший ляпуновский показатель критического аттрактора теоретически равен нулю [7].

Установлено, несмотря на то, что старший ляпуновский показатель для системы пружинных маятников близок к нулю, он все-таки положителен и увеличивается при увеличении количества маятников в системе, рис. 5. Искусственная нелинейность, по-видимому, связана с операциями приближенных компьютерных вычислений.

На больших глубинах разработки угольных месторождений в сложных горно-геологических условиях возможности арочной крепи подготовительных выработок оказались практически исчерпаны как по несущей способности, так и по податливости замков, поэтому естественным направлением ее усиления является дополнительная установка анкеров, которые обладали бы высокой несущей способностью [8]. Такими анкерами являются сталеполимерные, традиционная технология возведения которых предполагает их установку в прочных породах, что обусловлено причиной минимальной податливости анкера в пределах упругой деформации штанги и полимерного слоя.

В слабых горных породах в результате разрушения контакта в системе «анкер-смола-порода» сталеполимерный анкер смещается в шпуре, поэтому после смещения сохраняет не более 10 % своей первоначальной несущей способности за счет сил трения между фрагментами разрушенной породы и полимерного слоя.



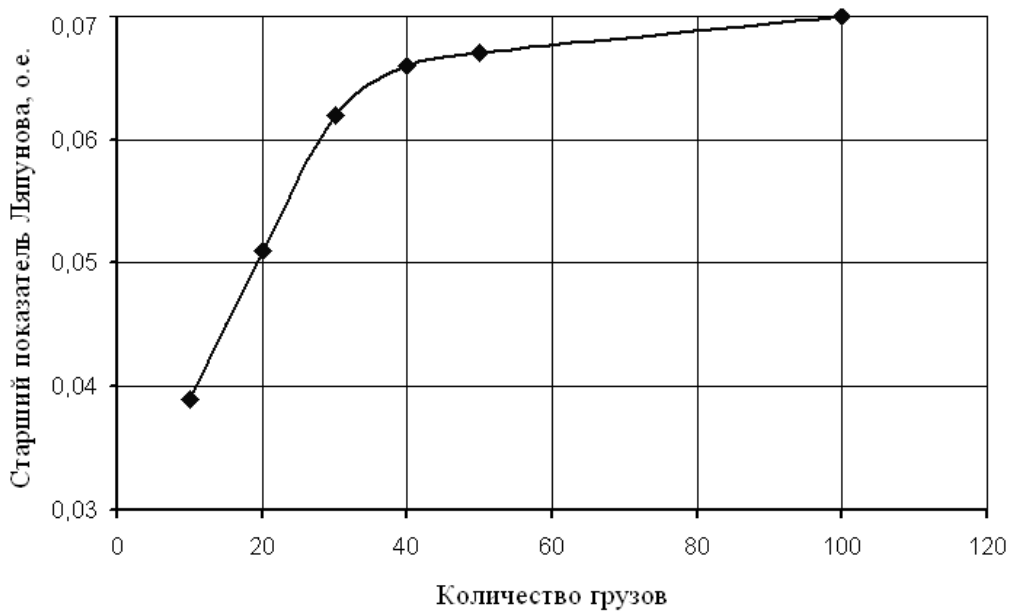
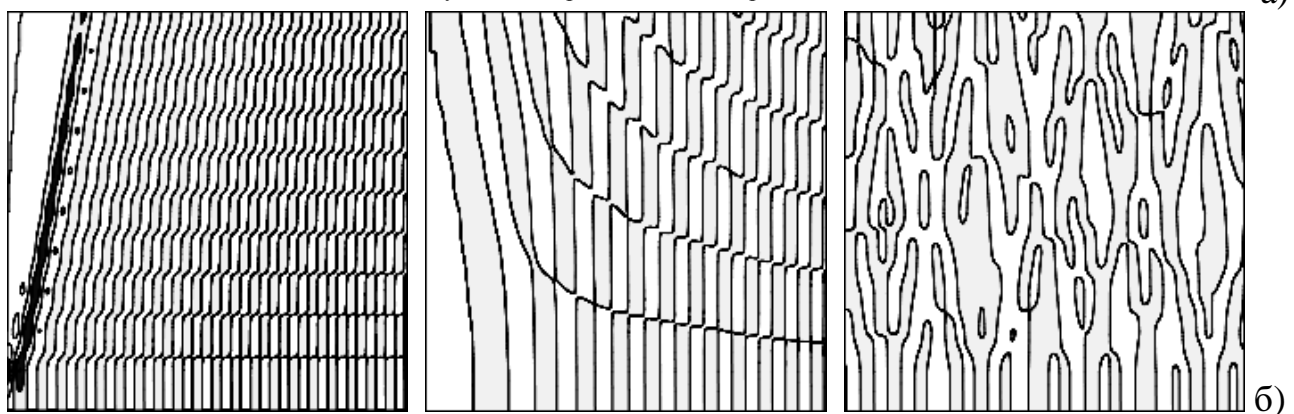
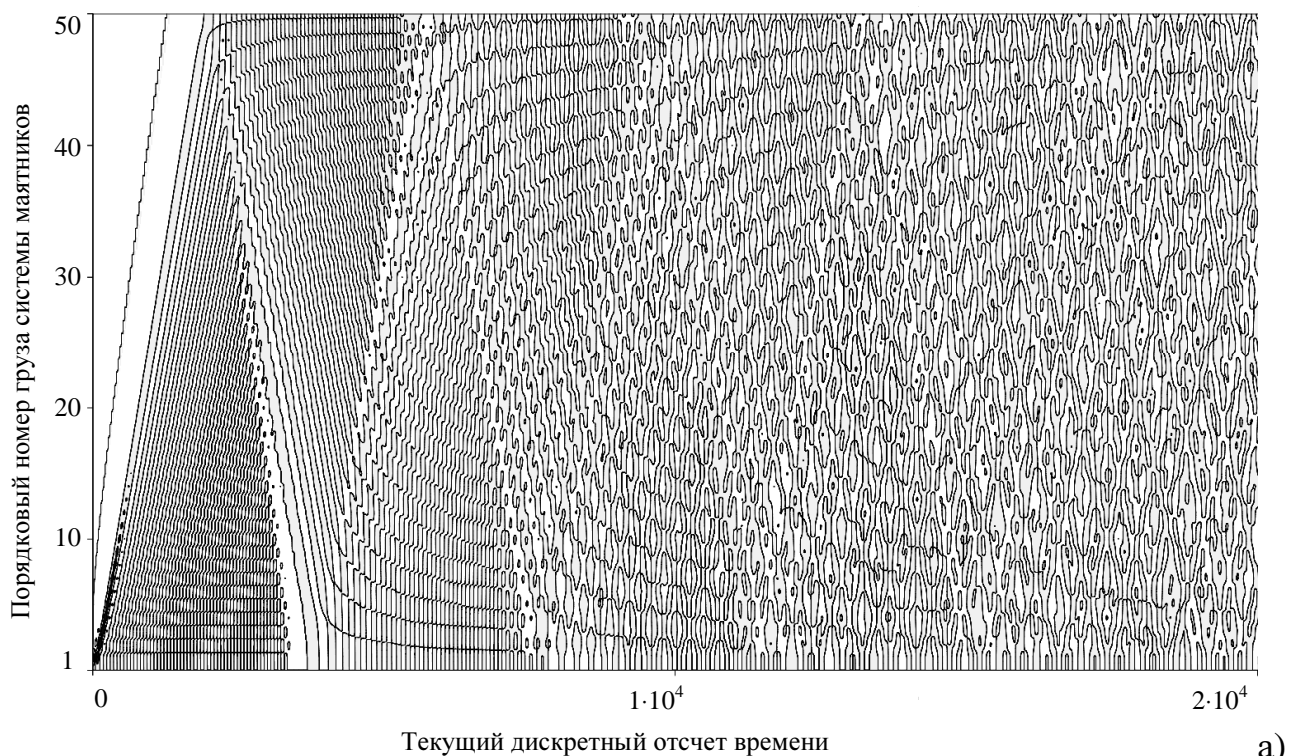


Рис. 5 – Усиление хаотизации системы при увеличении количества маятников:  
 а) и б) волновые картины; в) изменение показателя  $\Lambda$ .

