МОДЕЛИРОВАНИЕ РЕГИОНАЛЬНЫХ СИСТЕМ

ДИНАМИКА ГУСЕНИЧНОГО ДВИЖИТЕЛЯ УБОРОЧНО-ТРАНСПОРТНЫХ МАШИН С УЧЕТОМ КОЛЕБАНИЙ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ПРИВОДА

Канделя М.В.[1], Рябченко В.Н.[2]
[1]ЗАО БКЗ «Дальсельмаш», Биробиджанский филиал ФГОУ ВПО ДальГАУ, Биробиджан, Россия;
[2]ФГОУ ВПО «Дальневосточный государственный аграрный университет», Благовещенск, Россия

DYNAMICS OF CATERPILLAR MOVER OF HARVESTING-TRANSPORT MACHINES CONSIDERING FLUCTUATIONS OF THE POWER DRIVE

Kandelya M.V.[1], Ryabchenko V.N.[2]
[1]Joint-Stock Company BKZ «Dalselmash», Birobidzhan branch FSEF HPE FESAU, Birobidzhan, Russia;
[2] FSEF HPE «Far East State Agrarian University», Blagoveshchensk, Russia

In this work the method of an analytical estimation of generalized dynamics of caterpillar running system (CRS) on soil environment was considered. In complex structures, in particular, combines on caterpillar mover, the dynamics of influence on soil is defined not only by own properties of CRS. The mover dynamics is influenced by recurrence of power drive work which periodically changes torsion torque rate and the influence of CRS on soil.

Гусеничные движители уборочно-транспортных машин, преимущественно применяемые в схеме рисозерноуборочных и кормоуборочных комбайнов в условиях переувлажнения почв на Дальнем Востоке работают в очень сложных условиях. Эти условия определяются не только физико-механическими свойствами почвы и особенностями эксплуатации гусеничных ходовых систем при выполнении технологического процесса, но и спецификой работы агрегатов и узлов.

Как правило, при аналитическом исследовании динамики гусеничных ходовых систем при взаимодействии с почвой [Воронин, 1966; Рябченко, 1971; Емельянов, 1997 и др.] рассматриваются силы сопротивления движению и сцепления с опорным основанием с учетом окружной касательной силы тяги на ведущих колесах, принимаемой за постоянную величину. Однако в сложных динамических системах взаимосвязи между процессами различных систем не линейны. Поэтому более глубокое исследование должно осуществляться с учетом реальной взаимосвязи процессов.

Анализ работы комбайнов на гусеничном ходу при выполнении технологического процесса в период уборочных работ показывает, что их ходовые системы в значительной мере определяются динамическими характеристиками, в том числе силового агрегата и передаточного механизма и в связи с этим представляют собой достаточно сложную динамическую систему. Это связано с тем, что внутрицилиндровые процессы в двигателе, как известно, циклически повторяются при поворотах коленчатого вала в связи с изменением тангенциальной силы на коленчатом валу двигателя.

Из нее следует, что в течение каждого рабочего цикла в двигателе под действием газовых сил и возникающих сил инерции изменяется величина тангенциальной силы на оси кривошипа коленчатого вала. Это изменение происходит для четырехтактных двигателей, устанавливаемых на уборочно-транспортные машины, за два оборота коленчатого вала, т.е. 720°.

Теоретически изменение тангенциальной силы определяется не только периодически меняющимся давлением горючей смеси, но и в связи с особенностями конструкции кривошипно-шатунного механизма (КШМ) и определяется уравнением:

$$T=Pi\sin(\alpha+\beta)/\cos\alpha, \tag{1}$$

где $P_i=P_r+P_u$; P_r – силы газовые в КШМ, Н; P_u – силы инерции, Н; α – угол поворота коленчатого вала двигателя, рад. β – угол между направлением движения поршня и продольной осью шатуна, рад.

При этом изменение крутящего момента ($M_k=T\cdot 0,5S$, где S – ход поршня) будет происходить пропорционально изменению тангенциальной силы T и периодически повторяться через рабочий цикл каждого цилиндра.

Исследования, проведенные при стационарной нагрузке на стенде для машинного агрегата с дизелем А-41 на кафедре «Двигатели внутреннего сгорания» Тихоокеанского государственного университета (ТОГУ) под руководством д.т.н., профессора Басаргина В.Д. [Басаргин, 2005], показывают, что характер изменения крутящего момента, отдаваемого потребителю, соответствует характеру изменения крутящего момента в двигателе.

На осциллограммах при скоростном режиме 1200 об/мин и $M_{кр.ср.}=415 Н\cdot м$ характер изменения крутящего момента на коленчатом валу в достаточной мере соответствует теоретическим предпосылкам. На осциллограммах и при других скоростных режимах достаточно четко выражены четыре максимума крутящего момента за два полных оборота коленчатого вала.

При работе двигателя в период технологического процесса уборочных машин основные его детали и узлы находятся под воздействием переменных нагрузок. Как следует из выше изложенного материала, эти нагрузки носят переменный характер и по величине, и по времени.

Как показали исследования [Канделя и др., 1988], проведенные на заводе «Дальсельмаш», при работе рисозерноуборочных комбайнов на металлогусеницах и на ходовой системе с резиноармированными гусеницами изменение гармонических составляющих колебаний в двигателе через трансмиссию и остов комбайна оказывает влияние на вертикальные нагрузки на опорные каретки, которые через гусеничную ленту передаются на почвенную среду. Одновременно были зафиксированы гармонические составляющие колебаний на сиденье в кабине комбайнера.

Определение нагрузок на раму молотилки и соответственно на опорные каретки ходовой системы можно определить по следующим уравнениям:

$$N_1 = \frac{(P + Q_1 \cos\alpha_1 + Q_2 \cos\alpha_2}{2} - (Q_2 \sin\alpha_2 - Q_1 \sin\alpha_1)\frac{h}{2} + \frac{M}{l} = 0, \quad (2)$$

$$N_2 = \frac{(P + Q_1 \cos\alpha_1 + Q_2 \cos\alpha_2}{2} - (Q_2 \sin\alpha_2 - Q_1 \sin\alpha_1)\frac{h}{l} + \frac{M}{l} = 0, \quad (3)$$

где N_1, N_2 – опорные реакции двигателя, Н; P – вес двигателя, Н; Q_1, Q_2 – усилия натяжения привода молотилки и гусеничного движителя соответственно, Н; α_1, α_2 – углы наклона усилий со стороны молотилки и гусеничного движителя, рад; l – расстояние между опорами двигателя, м; h – расстояние от оси колечатого вала до панели молотилки, м; M – крутящий момент двигателя, Н·м.

