

УПРАВЛЕНИЕ ПРОИЗВОДСТВОМ ПРОДУКЦИИ С УЧЕТОМ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ОГРАНИЧЕНИЙ

**Е.М. Игумнова, В.Ю. Набойкин,
С.М. Солодова, И.Е. Тимченко**
Морской гидрофизический институт
НАН Украины

г. Севастополь, ул. Капитанская, 2
E-mail: timchenko@stel.sebastopol.ua

Под устойчивым развитием любой эколого-экономической системы понимается процесс достижения целевых установок развития, организованный таким образом, чтобы объективно существующие ресурсы развития выявлялись и использовались рационально по отношению к некоторой системе критериев. Важнейшим среди них является критерий динамического баланса между экономической целесообразностью потребления природных ресурсов и экологической оправданностью вмешательства в естественное состояние природной среды. Этим объясняется значение эколого-экономических систем для управления ресурсами развития.

Любая эколого-экономическая система представляет собой генерализованный баланс между стремлением к максимальной экономической выгоде от использования ресурсов и ограничением возможности получить эту выгоду по причине конкурентного спроса на ресурсы или ввиду экологических, социальных, правовых и прочих ограничений условий производства. Предприятие (или отрасль экономики) потребляет природные ресурсы для производства продукции, реализации ее на рынке и получения прибыли. Стремление произвести как можно больше выгодной для реализации продукции ограничено реально существующим спросом на эту продукцию. Поэтому первая из составляющих общего баланса может быть названа балансом выпуска продукции.

Прибыль предприятия также может рассматриваться как баланс между доходами от реализации продукции и расходами на ее производство. Для контроля за доходами в векторе состояния системы должны присутствовать цена единицы продукции и объем реализации. Чтобы контролировать расходы, в вектор состояния необходимо ввести себестоимость продукции и объем выпуска.

Любое производство не возможно без основных фондов и оборотных средств. С этим обстоятельством связаны еще два баланса в структуре экономической подсистемы. Обычно часть прибыли используется в качестве оборотных средств, а недостающие средства покрываются за счет краткосрочных кредитов и долгосрочного инвестирования. Мы будем считать, что всякий раз, когда затраты превышают доходы, но выпуск продукции целесообразно продолжать, предприятие имеет возможность получить кредит и увеличить свои оборотные средства до необходимых размеров. Последующая прибыль позволит вернуть кредиты и выплатить проценты по ним, если в системе будет обеспечен соответствующий баланс оборотных средств.

Аналогичным образом осуществляется баланс основных фондов. Полагая, что увеличение выпуска продукции должно сопровождаться пропорциональным ростом основных фондов, необходимо предусмотреть сравнение имеющихся и требующихся основных фондов. Если баланс основных фондов станет отрицательным, потребуются дополнительные инвестиции в основные фонды предприятия.

Используя достаточно общий критерий сохранения биоразнообразия окружающей среды, следует ввести в модель природно-хозяйственного комплекса баланс между тенденцией к уменьшению биоразнообразия и к его росту за счет естественной устойчивости при-

родных экосистем и осуществляемых природоохранных мероприятий [1].

Будем считать, что предприятие, потребляющее некоторый природный ресурс, уменьшает его концентрацию пропорционально объему выпуска продукции. Существует предельно допустимая концентрация биоресурса, за которой наступают необратимые изменения естественного биоразнообразия природной среды. В качестве тенденции, препятствующей такому развитию событий, естественно выбрать экономические санкции против предприятия. Этой цели служит ресурсная рента или природоохранный налог на выпуск продукции, сокращающей концентрацию биоресурса. Ресурсная рента призвана регулировать потребление биоресурса и поддерживать баланс биоресурса в природной среде.

Еще один вид экологического баланса связан с загрязнением окружающей среды отходами производства. Тенденции роста концентрации загрязняющих веществ в природной среде противостоят тенденции к естественному самоочищению среды, поддерживаемая природоохранными мероприятиями. Как и в случае с биоресурсом, баланс загрязняющих веществ должен обеспечиваться экономическими санкциями в отношении источников загрязнений. Мы введем еще один вид природоохранного налога на выпуск продукции и будем называть его экологическим штрафом, который обеспечивает баланс загрязняющих веществ ниже предельно допустимого уровня.

