

ЛЕСНОЕ ХОЗЯЙСТВО

УДК 630*161.4.001.572

**ИНФОРМАЦИОННО-РЕСУРСНАЯ МОДЕЛЬ
ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ДРЕВЕСНЫХ РАСТЕНИЙ
С САМООРГАНИЗУЮЩЕЙСЯ СТРУКТУРОЙ**Г. Т. КРИНИЦКИЙ, Л. С. СИКОРА, Н. Л. ГИРНЫК, И. М. СОГОР,
А. И. МАРТЫНЕНКО

Львовский лесотехнический институт

ВНПО Союзавтоматстром.

Институт физиологии растений и генетики АН Украины

Одна из ключевых проблем исследования многомерных развивающихся систем с изменяющейся структурой — их идентификация. В настоящей работе проанализированы методические подходы к идентификации древесных растений как систем управления.

Ввиду сложности и стохастичности протекания физиологических процессов методы построения детерминированных математических моделей жизнедеятельности деревьев оказываются малоэффективными. В этих условиях наиболее целесообразно использовать адаптивные методы идентификации древесных растений как систем усложняющегося поведения, в основе функционирования которых лежит концепция самоорганизации.

Исследуемая система может быть представлена в виде многомерного объекта с заданной структурой иерархического управления. На ее низшем уровне находится собственно система регулирования с заданной структурой и стратегией управления $Strat U$, которая включает объект управления, наблюдающую систему NS_v , источник ресурсов IR , процессор принятия решений PPR на основе набора гипотез H_1 , характеризующих допустимые траектории динамического состояния древесного объекта. Система высшего уровня определяет цели управления S_u на основе банка знаний, сформированного по иерархическому принципу. При этом наблюдающая система содержит следующие статистические оценки траектории параметра состояния x : математическое ожидание, функцию и плотность распределения вероятности, спектральную и корреляционную функции. На основании представленной оценки фазового состояния с помощью процессора оценки статистических характеристик траектории x , характерного для каждой породы и уровня жизнедеятельности дерева, формируется образ динамической ситуации и его положение в целевом пространстве динамической системы.

В соответствии с принципом самоорганизации жизнедеятельности растения разработана концептуальная, информационно-ресурсная модель функционирования древесного организма (рис. 1). При этом информационная подструктура отображает движение потоков информации в исследуемое растение как объект управления, последующее формирование образа динамической ситуации и его поведение во временном пространстве изменения жизненных процессов. В качестве информационных характеристик физиологического состояния деревьев используются активные (биоэлектрические потенциалы корневой шейки БЭП₁ и вершины БЭП₂ растения, разность потенциалов между ними) и пассивные (импеданс Z , поляризационная емкость C) электрофизиологи-