Уравнения (2) и (3) позволяют рассчитать величины циклически изменяющихся опорных реакций N_1 и N_2, передаваемых на остов движителя, и определить с учетом их значений характер изменения реакций на опорные каретки движителя. Эта задача и является предметом дальнейших исследований.

ИССЛЕДОВАНИЕ КРИВЫХ РОСТА ДЕРЕВЬЕВ РАЗЛИЧНОЙ СТЕПЕНИ ТЕНЕВЫНОСЛИВОСТИ

Колобов А.Н.
Институт комплексного анализа региональных проблем ДВО РАН, Биробиджан, Россия

ANALYSIS OF GROWTH CURVES FOR THE TREES WITH A DIFFERENT DEGREE OF SHADE HARDINESS

Kolobov A.N.
Institute for Complex Analysis of Regional Problems FEB RAS, Birobidzhan, Russia

The results of construction a simulation model describing growth and interaction of trees in the process of competition for light are considered. To study the inter-specific interactions in woody communities, computational experiments on the development of mixed stands were conducted. The results of study of tree growth curves, belonging to the groups of light-loving and shade-tolerant species are represented.

В практике лесоводства уже давно было замечено, что требования различных пород к свету неодинаково. В результате многолетних исследований было установлено, что все древесные и кустарниковые породы делятся на светолюбивые и теневыносливые. Принадлежность деревьев к той или иной группе определяет конкурентные отношения между ними в сообществе. При наличии в древостое теневыносливого и светолюбивого видов, с течением времени происходит доминирование первого. Ярким примером может служить образование пихтово-еловых лесов. На начальном этапе преобладающую позицию занимает береза, затем, в результате конкурентных процессов, происходит постепенное замещение ее темнохвойными видами елью и пихтой, которые в свою очередь образуют устойчивое сообщество.

В работе рассматривается математическая модель роста дерева, на основе которой проводится исследование кривых роста деревьев принадлежащих к разным группам теневыносливости. Для описания роста дерева в качестве исходного пункта мы использовали модель свободного роста дерева, предложенную в работе Полетаева [1]. Согласно этой модели дерево получает энергию только путем фотосинтеза, свободная энергия расходуется на нужды фотосинтеза, на построение живой ткани и на подъем раствора из почвы. Уравнение роста записывается в форме закона сохранения энергии. Рост дерева в сообществе, учитывая влияние конкуренции со стороны окружающего древостоя, описывается следующей системой уравнений, позволяющей вычислять объем, высоту и диаметр ствола:

$$\begin{cases} \dfrac{dV}{dt} = E(Q)\cdot bV^d - cVH \\ \dfrac{dH}{dt} = \lambda H \cdot (H_{\max} - H) \\ D = \sqrt{\dfrac{4V}{\pi \cdot H \cdot f}} \end{cases}$$

где V – объем ($м^3$), H – высота ($м$), D – диаметр дерева ($см$), E – интенсивность фотосинтеза единицы листовой поверхности, Q – доля солнечной радиации, приходящейся на i-ое дерево при затенении окружающим древостоем, f – видовое число, показывающее отклонение от идеального цилиндра, d – фрактальная размерность кроны.

Формула интенсивности фотосинтеза единицы листовой поверхности:

$$E = \frac{a\cdot(1-\exp(-pV^d))\cdot P_{\max}\cdot Q}{a\cdot(1-\exp(-pV^d))\cdot Q + P_{\max}\cdot pV^d},$$

где P_{max} – максимальная интенсивность фотосинтеза единицы листовой поверхности, k – коэффициент затухания светового потока проходящего сквозь крону.

На основе предложенной модели изучали межвидовые взаимодействия в древесных сообществах. Проводили вычислительные эксперименты с некоторым набором основных лесообразующих пород Дальнего Востока. В качестве базовых видов рассматривались: ель сибирская, пихта белокорая, кедр сибирский и береза желтая. Ель, пихта и кедр относятся к группе темнохвойных, теневыносливых видов, береза является светолюбивым видом. Все они имеют разную скорость роста и размеры.

Результаты моделирования показали, что темнохвойные виды фактически не подавляют друг друга, обладая при этом значительной разницей в размерах. Такая динамика вполне соответствует действительности, сочетание этих видов деревьев характерно для пихтово-еловых лесов Дальнего Востока. Береза при взаимодействии с кедром и елью оказывается в угнетенном состоянии. Особенно ярко это проявляется в случае взаимодействия с елью, которая гораздо уступая ей по размерам, является довольно сильным конкурентом. Из эмпирических наблюдений, а также проводимых ранее модельных экспериментов известно, что теневыносливые виды не позволяют в достаточной степени нормально развиваться растениям светолюбивого вида, занимая доминирующее положение [2–3].

В работе проводили исследование кривых скорости роста деревьев, принадлежащих к группам теневыносливых и светолюбивых видов. В результате было обнаружено, что для рассматриваемых выше темнохвойных пород эти кривые имеют схожий характер, в то время как для светолюбивой березы он резко отличается. В первом случае они имеют колоколообразную несимметричную форму, вначале происходит резкий подъем, а затем более плавное падение скорости роста. Во втором случае форма симметричная с плавным подъемом и падением скорости.

Таким образом, проведенное исследование позволило обнаружить взаимосвязь между характером кривой роста деревьев и конкурентными взаимодействиями между ними. Если он схожий, то виды сосуществуют, в противном случае происходит процесс вытеснения.

Исследования проведены при финансовой поддержке РФФИ (проект № 09-04-00146-а) и ДВО РАН (конкурсные проекты № 09-I-П23-12, 10-III-В-06-141).

ЛИТЕРАТУРА:

1. Полетаев И.А. Проблемы кибернетики. М.: Наука, 1966. С. 171–190.
2. Ткаченко М.Е. Общее лесоводство. М.–Л.: Гослесбумиздат, 1952. 600 с.
3. Чумаченко С.И. Моделирование динамики многовидовых разновозрастных лесных ценозов // Журнал общей биологии. 1998. Т. 59. № 4. С. 363–376.

ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ СРЕДЫ ЗАРОЖДЕНИЯ БИОСФЕРЫ

Компаниченко В.Н., Шлюфман К.В.
Институт комплексного анализа региональных проблем ДВО РАН, Биробиджан, Россия

GEOLOGICAL CHARACTERISTICS OF ENVIRONMENT FOR THE BIOSPHERE ORIGIN

Kompanichenko V.N., Shlufman K.V.
Institute for Complex Analysis of Regional Problems FEB RAS, Birobidzhan, Russia

According to the developed inversion approach to the biosphere emergence, life could arise only in the non-equilibrium liquid medium with significant thermodynamic and physico-chemical fluctuations. The hydrothermal environment characterized by a relatively stable period of existence and powerful macro-fluctuations most satisfactorily meets these requirements.

Согласно разрабатываемому инверсионному подходу к зарождению биосферы, жизнь могла возникнуть только в неравновесной жидкой среде, термодинамические и физико-химические параметры которой имели значительные колебания. Флуктуации параметров среды в оптимальном (вероятно, достаточно высокочастотном) режиме необходимы как для поддержания устойчивости предбиологических микросистем, осциллирующих вокруг точки бифуркации, так и в дальнейшем для осуществления способности первичных форм жизни (пробионтов) к усиленному и целесообразному реагированию на изменения в окружающей среде. Наиболее удовлетворительно таким требованиям отвечает гидротермальная среда, в которой существуют как относительно стабильные периоды существования, так и мощные макрофлуктуации, которые стимулируются тектоно-магматичекой активностью планеты. Они сопровождаются колебаниями более низкого ранга. В этом контексте гидротермальные системы и области их разгрузки в океанах и на континентах рассматриваются как наиболее реальная среда зарождения жизни на Земле. Представляется вероятным появление первичных разрозненных сообществ пробионтов на выходах горячих источников в прибрежных или глубоких областях древнего океана. Сейчас эти ареалы, часто называемые «черными курильщиками», унаследованы сложными гидротермальными сообществами организмов, в основании трофической цепи которых находятся примитивные термофильные и гипертермофильные археи и бактерии. Нельзя исключить также формирования первичных сообществ пробионтов в зонах разгрузки высокотемпературных флюидов в грунтовые воды в областях активного вулканизма на континентах, где также имеют место значительные флуктуации термодинамических и физико-химических параметров. Впоследствии пробионты могли выноситься в океаны с естественным стоком подземных вод (в настоящее время такой сток составляет в среднем несколько кубометров в минуту с одного квадратного километра поверхности). Данные сообщества, которые вначале вероятно были изолированы друг от друга, отвечали, по сути, эмбриональной стадии развития первичных локальных экологических систем.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОСТРАНСТВЕННОЙ ДИНАМИКИ ВЗАИМОДЕЙСТВУЮЩИХ ПОПУЛЯЦИЙ

Кулаков М.П.
Институт комплексного анализа региональных проблем ДВО РАН, Биробиджан, Россия

MODELING OF SPATIAL DYNAMICS OF INTERACTING POPULATIONS

Kulakov M.P.
Institute for Complex Analysis of Regional Problems FEB RAS, Birobidzhan, Russia

We proposed the lattice models of the heterogeneous spatial population dynamics. It is possible for some numbers of species in each cell to coexist, after the model territory partition. There may be different types of interactions between them: competition, predator-prey relationships, symbiosis, etc. In addition to a logistic growth in each cell, we assume the presence of migratory expansion to the next cell.

В работе предлагается модель решетчатого типа, предназначенная для описания пространственной динамики распространения популяций по однородному ареалу с учетом возможного взаимодействия с другими видами при непрерывном или стадийном развитии особей в популяции. Модель ориентирована, в первую очередь, для описания распространения растительных сообществ, но при незначительной модификации может быть использована для описания пространственной динамики животных. При построении уравнений моделируемая территория разбивается на равные квадраты, в каждом из которых возможно сосуществования любого числа видов растений или животных. Предполагается, что при небольшом размере этих квадратов локальная динамика численности каждого из этих видов имеет логистический характер с максимальной плотностью соответствующей полному заполнению этого локального ареала. Между обитающими на этой территории видами возникают взаимодействия разных типов: конкуренция, отношения типа хищник-жертва, симбиоз и т.п. Помимо стремления каждого вида заполнить весь локальный очаг полностью, предполагается наличие миграционной экспансии особей в рядом стоящие очаги у популяций животных и экспансия растений распространяющих свои семена на соседние территории.

Пусть моделируемая территория прямоугольной формы поделена на равные квадраты равномерной решеткой из $k+1$ узлов в строке и $n+1$ узлов в столбце, тогда каждый квадрат можно пронумеровать от 1 до $N=kn$ слева направо. Если при этом на всей территории возможно произрастание s типов растительности или проживание s видов животных, тогда через $\mathbf{x}^{(r)}$ можно обозначить вектор плотностей вида r $(r=1,2,\dots s)$ в каждом квадрате в том порядке, как была произведена нумерация.

При непрерывном характере локальной динамики уравнения пространственной динамики в векторном виде можно записать в виде:

$$\frac{d\mathbf{x}^{(r)}}{dt} = B \cdot \left(A^{(r)}\mathbf{x}^{(r)} - K^{(r)} \operatorname{diag}\mathbf{x}^{(r)} \cdot \mathbf{x}^{(r)} + \sum_{\substack{l=1 \\ l \neq r}}^{s} C_r^{(l)} \operatorname{diag}\mathbf{x}^{(r)} \cdot \mathbf{x}^{(l)} \right) + M \cdot B \cdot \mathbf{x}^{(r)} \quad (r = 1,2,\ldots s). \qquad (1)$$