Введенные выше балансы формируют структуру эколого-экономической системы (ЭЭС), которую образует предприятие с окружающей его природной средой.

Рассмотрим концептуальную модель эколого-экономической системы, которая является достаточно общей моделью, так как она учитывает основные балансы в экономической и в экологи-

ческой подсистемах [2]. Структура модели изображена на рис. 1. Динамика системы представлена 11 развивающимися процессами X_i , которые образуют ее вектор состояния. Компоненты вектора имеют следующий смысл:

X_1 - спрос на продукцию предприятия, входящего в состав ЭЭС,

X_2 - цена единицы продукции,

X_3 - показатель качества продукции,

X_4 - себестоимость продукции,

X_5 - объем выпуска продукции,

X_6 - кредит оборотных средств, накопленный к текущему моменту времени,

X_7 - инвестиции в основные фонды, требующие возврата кредиторам,

X_8 - имеющиеся основные фонды,

X_9 - необходимые основные фонды,

X_{10} - концентрация загрязнений в природной среде,

X_{11} - концентрация биоресурса в природной среде.

В модели присутствуют также переменные, являющиеся производными функциями от компонент вектора состояния:

H - объем готовой продукции на складе,

S - скорость реализации продукции,

I - норма прибыли,

U - управление выпуском и реализацией продукции,

D - текущие доходы предприятия,

C - текущие затраты предприятия,

A - текущий кредит оборотных средств,

M - проценты по кредиту,

G - текущие инвестиции в основные фонды,

F - проценты по инвестициям,

E - доля экологического штрафа в себестоимости,

R - доля ресурсной ренты в себестоимости,

AD - накопленные доходы,

AC - накопленные расходы,

AI - накопленная прибыль

T - рентабельность,

B_1 - баланс выпуска,

V_2 - баланс оборотных средств,
 V_3 - баланс основных фондов,
 V_4 - баланс загрязняющих веществ,
 V_5 - баланс биоресурса.

Динамические балансы в модели обеспечиваются множеством обратных связей. Так, например, баланс выпуска V_1 регулируется следующим образом. Предположим, что спрос на продукцию предприятия X_1 увеличился. Тогда реализация продукции также увеличится. Это приведет к увеличению выпуска

продукции X_5 , который компенсирует увеличение спроса. В свою очередь, рост выпуска продукции и увеличение реализации S приведут к изменениям баланса выпуска V_1 , баланса оборотных средств V_2 , баланса основных фондов V_3 , баланса загрязнений V_4 и баланса биоресурса V_5 . Каждый из этих балансов связан с экономической ситуацией внутри предприятия и влияет на управление выпуском и реализацией продукции по своей цепи обратной связи.