В то же время в Донецком бассейне большинство шахт обрабатывает угольные пласты во вмещающих породах слабой прочности. Кроме того, на больших глубинах при проведении подготовительных выработок буровзрывным способом в прочных песчаниках часто происходят выбросы пород, в них невозможна комбайновая проходка, поэтому выработки проводят в породах слабой и средней прочности, в этой связи повысить нагрузку на каждый анкер можно только увеличением диаметра шпура. Это ведет к резкому увеличению расхода дорогостоящих материалов, кроме того, простое увеличение диаметра шпура недостаточно эффективно, так как в слабых горных породах сильно неоднородные и ослабленные стенки шпура даже большого диаметра легко разрушаются.

В последние годы разработаны и внедряются в производство способы повышения прочности закрепления сталеполимерных анкеров в слабых породах и буровые ставы для их реализации [9, 10], предусматривающие создание локальных зон сжатия при малых перемещениях анкера и повышения за счет этого прочности пород вокруг шпура в образующихся зонах всестороннего сжатия. Кроме того, размер этих зон значительно выше, чем максимальный диаметр анкера совместно с полимером, поэтому и разрушение породы от сдвига будет происходить на значительно большей поверхности, окружающей анкер, а, следовательно, он будет нести более высокую нагрузку.

Недостаток такого анкера заключается в том, что в его работе не учитывается послойная прочность пород, которые пронизывает анкер. Кроме того, для поддержания режима податливости полимерный выступ должен быть прочнее породы. При определенном значении напряжений породные слои, подпирающие каждый выступ, срезаются по цилиндрической поверхности. Это происходит тогда, когда срезающие напряжения на этих участках достигают предела прочности породы. С этого момента несущая способность анкера падает и поддерживается только за счет сил трения по поверхности среза. Таким образом, анкер частично теряет свои преимущества, так как значительная его часть работает в условиях малого диаметра шпура, а прочные полимерные выступы становятся режущим инструментом.

Этот недостаток был устранен за счет целенаправленного использования явления динамического хаоса. Бурение неоднородных слоистых горных пород характеризуется сложным вращательно-колебательным движением сосредоточенных и распределенных масс по криволинейным траекториям. При этом центры вращения могут совпадать с центрами масс и/или с осями шарнирных соединений, либо находятся в пределах геометрического места точек, определяемого имеющимися степенями свободы и геометрическими размерами деталей соединяющихся механизмов, поэтому в общем случае центры вращения смещаются в процессе движения масс, описывая сложные траектории. При одних и тех же силовых воздействиях в более слабых породах скорость бурения шпура увеличивается. Если создать в зоне бурения хаотический режим работы, то повышается не только скорость бурения, но и увеличивается диаметр шпура, а это автоматически ведет к повышению устойчивости анкера в этой зоне.

Оценим хаотичность процесса бурения на основе системы трех связанных

гравитационных маятников. Следует обратить особое внимание, что для вращающегося трехзвенного бурового става гравитационные силы значительно меньше (в 18 – 20 раз) центробежных сил, поэтому в данном случае гравитационными силами можно пренебречь. В гравитационном маятнике звено, достигнув максимального отклонения, приобретает максимальную потенциальную энергию и нулевую кинетическую, элементы бурового става при соударении со стенкой шпура, наоборот, имеют нулевую потенциальную энергию и приобретают максимальную кинетическую с импульсом в противоположном направлении (к оси вращения в той же виртуальной плоскости), далее идет рост потенциальной энергии и так далее.