В системе (1) из sN уравнений первое слагаемое показывает локальную скорость роста в каждой ячейке с учетом самоограничения и взаимодействием с другими типами растительности. Второе слагаемое – это прирост за счет распространения семян из рядом стоящих ячеек для растений или за счет эмиграции особей у животных. При описании динамики животных в первом слагаемом добавляется отток особей в рядом стоящие очаги. Матрица B – диагональная матрица, задающая естественные границы $(B_{i,i} \in [0,1],\ i=1,2,\ldots N)$, т.е. на ее диагонали стоят коэффициенты потенциального заполнения квадратов моделируемой территории: $B_{ii}=1$ если ячейка может быть заполнена полностью, $B_{ii}=0$ если она пустая и $0<B_{ii}<1$ если по этой ячейке проходит граница и ячейка заполняется частично. $A^{(r)}$ и $K^{(r}$ – диагональные матрицы, соответственно, с коэффициентами естественного воспроизводства и самоограничения вида r в каждой моделируемой ячейке. $C_r^{(l)}$ – диагональная матрица с коэффициентами взаимодействия особей вида r с особями вида l находящиеся в одной и той же ячейке ($l=1,2,\ldots s,\ l\neq r$). Матрица M, при этом, имеет ленточную структуру с нулевой главной диагональю, в которой $M_{i,j}$·($M_{i,j}\geq 0,\ i=1,2,\ldots,k,\ j=1,2,\ldots,n,\ i\neq j$) – коэффициент распространения семян или особей из j-й ячейки в i-ю. В случае описания популяций животных, когда $M_{i,j}$ равен доле эмигрировавших из j-й ячейки в i-ю особей, помимо прочего, происходит пропорциональное снижение особей в первом слагаемом системы (1) на величину $\sum_{j=1}^{k} M_{j,\,i}$.

Верификация модели выполнялось по реальным данным о пространственном распределении типов растительности на территории Еврейской автономной области, для чего на генеральную карту типов растительных сообществ за разные годы накладывалась равномерная сетка, подсчитывалось отношение произрастающих в каждой из полученных ячеек типов растительности. Далее, с учетом возможной анизотропией параметров, вызванной поясностью, влиянием речных комплексов на распространение, например, пойменных и долинных комплексов и других факторов, подбираются параметры системы (1), строится прогноз развития растительных комплексов области.

Исследования проведены при финансовой поддержке РФФИ (проект № 09-04-00146-а) и ДВО РАН (проекты № 09-I-ОБН-12, 09-III-А-09-498).

ПОДХОДЫ К МАТЕМАТИЧЕСКОМУ МОДЕЛИРОВАНИЮ БАЗОВЫХ ДЕТЕРМИНАНТ РЕГИОНАЛЬНОГО РАЗВИТИЯ (НА ПРИМЕРЕ ЕВРЕЙСКОЙ АВТОНОМНОЙ ОБЛАСТИ)

Курилова Е.В., Хавинсон М.Ю.
Институт комплексного анализа региональных проблем ДВО РАН, Биробиджан, Россия

APPROACHES TO MATHEMATICAL MODELING OF BASIC DETERMINANTS FOR REGIONAL DEVELOPMENT (ON THE EXAMPLE OF THE JEWISH AUTONOMOUS REGION)

Kurilova E.V., Khavinson M.Yu.
Institute for Complex Analysis of Regional Problems FEB RAS, Birobidzhan, Russia

The determinants of regional development are allocated and formalized. A model of regional dynamics is constructed and investigated in a wide spectrum of operating parameters. The results of modeling of the region are similar to the results of the Club of Rome, headed by J. Forrester for the world system. The equations are verified on the basis of statistics for the Jewish Autonomous Region. A trajectory model for the inertial development of the autonomy has been constructed.

В современных условиях глобального экономического кризиса новую актуальность приобретают вопросы устойчивого развития региона, которые частично могут быть решены с помощью математического моделирования. Динамику основных компонентов регионального развития можно описать посредством системы дифференциальных уравнений с четырьмя фазовыми переменными: народонаселение P, основные фонды V, ресурсы R, загрязнение Z, исходя из идеологии построения модели мировой динамики Дж. Форрестера.

Уравнения динамической системы примут следующий вид:

$$\begin{cases} \dot{P} = bV + aP - c_0P^2 \\ \dot{V} = cP + c_1PR - eV \\ \dot{R} = qV - wRV \\ \dot{Z} = a_1P - a_2Z - a_3ZV \end{cases}$$

где P – народонаселение (тыс. чел.), V – основные фонды (млн руб.), Z – загрязнение (объем выбросов в атмосферу загрязняющих веществ от стационарных источников, млн. тонн), R – ресурсы (млн т), a, b – коэффициенты роста населения, c_0 – коэффициент парных взаимодействий, c, – коэффициенты роста капитала, e – коэффициент износа фондов, w – коэффициент истощения ресурсов, q – коэффициент восстановления ресурсов, a_1 – коэффициент роста загрязнения, a_2 – коэффициент самоочищения, a_3 – коэффициент очищения с использованием дополнительных затрат.

С учетом того, что в данной модели первые три уравнения независимы от Z, будем рассматривать систему из трех уравнений с тремя фазовыми переменными:

$$\begin{cases} \dot{P} = bV + aP - c_0P^2 \\ \dot{V} = cP + c_1PR - eV \\ \dot{R} = qV - wRV \end{cases}$$

В полученной системе уравнений существует ненулевая особая точка и прямая, (0,0,r), целиком состоящая из особых точек

В результате аналитического и численного исследования модели установлено, что при значительном превышении темпов износа фондов над темпами притока населения ($a<e$), прямая (0,0,r) становится устойчивой, что соответствует нулевой численности населения и нулевым фондам. Однако при условии роста населения и рационального использования ресурсов ненулевая особая точка становится устойчивой, что соответствует относительно эффективному развитию региона.

Коэффициенты модели рассчитаны на основе статистических данных Еврейской автономной области. Определено, что при инерционном развитии автономия пройдет пик своего развития через 40 лет, затем показатели развития снижаются с последующей стабилизацией.

Данные результаты моделирования развития региона аналогичны результатам, полученным римским клубом во главе с Дж. Форрестером для мировой системы. Регион, как и мировая система, допускает много альтернативных вариантов поведения в зависимости от того, как регулируется рост населения, распределение капиталовложений, производство сельскохозяйственной продукции, использование природных ресурсов и осуществляем контроль за загрязнением.