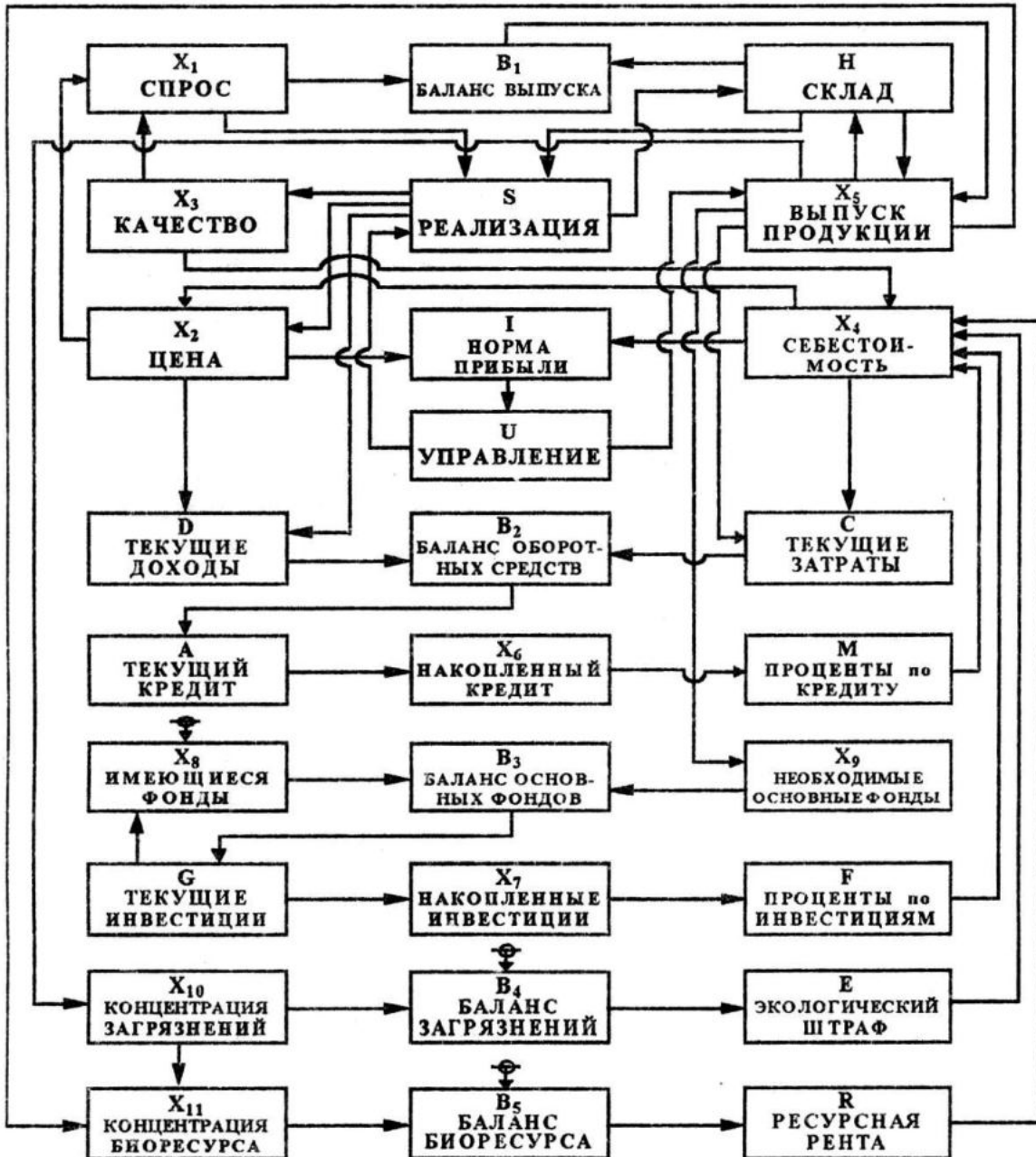


Рис. 1. Концептуальная модель эколого-экономической системы.

Формализация модели. Чтобы представить концептуальную модель в виде системы уравнений, мы воспользуемся АВС – методом с экспоненциальными функциями влияния [2].

Используя положения этого метода, а также диаграмму концептуальной модели системы рис. 1, можно получить следующие динамические уравнения эколого-экономической модели:

$$\begin{aligned}
 X_{1j} &= 2X_{1j}\exp(-a_{11}X_{1j} + a_{21}X_{2j} + a_{31}X_{3j}); \\
 X_{2k} &= 2X_{2j}\exp(-a_{22}X_{2j} + a_{42}X_{4j} + a_{64}S_j); \\
 X_{3k} &= 2X_{3j}\exp(-a_{33}X_{3j} + a_{63}S_j); \\
 X_{4k} &= 2X_{4j}\exp(-a_{44}X_{4j} + a_{64}X_{6j} + a_{74}X_{7j} \\
 &\quad + a_{B4}E_j + a_{R4}R_j + a_{34}X_{3j}); \\
 X_{5k} &= 2X_{5j}\exp(-a_{55}X_{5j} + a_{U5}U_jX_{5j} + a_{B15}B_{1j}); \\
 X_{6k} &= M_{06}X_{6j} + A_j; \\
 X_{7k} &= F_{07}X_{7j} + G_j; \\
 X_{8k} &= 2X_{8j}\exp(-a_{88}X_{8j} + a_{78}X_{7j} \\
 &\quad + a_{08}\exp(-c_{08}nt)); \\
 X_{9k} &= 2X_{9j}\exp(-a_{99}X_{9j} + a_{59}X_{5j}); \\
 X_{10k} &= 2X_{10j}\exp(-a_{1010}X_{10j} + a_{510}X_{5j}); \\
 X_{11k} &= 2X_{11j}\exp(-a_{1111}X_{11j} + a_{511}X_{5j} \\
 &\quad + a_{1011}X_{10j}); \\
 B_{1j} &= IF((X_{1j} - H_j) \leq 0; 0; X_{1j} - H_j); \\
 B_{2j} &= D_j - C_j; \\
 B_{3j} &= X_{8j} - X_{9j}; \\
 B_{4j} &= X_{10}^* - X_{10j}; \\
 B_{5j} &= X_{11}^* - X_{11j}; \\
 S &= IF(I > 0; IF(X_1 \leq H; X_1; H); 0); \\
 A &= IF(B_2 > 0; 0; B_2); \\
 G &= IF(B_3 > 0; 0; B_3); \\
 E &= IF(B_4 > 0; 0; -B_4); \\
 R &= IF(B_5 > 0; \tau_0 X_5; \tau_1 X_5); \\
 H_k &= H_j + X_{5k} - S_k; \\
 I_k &= X_{2k} - X_{4k}; \\
 D_k &= X_{2k}S_k; \\
 C_k &= X_{4k}X_{5k}; \\
 AD_k &= AD_j + S_kX_{2k}; \\
 AC_k &= AC_j + X_{4k}X_{5k}; \\
 T_k &= AD_k / AC_k - 1.
 \end{aligned}
 \tag{1}$$