Говорить о полной адекватности математической модели из трех гравитационных маятников механической системе бурового става с пневмоприводной установкой с эксцентрически неуравновешенными вращающимися относительно нефиксированных центров массами нет оснований. Результаты моделирования часто критически чувствительны к незначительным изменениям параметров систем, тем более при такой сложной физической аналогии. Однако реальные массы и размеры штанг, наличие аналогичных трехзвеньевых систем, как оказалось, позволяют довольно просто управлять хаотичностью вибраций буровой установки, изменяя и подбирая параметры математической модели, рис. 6.

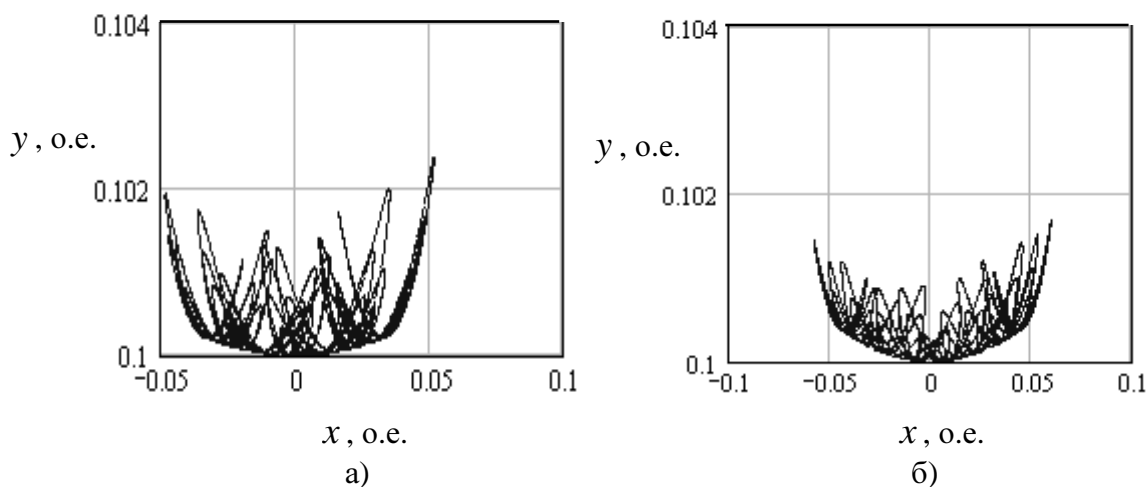


Рис. 6 – Колебания буровой коронки в плоскости  $x$ - $y$ : а –  $\alpha_1 = \pi/180 = 1^\circ$ ,  $\alpha_2 = -\pi/60 = -3^\circ$ ,  $\alpha_3 = \pi/30 = 6^\circ$ ,  $r_1 = 2,5$ ,  $r_2 = 0,1$ ,  $r_3 = 0,1$ ,  $m_1 = 30$ ,  $m_2 = 0,5$ ,  $m_3 = 0,5$ ;  
 б –  $\alpha_1 = \pi/240 = 0,75^\circ$ ,  $\alpha_2 = -\pi/60 = -3^\circ$ ,  $\alpha_3 = -\pi/20 = -9^\circ$ ,  $r_1 = 2,5$ ,  $r_2 = 0,1$ ;  
 $r_3 = 0,1$ ,  $m_1 = 30$ ,  $m_2 = 0,5$ ,  $m_3 = 0,5$

Эксперименты выполнены для условий шахты имени А.Ф. Засядько, глубина отработки угольного пласта 1380 м. На шахте используются анкероустановщики (анкерные буровые колонки) импортного производства, которые предназначены для безударного вращательного бурения пород кровли и установки анкерной крепи при проведении горных выработок. Они имеют пневматический

привод, работающий на сжатом воздухе, телескопическую трехсекционную штангу. Все установки имеют частоту вращения не ниже 850 об/мин, поэтому допущение о пренебрежении гравитационными силами по сравнению с центробежными (центростремительными) в первом приближении можно считать справедливым.