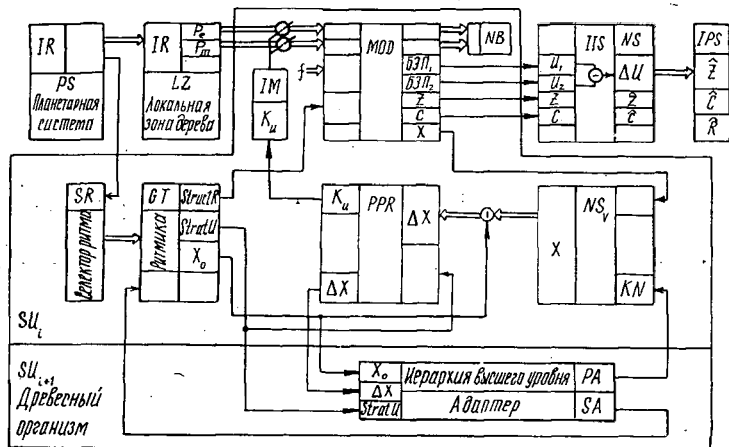


Рис. 1. Концептуальная, информационно-ресурсная модель

функционирования дерева: Z , C , \hat{Z} , \hat{C} — импеданс, поляризационная емкость и их статистические оценки; U_1 , U_2 , ΔU — биоэлектрические потенциалы корневой шейки, вершины и разность между ними; X , X_0 , ΔX — реальная, требуемая траектории жизнедеятельности (БЭП) растения и оценка их рассогласования; *Struct R* — структура, определяющая механизм взаимодействия физико-химических и энергетических ресурсов; *MOD* — модель физико-химических и биологических процессов жизнедеятельности растения; *IM* — исполнительный механизм; K_u — команды управления; f — возмущения; *IPS* — индикатор параметров состояния древесного организма; R — активная составляющая БЭП; *KN* — коррекция наблюдающей системы по параметрам оценки физиологического состояния древесного растения; *PA*, *SA* — параметрическая и структурная адаптация; SU_i , SU_{i+1} — система управления нижнего и высшего иерархического уровня

ческие показатели внешней информационно-измерительной системы *IIS*.

Ресурсная подструктура обобщенной модели основана на исследовании траекторий движения материальных и энергетических ресурсов и отображает их физико-химические преобразования в процессе жизнедеятельности.

При разработке модели учтено, что жизнедеятельность древесного организма задается генотипом *GT*, а приспособляемость определяется условным механизмом адаптера, в котором заложен алгоритм функционала качества с учетом целевой функции. При этом исследуемое растение существует в условиях ритмозадающей планетарной системы *PS* с источником глобальных ресурсов IR_g , обеспечивающим ритмику физиологических процессов при наличии селектора ритма *SR*. В соответствии с разработанной моделью воздействия на древесное растение энергетических P_e и материальных P_m потоков изучались вопросы влияния средообразующих факторов (температура и влажность воздуха, освещенность, суммарная и рассеянная радиация) на биоэлектрическую активность контролируемых объектов различного физиологического состояния [1]. Результаты исследований свидетельствуют о внешней согласованности физиологических функций организма, обеспечивающей его адаптацию к условиям внешней среды посредством синхронизации метаболических процессов с периодически изменяющимися средообразующими факторами (синхронизаторами). Изучение парных и частных коэффициентов корреляции показало [1], что для хорошо развитых древесных растений таким синхронизатором является температура, а для ослабленных — освещенность.

Идентификация древесного организма как многомерной системы обусловила необходимость описания его динамического состояния в виде дифференциального уравнения баланса ресурсных потоков:

$$\frac{dx(t)}{dt} = A_{xp}(t, \tau) \left[\sum_i P_i \downarrow(t) - \sum_j P_j \uparrow(t) \right],$$

где $A_{xp}(t, \tau)$ — импульсная переходная функция, определенная уравнением формирующего фильтра по параметру состояния;

$P_j \downarrow(t)$ — управляемые входные потоки энергетических и материальных ресурсов;

$P_j \uparrow(t)$ — неуправляемые выходные потоки энергетических и материальных ресурсов.

Траектория выраженного через БЭП состояния хорошо развитого древесного растения по выбранному информативному параметру (температуре t) представлена интегральным уравнением

$$x(t) = \int_f A_{xp}(t, \tau) \left[\sum_i P_i \downarrow(t) - \sum_j P_j \uparrow(t) \right] dt + x_0,$$

где x_0 — начальное значение параметра БЭП древесного организма.

При проведении модельных исследований рассмотрены управляемые $P_i \downarrow(t)$ и неуправляемые $P_j \uparrow(t)$ потоки ресурсов:

$$P_i \downarrow(t) = P_0^u(t) + P_e \downarrow(t);$$

$$P_j \uparrow(t) = P_0(t) + P_e \uparrow(t).$$

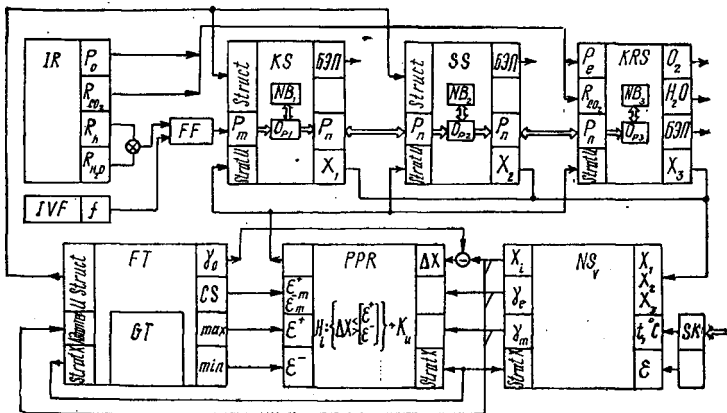


Рис. 2. Информационно-управляющая схема функционирования древесного организма: R_h , R_{H_2O} , R_{CO_2} — химические, водные и газообразные ресурсы; ϵ^+ , ϵ^- , CS — граничные параметры и условия целостности структуры адаптивного древесного организма; γ_e , γ_m — оценка энергетических и материальных ресурсов; *Strat X* — стратегия жизнедеятельности древесного растения; *U Struct* — управление структурообразованием древесной ткани; *GT* — генотип растения как высший уровень иерархической, самоорганизующейся системы; *NB_i* — накопитель биомассы в элементарных подструктурах дерева; *SK* — система контроля средообразующих факторов; *Strat U* — стратегия управления; *Struct* — органическая структура составляющих частей дерева (корень, ствол, крона); *IVF* — источник возмущений; *FF* — формирующий фильтр физико-химических превращений; K_u — команды управления; ϵ_m^+ , ϵ_m^- — граничные значения параметрической управляемости древесного организма в экстремальных условиях внешней среды; ϵ — совокупность исследуемых параметров физиологического состояния дерева; γ_0 — опорные параметры состояния, которые определяют генотип растения; P_0 — поток солнечной радиации

В соответствии с изложенной концепцией самоорганизации древесных растений на рис. 2 приведена информационно-управляющая схема жизнедеятельности исследуемого организма, представленного в виде следующих подструктур: корня KS , ствола SS , кроны KRS . Исследуемые подструктуры являются ресурсными и представляют собой объект управления с заданной структурой: входными потоками энергетических P_e и материальных P_m ресурсов, их обменными узлами P_n , накопителями биомассы NB , операторами O_{pi} , характеризующими биофизические и химические преобразования в процессе жизнедеятельности, индикаторами состояния (БЭП) и интенсивности протекания этих процессов. Модель включает также внешнюю NS и внутреннюю NS_v наблюдающие системы состояния древесного растения, процессор принятия решений PPR на управление, формирователь траектории FT жизнедеятельности дерева при существующих внешних условиях.

Идентификация [2] предложенной модели функционирования дерева и верификация параметров траектории его поведения выполнены на основе экспериментальных исследований [1]. Установленные закономерности изменения биоэлектрического потенциала в зависимости от средообразующих параметров характеризуют древесное растение как интегральную, следящую систему по ритмике энергетических параметров суммарной солнечной радиации и температуры воздуха с транспортным сдвигом за счёт инерционности каналов подачи материальных ресурсов. Данная концепция подтверждается результатами опытов при стабилизированных значениях температуры t , относительной влажности воздуха φ и освещенности E . В ходе исследований степень напряженности физиологических процессов модельных объектов устанавливали в пределах жизненного оптимума: $t = 22$ °С, $\varphi = 65 \dots 70$ %, $E = 30$ тыс. лк. Анализ полученных экспериментальных данных, представленных в графической форме (рис. 3), показывает, что продолжи-