Для прогноза процессов в системе необходимо задать начальные значения компонент вектора состояния X^0_1, \dots, X^0_{11} , а также определить все входящие в модель коэффициенты функций влияния.

Заметим, что блок «U - управление» в модели (см. рис. 1) осуществляет принятие решений по изменению объемов выпуска и реализации продукции. В проведенных расчетах было использовано простое решение: если норма прибыли становится отрицательной, реализация продукции прекращается, а ее выпуск ограничивается. Такая ситуация, как будет показано ниже, может быть связана с экологическими ограничениями на потребление ресурсов и загрязнение окружающей среды. Для ограничения выпуска в уравнении для X_5 был применен переменный коэффициент в соответствующей функции влияния: $(a_{55} + a_{U5}U)X_5$.

В проведенных экспериментах оценивалось влияние вариаций себестоимости производства продукции, обусловленных изменением ставок налогов или размеров экономических санкций, применяемых к предприятию. С этой целью была имитирована временная изменчивость себестоимости x_4 . Заданный сценарий изменения включал в себя этап роста себестоимости на начальном периоде моделирования с 0 по 15 шаг и последующее уменьшение ее на этапе с 15 по 50 шаг (см. рис. 2).

Как следует из рисунка, в период с 10 по 25 шаг по времени себестоимость производства превышала рыночную цену продукции. Функция управления U ограничивала выпуск продукции в этот период, баланс оборотных средств стал отрицательным и предприятие было вынуждено брать краткосрочные кредиты A в банке. Эти кредиты были использованы для повышения качества продукции x_3 . С ростом качества несколько увеличился спрос на продукцию x_1 (см. рис. 3). Однако норма прибыли оставалась отрицательной. Поэтому реализация продукции была остановлена на 10 шаге, а объем ее выпуска начал быстро сокращаться и к 23 шагу по времени производство было приостановлено.

После 25 шага, когда появилась положительная норма прибыли, началась интенсивная реализация продукции S, скопившейся на складе H. Для быстрого увеличения выпуска предприятию вновь потребовались краткосрочные кредиты оборотных средств (A на рис. 2). Полу-

чение кредитов позволило снова несколько повысить качество продукции, а также спрос на нее. После 35 шага система вернулась в состояние равновесия, несмотря на продолжавшееся уменьшение себестоимости выпуска.

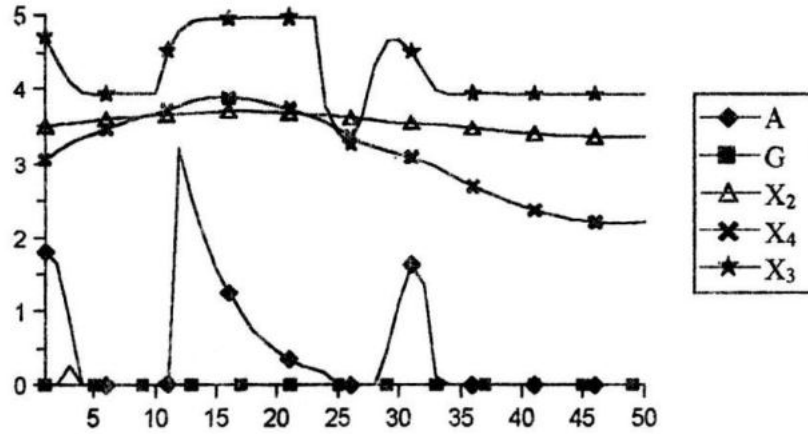


Рис. 2. Сценарии развития при вариации себестоимости продукции.