О наличии хаотической динамики также свидетельствуют образцы анкеров, извлеченных из массива горных пород для осмотра и контроля после их установки и отработки заранее заданного времени. На застывшем полимерном слое видно, как в слабых горных породах увеличивается шаг бурения при вращении бурового става. Кроме того, анкер совместно с полимерным слоем имеет вид винта с тремя винтовыми заводками, расстояния между которыми изменяются по длине от двух до шести сантиметров в зависимости от прочности пород. Изменяется и высота выступов. Никаких специальных мер для создания такой конфигурации, кроме выбора размеров, смещений и масс вибрирующих элементов, не принималось. А этот факт соответствует работе американских математиков Ли и Йорке, которые опубликовали широко известную статью «Период три означает хаос» и теореме академика НАН Украины А.Н. Шарковского, следуя из которой цикл периода три является частным случаем хаотического движения [7].

Для дополнительного подтверждения тезиса о хаотичности движения исследуемых систем маятников выполним вычисление старшего показателя Ляпунова  $\Lambda$  при различных значениях их параметров, которое выполнялось при следующих неизменных параметрах моделирования: число точек интегрирования в пределах одного интервала  $n = 5000$ , число интервалов  $M = 50$  (таким образом, общее число точек траектории  $n \cdot M = 2,5 \cdot 10^5$ ), шаг интегрирования по времени  $h = 0,0005$  с (следовательно, длительность интервала, т. е. период  $T = nh = 2,5$  с, время моделирования  $t = nMh = 125$  с), допустимая максимальная погрешность итераций  $\varepsilon = 0,001$  о. е.

За исключением конкретно необходимых случаев, во всех моделях использованы маятники с одинаковыми массами грузов ( $m_1 = m_2 = m_3 = 1$  кг) и равными длинами плеч ( $l_1 = l_2 = l_3 = 1$  о. е.); вектор возмущений опирается на начало координат и проведен к точке, равноудаленной по всем осям на 0,01 в соответствующих единицах измерения.

Для проверки достоверности вычислений выполнено моделирование системы при начальных условиях, обеспечивающих детерминированное упорядоченное движение системы. В частности, в случае одинакового по величине незначительного (близкого к нулю) отклонения от вертикали равноразмерных маятников, начинающих движение из состояния покоя, получаем гармонические колебания системы. Центры масс маятников движутся по коротким дугам, близким к хордам. Аналогично, в случае задания одинаковых начальных угловых скоростей вращения равноразмерных маятников, начиная от положения равновесия, получаем упорядоченное вращательное движение, при котором в течение всего достаточно длительного интервала моделирования центры масс

маятников описывают траектории, близкие к концентрическим окружностям с центром в точке подвеса первого маятника. В обоих случаях старший показатель Ляпунова должен быть близким к нулю. Как показало моделирование, для указанных начальных условий имеем  $\Lambda = 0,018$  при гармонических колебаниях и  $\Lambda = 0,088$  при вращательном движении (рис. 7, г, д), что дополнительно подтверждает правильность программы.