Модельный анализ показал, что население и капиталовложения (фонды) растут до тех пор, пока уровень запасов природных ресурсов не понизиться настолько, что начинает сдерживать дальнейший рост. По мере дальнейшего истощения ресурсов регион оказывается неспособным обеспечивать население. Население вследствие этого уменьшается (наряду с понижением уровня капиталовложений). Так как развитие региона напрямую связано с истощением ресурсов, сложившуюся тенденцию можно улучшить, развивая региональные инвестиционные проекты, в частности, проекты на разведку новых месторождений ресурсов, внедрение современных инновационных энерго-эффективных технологий.

ПРИМЕНЕНИЕ МНОГОКОМПОНЕНТНОЙ МОДЕЛИ ЛЕФКОВИЧА К ОПИСАНИЮ ДЕМОГРАФИЧЕСКОЙ ДИНАМИКИ

Неверова Г.П.
Институт комплексного анализа региональных проблем ДВО РАН, Биробиджан, Россия

APPLICATION OF THE MULTICOMPONENT LEFKOVICH MODEL TO THE DEMOGRAPHIC DYNAMICS ANALYSIS

Neverova G.P.
Institute for Complex Analysis of Regional Problems FEB RAS, Birobidzhan, Russia

The multi-component Lefkovich model is used to describe the demographic dynamics in the region. The analysis of reproduction process with the population of the Jewish Autonomous Region is made on the basis of the model parameters point estimates.

В данной работе к описанию демографической динамики региона применяется многовозрастная модель Лефковича, в основе которой лежит принцип стадийности развития. В отличие от предыдущих работ, где при описании динамики численности населения осуществлялась попытка максимально обобщить особенности процесса воспроизводства населения, в данной делается упор на репродуктивные особенности каждой возрастной группы, участвующей в размножении.

Таким образом, к описанию динамики возрастного состава населения применена дискретная модель, где в качестве отдельных базовых переменных рассматриваются десять возрастных групп: новорожденные, дети в возрасте от года до 14 лет, репродуктивные группы в возрасте 15–19, 20–24, 25–29, 30–34, 35–39, 40–44, 45–49 и население старше 50 лет.

Численность новорожденных в данном году определяется репродуктивными особенностями и численностью репродуктивных групп в предыдущем году. Динамика остальных возрастных групп определяется переходом части особей их младших возрастных групп в старшие и выживаемостью оставшейся части населения.

Модель включает десять уравнений по количеству возрастных классов и 25 параметров: семь коэффициентов рождаемости для репродуктивных возрастных классов, 9 коэффициентов перехода (доля группы, перешедшая в следующий возрастной класс) и девять коэффициентов выживаемости для всех выделенных возрастов.

На основе статистических данных численности населения Еврейской автономной области найдены точечные оценки параметров модели. Показано что предложенная модель вполне может быть применена к анализу и выделению сложившихся тенденций процесса воспроизводства на территории региона.

Работа поддержана грантом РГНФ (проект № 09-02-88202а/Т) и грантом ДВО РАН (проект № 10-III-В-01М-005).

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНОГО ПРОМЫСЛОВОГО ИЗЪЯТИЯ ДЛЯ ТРЕХКОМПОНЕНТНОЙ ЛИМИТИРОВАННОЙ ПОПУЛЯЦИИ

Ревуцкая О.Л.
Институт комплексного анализа региональных проблем ДВО РАН, Биробиджан, Россия

DETERMINATION OF OPTIMAL HARVESTING FOR THE THREE-COMPONENT LIMITED POPULATION

Revutskaya O.L.
Institute for Complex Analysis of Regional Problems FEB RAS, Birobidzhan, Russia

In this paper we research a three-component mathematical model of population number dynamics. It considers the sex and age structure dynamics and density-dependent effects impact on survival rates of a younger age class. The optimization problem is stated and investigated. This problem was to find the optimum quotas and a steady value number of the population providing the theoretically possible maximum for the equilibrium withdrawal.

Пол и возраст являются важнейшими признаками, непосредственно связанными с протекающими в популяции процессами воспроизводства. Самцы и самки определенного возраста обладают принципиально различными хозяйственно-экономическими характеристиками, которые имеют существенное значение при формулировании задач управления эксплуатируемыми популяциями. В большинстве популяций самцов больше, чем это необходимо для оплодотворения всех самок, способных к размножению. Постепенное уменьшение доли самцов в популяции мало сказывается на плодовитости самок до тех пор, пока не будет достигнут некоторый критический уровень. Построение и исследование математической модели промысловой популяции позволяет определить оптимальную стратегию промысла без ущерба воспроизводительной способности популяции.

В данном сообщении рассматривается динамика численности эксплуатируемой популяции, которая может быть представлена совокупностью трех групп: младшей, включающей неполовозрелых особей, и двух старших, состоящих из самок и самцов, участвующих в размножении. Обозначим n – номер сезона размножения; z – численность особей в младшем возрастном классе; x, y – численности самок и самцов, участвующих в размножении. При построении модели динамика численности учитываются следующие предположения: рождаемость зависит от соотношения численностей самцов и самок в популяции; выживаемости неполовозрелых самок и самцов линейно зависят от численности младшего возрастного класса; количество рожденных самок и самцов равно. Предлагаемая модель может быть записана системой трех рекуррентных уравнений

$$\begin{cases} z_{n+1} = \dfrac{ax_n y_n}{hx_n + y_n}(1-u_1) \\ x_{n+1} = (0.5(\alpha - \beta z_n)z_n + sx_n)(1-u_2) \\ y_{n+1} = (0.5(\alpha - \beta z_n)z_n + vy_n)(1-u_3) \end{cases} \tag{1}$$

где a – произведение максимально возможного числа потомков, приходящихся на одну оплодотворенную самку, и доли рожающих самок от общего числа оплодотворенных, h – это такое соотношение самцов и самок в популяции, при котором оплодотворенными оказываются ровно половина самок; s и v – выживаемости половозрелых самок и самцов, соответственно; α, β коэффициенты, описывающие интенсивность внутрипопуляционной конкуренции, u_1, u_2, u_3 – доли изъятия неполовозрелых особей, половозрелых самок и самцов, соответственно.

Будем рассматривать только стационарные оптимальные режимы эксплуатации трехкомпонентной популяции. В этом случае из популяции ежегодно изымается одинаковая доля особей так, что прибыль от их реализации максимальна, а численность популяции остается неизменной с течением времени.