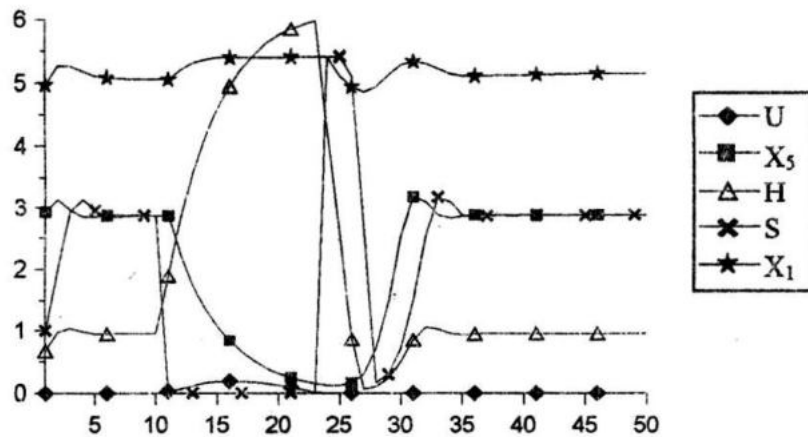


Рис. 3. Управление выпуском X_5 и реализацией S продукции при отрицательной норме прибыли.

Ресурсная рента и экологические штрафы. Размер ресурсной ренты должен покрывать природоохранные мероприятия государства, чтобы компенсировать ущерб природным экосистемам, наносимый производством. В общем случае ресурсная рента должна поддерживать динамический баланс между интересами общества (чистота и здоровье

окружающей среды) и частного потребителя ресурсов (максимальная прибыль и рентабельность производства). Мы рассмотрим применение ресурсной ренты и экологических штрафов в сценариях развития в качестве экономических санкций, которые могут повлечь за собой ограничение выпуска продукции.

Если уровень концентрации загрязнений превышает предельно допустимый, размер экологического штрафа должен быть увеличен настолько, чтобы сделать производство нерентабельным и приостановить выпуск продукции. Аналогичным образом ведет себя и баланс B_5 , когда уровень концентрации потребляемого природного ресурса (например, биоресурса) падает ниже предельно допустимого значения. Таким образом, в модели возможны два режима управления процессом потребления природных ресурсов: режим «нормального» состояния природной среды, при котором предприятие платит за биоресурсы и за загрязнение отходами производства территорий и акваторий, и режим дегра-

дации природной экосистемы, когда наряду с повышенными экономическими санкциями ограничивается потребление биоресурсов и приостанавливается производство продукции. Механизм ресурсной ренты представлен логическим условием R в системе уравнений (1).

На рис. 4 показан пример управления выпуском X_5 и реализацией продукции S путем применения ресурсной ренты R . Повышенные рентные платежи были предъявлены предприятию в период между 25 и 30, а так же между 31 и 35 шагами вычислений. В каждый из этих периодов производство продукции сокращалось до таких размеров, чтобы восстановить заданный уровень концентрации биоресурса.