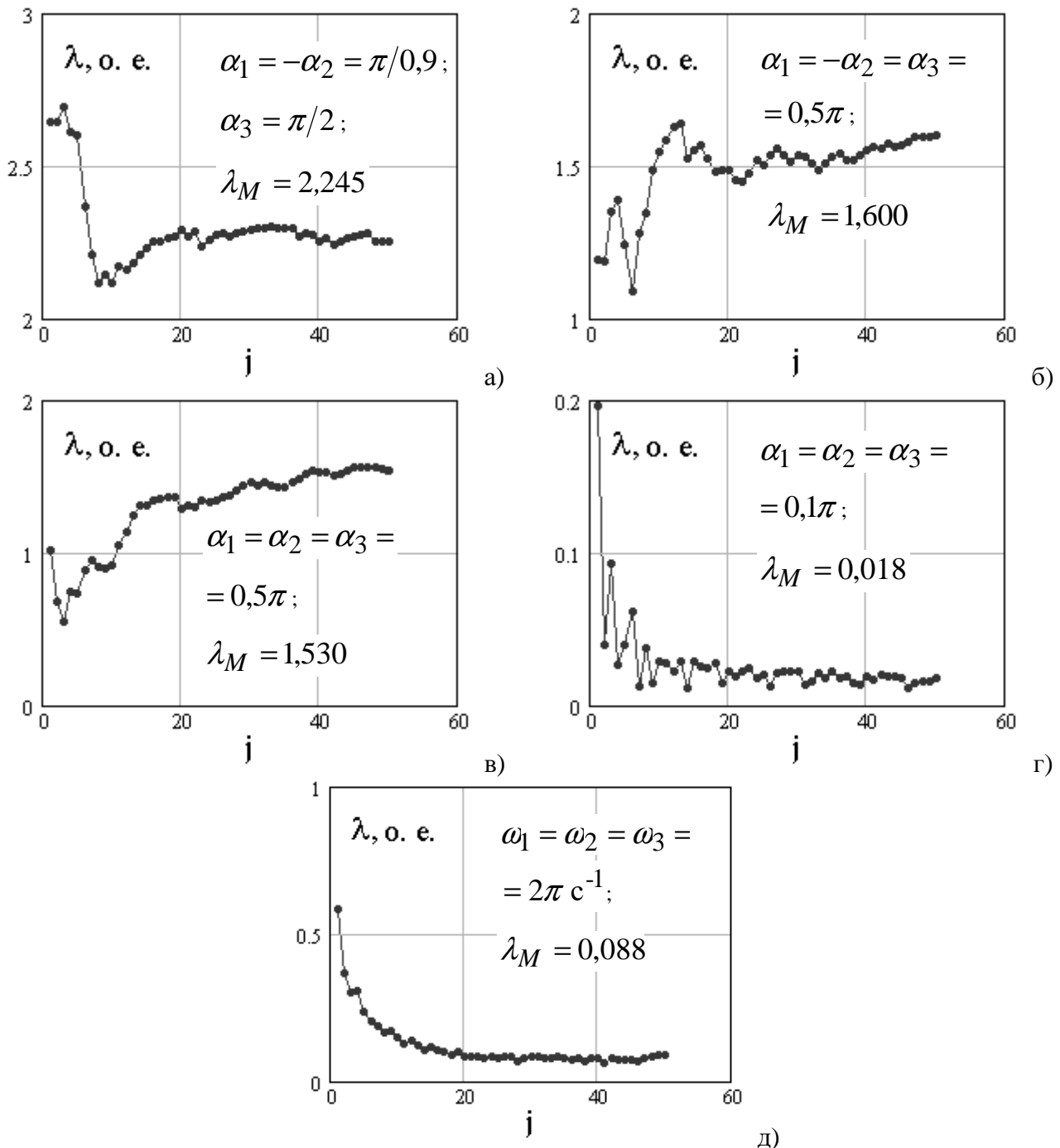


Рис. 7 – Влияние начальных условий на хаотичность поведения исследуемой системы по Ляпунову (на рисунках приведены начальные значения углов и угловых скоростей и конечные значения старшего показателя Ляпунова): а – г – уменьшение начальных углов и исключение чередования их знаков упорядочивает функционирование системы; д – упорядочивание вращением маятников

При иных начальных условиях та же программная модель в результате вычислений дает значения старшего показателя Ляпунова, большие единицы, что является критерием хаотического движения исследуемой системы, рис. 7, а, б, в.

Разработаны и внедрены методические рекомендации по определению параметров нарезки стенок шпуров для повышения несущей способности анкерного крепления в неустойчивых породах на основе методов аналитической механики и моделирования динамических процессов в детерминированно-хаотических системах. Расчетная длина штреков при отработке западных лав пласта  $l_4$  и восточных лав пласта  $m_3$  составляет 15200 м.