Задача оптимизации заключается в определении таких равновесных значений численностей и долей изъятия, которые бы обеспечили максимально возможный промысел на протяжении неограниченного долгого времени эксплуатации. Таким образом, необходимо найти такие величины u_1, u_2, u_3 и z, x, y, при которых достигал бы максимума функционал

$$R = c_1 u_1 \frac{axy}{hx + y} + c_2 u_2 (0.5(\alpha - \beta z)z + sx) + c_3 u_3 (0.5(\alpha - \beta z)z + vy), \quad (2)$$

или, , $R=c_1R_1+c_2R_2+c_3R_3$, где c_1, c_2, c_3 – цены неполовозрелых особей и половозрелых самок и самцов соответственно, R_1, R_2, R_3 – значения стационарных уловов для соответствующих половозрастных групп.

В общем случае эта задача может быть решена численными методами при известных значениях популяционных параметров. В данной работе рассматриваются частные случаи, когда изъятие ведется дифференцированно и только из одной половозрастной группы. Задача оптимизации аналитически решается только для случая, когда промыслу подвержена младшая возрастная группа. Представим основные результаты для этого случая.

Ненулевые стационарные состояния системы (1) при изъятии молоди возможны только при условии $0 \le u_1 < u_c$, где $u_c = 1 - \frac{1 - s + h(1 - v)}{0{,}5\alpha a}$. Увеличение доли изъятия молоди (u1) сверх значения uc приводит к вырождению популяции. Равновесные значения численностей zM, xM, yM, обеспечивающие теоретически возможный максимум равновесного улова, составляют

$$z_M = \frac{s - h + 0.5\alpha a + hv - 1}{\beta a}, \quad x_M = \frac{0{,}25a^2\alpha^2 - (1 - s + h(1 - v))^2}{2\beta a^2(1 - s)}, \quad y_M = \frac{0{,}25a^2\alpha^2 - (1 - s + h(1 - v))^2}{2\beta a^2(1 - v)}.$$

Оптимальная доля изъятия и максимальное значение равновесного улова, обеспечивающие максимум равновесного улова, определяются уравнениями

$$u_1 = \frac{\alpha a - 2(1 - s + h(1 - v))}{\alpha a + 2(1 - s + h(1 - v))}, \quad R_1 = \frac{(0.5\alpha a - (1 - s + h(1 - v)))^2}{2\beta a(1 - s + h(1 - v))}.$$

Для остальных частных случаев задача оптимизации решается численно.

Анализируются результаты численных экспериментов зависимости оптимальной доли изъятия и равновесных численностей от параметров модели. Показано, что увеличение коэффициента a, характеризующего интенсивность рождаемости, и коэффициента выживаемости взрослых самок (s), а также уменьшение величины h, характеризующей зависимость рождаемости от соотношения полов, приводят к увеличению значения оптимальной доли изъятия. Важно отметить, что достаточно небольшое снижение величины коэффициента выживаемости самок приводит к быстрому снижению оптимальной доли изъятия и, одновременно с этим, к полному вырождению всей популяции. Показано, что оптимальное управление промыслом позволяет стабилизировать динамику численности популяции.

Исследования проведены при частичной финансовой поддержке РФФИ (проект № 09-04-00146-а) и ДВО РАН (проекты № 09-I-ОБН-12, 09-II-СО-06-006, 09-III-А-09-498).

О ВОЗМОЖНОМ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ПРОГНОЗА УРОЖАЙНОСТИ ПРИ СОСТАВЛЕНИИ ПЛАНА БЮДЖЕТА РЕГИОНА

Фишман Б.Е., Сухарева Н.Ю.
ГОУ ВПО «Дальневосточная государственная социально-гуманитарная академия», Биробиджан, Россия

ON A POSSIBLE USE OF PRODUCTIVITY PROGNOSIS AT REGIONAL BUDGET COMPILING

Fishman B.E., Sukhareva N.Y.
Far Eastern State Academy for Humanities and Social Studies, Birobidzhan, Russia

In the paper the approach to drawing up a regional budget using the productivity prognosis with a one year advance is substantiated. The algorithm of productivity prediction with the use of time series analysis is offered.

Показателем эффективности сельскохозяйственного производства растениеводческой отрасли часто выступает уровень урожайности возделываемых культур. Этот показатель относится к основным задающим параметрам, при решении актуальных задач регионального управления. Обоснованное прогнозирование урожайности сельскохозяйственных культур позволяет принимать объективные управленческие решения.

От урожайности сельскохозяйственных культур зависит развитие кормовой базы региона и уровень продуктивности животноводства. Низкая урожайность предопределяет необходимость закупки дополнительных кормов, а высокая – потребность оптимально распорядиться доходами от реализации избытка кормов.

Своевременно полученный прогноз урожайности сельскохозяйственных культур, соотнесенный с потребностями в этих культурах внутри и за пределами отрасли, позволяет определить комплекс мер стратегического управления, необходимых для оптимизации деятельности агропромышленного комплекса (АПК) региона. Комплекс оптимизационных мер включает в себя планирование посевных площадей, уровня цен на продукцию и показателей севооборота, для реализации вышеупомянутых мер необходим прогноз урожайности на год вперед.

Построен прогноз, с использованием ранее полученной регрессионной модели продуктивности сои Архаринского района – $Y = 7{,}32 + 0{,}25(F_1 - 9{,}07) + 0{,}4(F_2 - 28{,}83) - 0{,}41(F_3 - 26{,}49)$, где факторы: $F_1 = \inf\left((T_{\min})_{176}^{14}\right)$ – минимальная температура 176–189 дней года; $F_2 = \overline{(T_{\text{med}})_{222}^{3}}$ – средняя температура 222–224 дней прошлого года; $F_3 = \sup\left((T_{\max})_{229}^{4}\right)$ – максимальная температура 229–233 дней прошлого года.

Для получения прогноза урожайности сои на будущий год необходимо прогнозное значение недостающего фактора F_1, поскольку значения остальных факторов известны уже в конце года, предшествующего прогнозируемому. Это значение получено методом анализа временного ряда данных о минимальной температуре периода с 25 июня по 8 июля (176–189 дни текущего года) за 1936–2009 гг., зарегистрированные на метеостанции № 31594 (Архара, Амурская область).