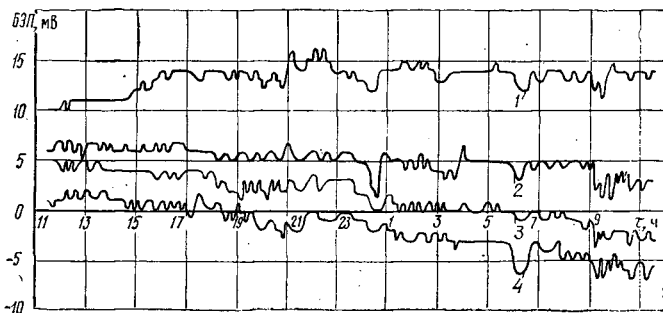


Рис. 3. Изменение биоэлектрической активности модельных растений в условиях стабилизации средообразующих факторов: 1—4 — биопотенциалограммы модельных растений

тельность внутреннего цикла управления для модельных объектов составляет 5 ч. Причем амплитуда изменения БЭП в циркадном цикле, равном 22 ч, сравнительно невелика и для модельных объектов 1—5 имеет незначительную вариабельность: 10...16, 1...7, —4...5 и —7...2 мВ. Такое изменение БЭП обусловлено внутренними, генетически закрепленными физико-химическими процессами жизнедеятельности растения, а наблюдаемые флуктуации траектории характеризуют влияние возможных, трудно учитываемых при наблюдении, факторов. Количественной оценкой степени влияния внешних факторов на организм растения является дисперсия $D_x(t|T_{ii})$ -ви

раметра БЭП, а уровень стабилизации $\delta_c(T_n)$ определяется соотношением

$$\delta_c(T_n) = D_x(t|T_n)^{1/2} / m_x(t|T_n),$$

где $m_x(t|T_n)$ — математическое ожидание параметра состояния.

При повышении температуры воздуха в пределах исследуемого спектра от 6 до 60 °С, но фиксированных значениях освещенности (30 тыс. лк) и относительной влажности (65...70 %) величина БЭП на уровне корневой шейки синхронно изменяется в сторону положительных значений (рис. 4). Такой характер динамики параметра жиз-

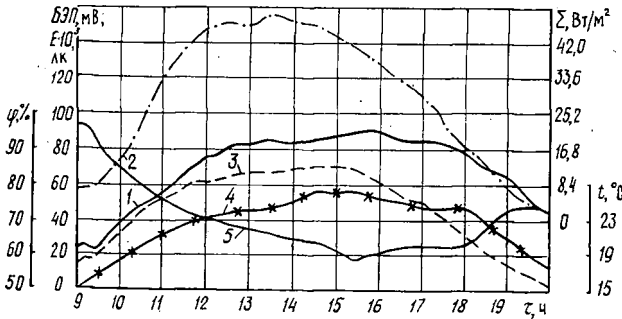


Рис. 4. Изменение биоэлектрического потенциала в зависимости от средообразующих факторов: 1 — БЭП растения; 2 — суммарная солнечная радиация Σ ; 3 — освещенность; 4 — температура воздуха; 5 — относительная влажность воздуха

недеятельности древесного растения объясняется слабо выраженными электрокинетическими процессами, стабилизацией структур дифференцировавшихся в ткани клеток и метаболических процессов. В этих условиях выявлена периодичность траектории БЭП дерева на уровне его вершины, обусловленная большой изменчивостью электрокинетических потенциалов, образующихся током воды, восходящим по микрокапиллярам ксилемы. При этом характер регулирования БЭП изменяется за счет транспортного опаздывания.

Таким образом, для описания стохастических, но ритмически повторяющихся жизненных процессов у древесных растений, может быть использована информационно-ресурсная модель, основанная на изменении активных и пассивных электрофизиологических показателей.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1]. Крицкий Г. Т. Биоэлектрический метод определения жизненности древесных растений на начальных этапах онтогенеза. — Баку: НПО космических исследований, 1990. — 61 с. [2]. Страшкраба М., Гнаук А. Пресноводные экосистемы. Математическое моделирование. — М.: Мир, 1989. — 376 с.

Поступила 16 октября 1990 г.