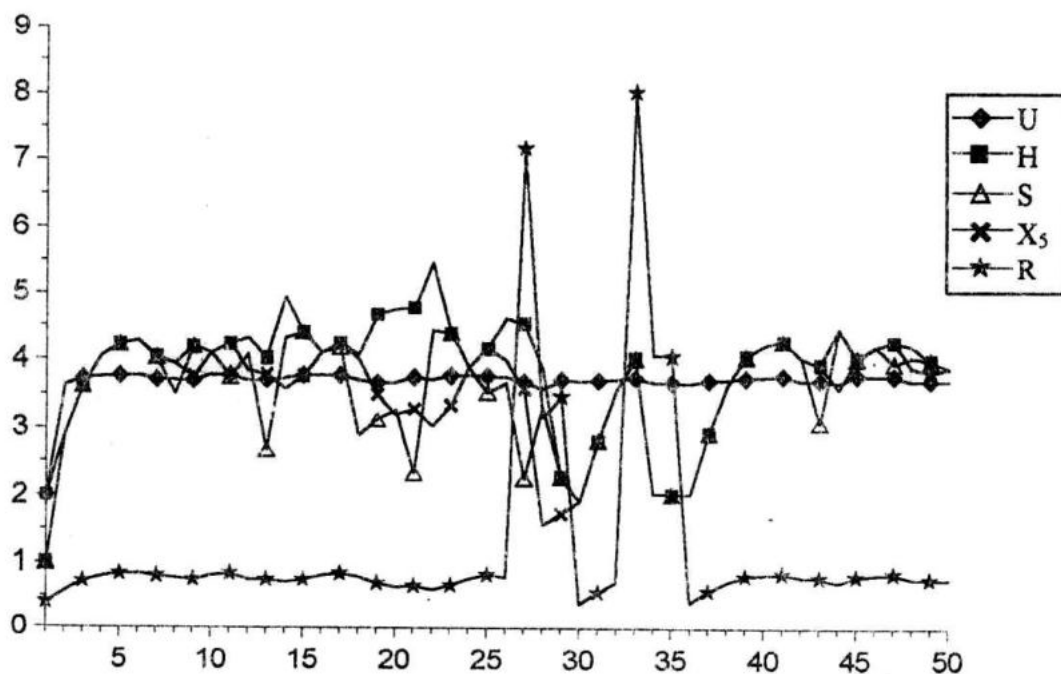


Рис. 4. Влияние ресурсной ренты на выпуск и реализацию продукции.

Для того, чтобы проанализировать эффекты одновременного использования ресурсной ренты и механизма штрафных санкций за загрязнение природной среды, был проведен следующий эксперимент. Были установлены предельно допустимые уровни концентрации биоресурса $X_{11}^* = 2,1$ и загрязнений

$X_{10}^* = 3,3$. Было имитировано внешнее воздействие на систему: спрос на продукцию предприятия испытывал случайные колебания, а концентрация биоресурса в природной среде была подвержена сезонной изменчивости. Сценарии развития процессов в системе показаны на рис. 5. В начальный период в

системе происходил рост объемов выпуска продукции x_5 , а следовательно, и потребления биоресурса (кривая, начинающаяся в точке 2). Это вело к повышению уровня загрязнений X_{11} (кривая с ординатой 1) и уменьшению концентрации биоресурса X_{10} (кривая с ординатой 5). В этот период времени ресурсная рента R (ордината 0,4) и экологический штраф E (ордината 0,2) имели пониженные значения.

При достижении уровнем загрязнения значения $X_{10}^* = 3,3$ размер экологического штрафа увеличился в 10 раз. Это привело к некоторому сокращению объема производства и снижению уровня загрязнений. На интервале времени с 5 по 25 шаг установился режим периодических включений экологических штрафов, при котором объемы выпуска продукции были ограничены, а концентрация загрязнений колебалась около предельно допустимого уровня.