Проведено экспоненциальное сглаживание временного ряда, по рекуррентной формуле $S_t = \alpha z_t + (1-\alpha)S_{t-1}$, где S_t – значение экспоненциальной средней в момент t и α – параметр сглаживания. В качестве начального значения использовано среднее арифметическое всех имеющихся данных $S_0=9{,}58$ и $\alpha=0{,}1$.

Затем рассчитаны значения выборочной автокорреляционной ρ_k и частной автокорреляционной ϕ_k функций. Обнаруженное отсутствие резкого затухания выборочной автокорреляционной функции можно истолковано, как нестационарное поведение процесса S_t, и возможное представление его в виде модели процесса авторегрессии проинтегрированного скользящего среднего (АРПСС) $\varphi(B)z_t = \phi(B)(1-B)^d z_t = \theta(B)a_t$, где и B – оператор сдвига назад.

С целью определить значение параметра d изучены автокорреляционные функции первой и второй разности сглаженных данных. Поскольку вторая разность обнаружила стационарное поведение (затухание после первой задержки), то $d=2$.

Несмотря на отсутствие выраженного затухания функции ρ_k и ϕ_k, после первой задержки представимы в виде суммы затухающих экспонент и синусоид, тогда целесообразно использовать модель АРПСС $(1,\ 2,\ 1)$. Ряд экспоненциальных средних фактора F_1 описывается с помощью равенства $(1-\phi B)\nabla^2 S_t = (1-\theta B)a_t$.

После того как параметры найдены, и процесс представлен равенством $(1-0{,}92B)\nabla^2 S_t = (1-0{,}07B)a_t$, становится возможным получить разностное уравнение, эквивалентное последнему равенству $S_t = 2{,}92S_{t-1} - 2{,}84S_{t-2} + 0{,}92S_{t-3} + a_t - 0{,}07a_{t-1}$, которое будет использоваться при прогнозировании будущих значений фактора.

Получен прогноз экспоненциального среднего фактора урожайности с упреждением 1, $S_{t+1} = 2{,}92S_t - 2{,}84S_{t-1} + 0{,}92S_{t-2} = 9{,}39$. Тогда прогнозируемое значение фактора выразится $z_{t+1} = \dfrac{S_{t+1} - (\alpha-1)S_t}{\alpha} = 8{,}31$.

Используя рассуждения, проведенные выше прогнозная модель урожайности дальневосточной сои с упреждением в один год, имеет вид:

$$Y = 7{,}32 + 0{,}25\left(\frac{2{,}92S_t - 2{,}84S_{t-1} + 0{,}92S_{t-2} - (\alpha-1)S_t}{\alpha} - 9{,}07\right) + 0{,}4(F_2 - 28{,}83) - 0{,}41(F_3 - 26{,}49).$$

Для снижения риска в сельском хозяйстве из федерального бюджета бюджетам субъектов РФ предоставляются субсидии на компенсацию части затрат по страхованию урожая сельскохозяйственных культур. Субсидии предоставляются при наличии утвержденной региональной программы развития сельскохозяйственного производства, не последнее место при оставлении которой играет прогнозная информация.

Страховая стоимость урожая сельскохозяйственных культур определяется согласно утвержденной методике: $С=П\cdot У_{ср.}\cdot Ц$, где $С$ – страховая стоимость; $П$– размер посевной площади под конкретной сельскохозяйственной культурой; $Ц$ – средняя цена реализации одного центнера сельскохозяйственной продукции, сложившаяся по субъекту РФ на год, предшествующий заключению договора; $У_{ср.}$ – средняя урожайность сельскохозяйственной культуры, сложившаяся за 5 лет.

Для установления оценки возможной утраты (частичной утраты) урожая сельскохозяйственных культур также существует утвержденная методика: $А=П\cdot(У_{ср.}-У_{ф.})\cdot Ц$, где $А$ – оценка возможной утраты (частичной утраты) урожая сельскохозяйственной культуры; $У_{ф.}$ – урожайность фактическая.

В обеих приведенных формулах используется средняя урожайность сельскохозяйственной культуры, сложившаяся за 5 лет, в качестве прогнозного значения на будущий год. Следовательно, при использовании методов, дающих более точный прогноз, допустимо точное установление утраты и страховой стоимости урожая, что дает основание для составления плана бюджета. Таким образом, использование информации по прогнозу урожайности уместно при составлении плана эффективного бюджета субъекта РФ.

О ЗАДАЧЕ ОБНАРУЖЕНИЯ ПЕРИОДИЧЕСКОЙ ДИНАМИКИ В МОДЕЛИ РИККЕРА

Фишман Б.Е., Шлюфман К.В.
Институт комплексного анализа региональных проблем ДВО РАН, Биробиджан, Россия

ON THE PROBLEM OF DETECTING PERIODIC DYNAMICS IN THE RICKER MODEL

Fishman B.E., Shlufman K.V.
Institute for Complex Analysis of Regional Problems FEB RAS, Birobidzhan, Russia

The problem of detecting cycles of finite length in the Ricker model, its elements fluctuating in a limited range of values, has been considered. A tool for these cycles detection has been designed.

В популяционной биологии для моделирования динамики численности популяции и описания действия плотностно-лимитированных факторов очень часто используется модель Риккера:

$$x_{i+1} = \alpha \cdot x_i \cdot \exp(-\beta \cdot x_i) \quad (1)$$

где α – скорость роста популяции при отсутствии лимитирования факторами внешней среды, β – степень экологического лимитирования роста численности.

Наиболее полное и подробное исследование модели (1) представлено в работе [Скалецкая, 1979]. В этой работе выделены точки бифуркаций, определены области значений параметров устойчивых циклов конечной длины. При этом области значений параметров, для которых циклы не определились, были отнесены к областям хаотической динамики. Такие области, на наш взгляд, представляют наибольший интерес. Предполагается, что в выделенных областях хаотической динамики, система (1) может иметь циклы конечной длины, элементы которых флуктуируют в ограниченной области значений состояний системы.