Таким образом, практическое значение математического моделирования заключается в том, что оно позволяет учесть количество элементов в конкретной технической системе, массы и упругие связи между элементами, разнообразие этих связей, задать любые возмущающие воздействия и оценить реакцию на эти воздействия. На его основе можно разрабатывать новые способы эффективного селективного управления горным давлением, учитывающие самоорганизацию породного массива и позволяющие значительно снизить затраты на ремонт и поддержание транспортных тоннелей, водоводов, стволов рудников и шахт, горизонтальных и вертикальных капитальных и подготовительных выработок. С другой стороны, участки максимальной реакции на возмущающее воздействие являются потенциальными точками контроля.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Усаченко Б.М. Исследование синергетических и волновых процессов в массиве горных пород / Б.М. Усаченко, Т.А. Паламарчук, Е.А. Слашева // Горный информационно-аналитический бюллетень. – М.: МГУ, 2000. – № 8. – С. 182-184.
2. Яланский А.А. Особенности и диагностика процессов самоорганизации породного массива в окрестности горных выработок / А.А. Яланский, Т.А. Паламарчук, С.Н. Розумный // Горный информационно-аналитический бюллетень. – М.: МГУ, 2003. – № 3. – С.151-154.
3. Перепелица В.Г. Дослідження взаємозв'язку параметрів газових полів і геодинаміки масиву гірських порід / В.Г. Перепелица, А.О. Яланський, Т.А. Паламарчук // Матеріали міжнародної конференції "Форум гірників" (частина 2). – Дніпропетровськ: Національний гірничий університет, 2007. – С. 70 – 74.
4. Открытие № 318. Закономерность пространственно-временной структурно-фазовой самоорганизации грунтовых и породных массивов вокруг протяженных подземных выработок / Л.В. Байсаров, М.А. Ильяшов, В.В. Левит, Т.А. Паламарчук, В.Н. Сергиенко, В.Б. Усаченко, А.А. Яланский // Научные открытия, идеи, гипотезы (1992-2007). Информационно-аналитический обзор. – М.: МААНОН, 2008. – С. 298-299.
5. Иконникова Н.А. Особенности моделирования динамики хаотических процессов в детерминированных системах методами аналитической механики / Н.А. Иконникова // Геотехническая механика. – Днепропетровск: ИГТМ, 2007. – № 73. – С. 263-280.
6. Яланский А.А. Моделирование динамики хаотических и синергетических процессов в сложных системах / А.А. Яланский, Алекс. А. Яланский, Н.А. Иконникова // Геотехническая механика. – Днепропетровск: ИГТМ НАНУ, 2008. – № 78. – С. 163 – 172.
7. Кузнецов С.П. Динамический хаос / С.П. Кузнецов. – М.: Физматлит, 2001. – 295 с.
8. Булат А.Ф. Опорно-анкерное крепление горных выработок угольных шахт / А.Ф. Булат, В.В. Виноградов. – Днепропетровск: Вільпо, 2002. – 372 с.
9. Пат. № 39204 Україна, МПК (2009) E21D 20/00; E21B 19/00. Буровий постав для нарізки шпура / Б.В. Бокій, О.А. Цікра, В.С. Возіанов, В.Б. Ковбасенко, А.Т. Курносов, С.А. Курносов, І.М. Слашов; заявник і власник патенту Інститут геотехнічної механіки ім. М.С.Полякова НАН України; опубл. 10.02.2009.
10. Пат. № 41968 Україна, МПК (2009) E21D 20/00. Спосіб закріплення анкера в слабких породах / О.А. Цікра, В.С. Возіанов, В.Б. Ковбасенко, А.Т. Курносов, С.А. Курносов, І.М. Слашов; заявник і власник патенту Інститут геотехнічної механіки ім. М.С.Полякова НАН України; опубл. 25.06.2009.