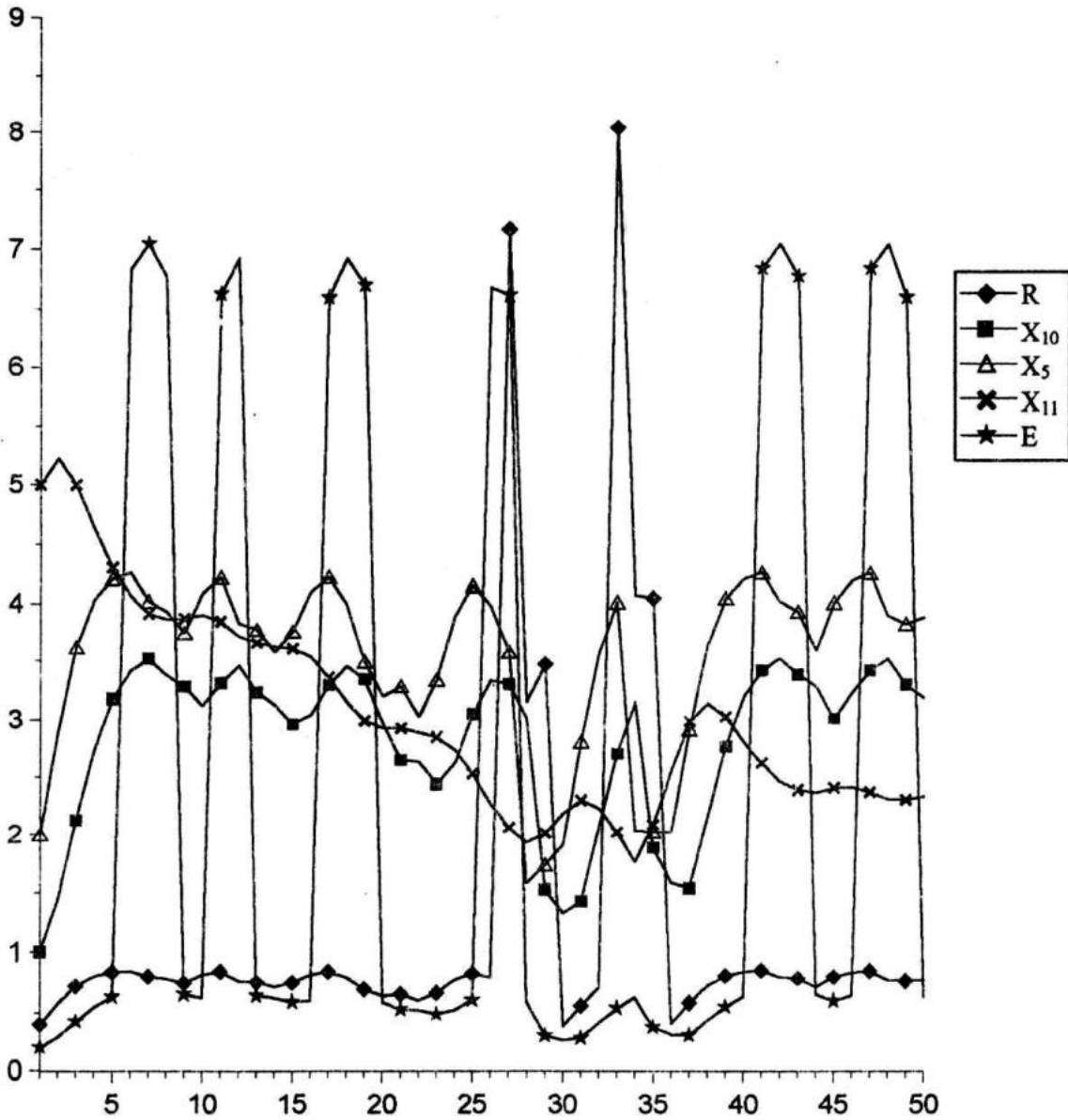


Рис. 5 Управление концентрацией биоресурса X_{11} и уровнем загрязнения X_{10} с помощью ресурсной ренты R и экологических штрафов E .

Однако концентрация биоресурса при этом продолжала падать. Поэтому дважды, на 25 и 31 шагах по времени, при уровне $X_{11}^* = 2,1$ включалась увеличенная в 10 раз ресурсная рента. После этого концентрация биоресурса стала возрастать и после 35 шага вычислений превышала установленную норму. Уровень загрязнений продолжал ограничивать производство путем периодического включения экологического штрафа.

Как следует из рис. 5, генерализованный баланс между интересами производства и интересами охраны природной среды заставляет периодически включать не только экологические штрафы, но и повышенную ресурсную ренту. Таким путем устанавливается коридор допустимых объемов потребления биоресурса. Концентрация биоресурса колеблется при этом возле установленного значения, а концентрация загрязнений не превосходит предельно допустимой величины.

ЛИТЕРАТУРА

1. Игумнова Е.М, Солодова С.М, Тимченко И.Е, Жуков А.Н. Управление пространственно-распределенными биоресурсами. Системы контроля окружающей среды. Сб. науч. тр. /НАН Украины. МГИ: - Севастополь, 1999. С. 205 – 211.

2. Тимченко И.Е, Игумнова Е.М, Тимченко И.И. Системный менеджмент и АВС- технологии устойчивого развития. /НАН Украины. Морской гидрофизический институт. – Севастополь: «ЭКОСИ-Гидрофизика», 2000 - 224 с.