Для более детального исследования хаотической динамики модели (1) мы воспользовались автокорреляционным полем, представляемым парами значений динамики модели, отстоящих друг от друга с большим лагом (100 и более моментов времени). Автокорреляционное поле позволило увидеть, что при тех значениях параметров, где в соответствии с [Скалецкая, 1979] выделяется хаотическая динамика, состояния системы (1) объединяются в четко разделяющиеся кластеры состояний. При этом система (1) (показали дополнительные проверки), изменяя свое состояние, строго периодически чередует выделенные кластеры состояний. Такое поведение системы не отвечает понятию динамического хаоса, в соответствии с которым система (1) может принимать любые состояния из интервала $(0,a/e]$.

Для исследования этого явления мы ввели понятие обобщенной периодичности. Будем говорить, что динамика системы характеризуется обобщенными периодическими изменениями состояния с периодом T, если

$$|x_i - x_{i+k\cdot T}| \le \varepsilon, \text{ где } i \in N, k \in Z, \varepsilon > 0,$$

где период колебаний $T=const$. Следует отметить, что это определение включает в себя понятия как цикла конечной длины, так и квазипериодической динамики. Данное понятие легло в основу алгоритма для исследования возможных режимов динамики модели (1).

Результаты численного исследования позволили уточнить динамические режимы модели (1). Область значений параметров, при которых в модели (1) возникают хаотические динамики, существенно сократилась за счет выделения областей обобщенной периодичности. Таким образом, данный инструмент позволяет обнаруживать циклы конечной длины, элементы которого флуктуируют в ограниченной области, именуемой кластером.

Исследование проведено при финансовой поддержке РФФИ (проект № 09-04-00146) и ДВО РАН (конкурсные проекты № W-09-I-П-15-01, 09-1-ОБН-12).

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ДИНАМИКИ ЗАНЯТОСТИ В РЕГИОНЕ (НА ПРИМЕРЕ ЕВРЕЙСКОЙ АВТОНОМНОЙ ОБЛАСТИ)

Хавинсон М.Ю.
Институт комплексного анализа региональных проблем ДВО РАН, Биробиджан, Россия

MATHEMATICAL MODEL OF EMPLOYMENT IN THE REGION (ON THE EXAMPLE OF THE JEWISH AUTONOMOUS REGION)

Khavinson M.Yu.
Institute for Complex Analysis of Regional Problems FEB RAS, Birobidzhan, Russia

We have formed the approach to study cyclical fluctuations (with a period of several years) of the number of employed and unemployed population in the Jewish Autonomous Region, based on the allocation of a structural element of interpersonal networks. A mathematical model of regional employment and unemployment, taking into account the influence of interpersonal networks on the distribution of labor, is constructed. The model is verified on the basis of statistics for the Jewish Autonomous Region.

Решение проблем региональной занятости и безработицы является одной из важнейших задач социально-экономического развития региона. Экспертный анализ в решении вопросов региональной занятости и безработицы может быть существенно дополнен с помощью математического инструментария, а именно, метода математического моделирования.

Построение математической модели региональной занятости и безработицы производится с помощью дифференциальных уравнений на принципах, изложенных в работе В. Вольтерра. Для того чтобы моделируемая система была замкнутой, рассматриваем три группы населения, в совокупности составляющие все население региона: занятые, безработные и экономически неактивные (лица до 16 и после 55 лет).

Социальные взаимодействия экономически активного населения будем описывать тройными взаимодействиями типа «безработный-занятый-занятый» (иными словами, «безработный-посредник-работодатель») по аналогии с моделью брюсселятора взаимодействия молекулы одного вещества с двумя молекулами другого. Систему социальных отношений при трудоустройстве принципиально возможно представить в виде цепи таких триад. Отметим, что посредниками при трудоустройстве могут быть как знакомые, друзья, родственники, так и представители государственных, частных служб занятости и разного рода СМИ.

В итоге получаем следующую систему уравнений:

$$\begin{aligned} \dot{x} &= \alpha_0 \cdot x\ z + \beta_0 \cdot x^2 y - a_0 \cdot x \\ \dot{y} &= \alpha_1 \cdot y\ z - \beta_1 \cdot x^2 y - a_1 \cdot y \ , \\ \dot{z} &= \gamma \cdot x - b \cdot z \end{aligned}$$

где x – численность занятых, y – численность безработных, z – численность экономически неактивных, α_0, β_0, α_1, β_1 – коэффициенты социальных взаимодействий, a_0, a_1 – доли убыли, γ – доля занятых, пополняющих когорту экономически неактивных, b – обобщенный коэффициент смертности, миграции экономически неактивных. С помощью полученных уравнений можно описать различные колебательные режимы социальных взаимодействий между занятыми, безработными и экономически неактивными.

В системе есть стационарное состояние с отсутствием безработных (вторая особая точка), которое возможно, скорее всего, в регионе с богатой инфраструктурой и «равновесным» количеством рабочих мест. Ненулевые особые точки соответствуют ситуации наличия непривлекательных рабочих мест, создающую некоторую постоянную «текучку» кадров, либо кадрового перенасыщения рынка труда. Модель также может описать различные колебательные процессы, характерные для более сложных взаимодействий экономически активного населения региона.

Модельные уравнения применены для описания динамики занятости и безработицы в Еврейской автономной области (ЕАО). Для ЕАО выявлены колебания в численности занятых x, безработных y и экономически неактивных z. Модельные значения численности занятых и безработных в области близки к насыщению. Колебания численности экономически активного населения ЕАО вызваны кризисом 1990-х годов и в настоящее время носят характер затухающих колебаний, стабилизирующихся в небольшой устойчивый предельный цикл, образованный вокруг точки (89,5; 3,79; 93,4).

Отметим, что численность безработных в устойчивом состоянии рассматриваемой системы будет отлична от нуля, что может означать наличие «буфера» трудовых ресурсов в ЕАО. «Резерв» из безработных образуется вследствие «текучки» кадров, обусловленной, скорее всего, поиском наиболее престижной, высокооплачиваемой и интересной работы квалифицированными безработными.

Таким образом, описанная модель вполне успешно может быть применена к описанию динамики численности экономически активного населения региона. Интерпретация коэффициентов и решений уравнений приведенной системы совместно с экспертным анализом может увеличить шансы на принятие конструктивного решения по снижению безработицы в регионе.

Работа выполнена при частичной поддержке гранта ДВО РАН проект № 10-III-В-01М-005.