

УДК 631.675.004.8

А. В. Тащилина

Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ)
имени М. И. Платова, Новочеркасск, Российская Федерация

ИДЕНТИФИКАЦИЯ МОДЕЛИ ПРОЦЕССА ПЛАНИРОВАНИЯ РЕЖИМОВ КАПЕЛЬНОГО ПОЛИВА ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ АВТОМАТИЗИРОВАННЫМИ СИСТЕМАМИ КАПЕЛЬНОГО ОРОШЕНИЯ

Проводится анализ методов планирования режимов капельного орошения по климатическим, почвенным и физиологическим характеристикам. На начальном этапе моделирования процесса планирования режимов капельного орошения рассмотрена возможность количественного и качественного представления входных и выходных переменных и показана целесообразность их описания в виде лингвистических переменных. Значения лингвистической переменной представляются в виде качественных термов – слов и предложений на естественном языке. Такой подход позволяет использовать экспертную естественно-языковую информацию для решения задач управления и принятия решений при планировании режимов капельного орошения. Каждый терм, являющийся оценкой лингвистической переменной, формализуется с помощью функции принадлежности в виде нечеткого множества. Рассмотрены различные аналитические представления нечетких множеств с помощью функций принадлежности различных типовых форм. Описаны наиболее информативные показатели, определяющие выбор научно обоснованного режима капельного орошения, и установлены основные функциональные связи между ними. На основании проведенного анализа построена структура математической модели в виде суперпозиции функций нескольких переменных. Для оценки каждой из описанных входных и выходных переменных подобраны термы, заданные в виде универсальных множеств. Рассмотренный этап моделирования процесса планирования режимов капельного орошения позволяет построить модель на основании экспертной информации, представленной в виде нечетких баз знаний.

Ключевые слова: режим орошения, капельное орошение, математическая модель, лингвистическая переменная, нечеткие множества.

A. V. Tashilina

Platov South-Russian State Polytechnic University, Novocherkassk, Russian Federation

IDENTIFICATION OF THE MODEL FOR DRIP IRRIGATION SCHEDULING TO MANAGE AUTOMATED SYSTEMS OF DRIP IRRIGATION

The article deals with the analysis of methods for drip irrigation scheduling on the base of climatic, soil, and physiologic features. At the first step of simulating the process of drip irrigation scheduling, an opportunity for quantity and quality presentation of input and outcome variables was considered. The expedience of their description as linguistic variables has been shown. The values of linguistic variables are shown as quality terms in the form of words and sentences of natural language. Such approach allows using expert natural-language information for solving problems of management and decision-making scheduling for drip irrigation. Every term, which is an assessment of linguistic variable, formalizes by membership function in to fuzzy set. Different analytical representations of fuzzy sets were

considered by membership function of different model forms. The most informative indicators which determine the choice of science-based drip irrigation regime were described, and the main functional links between them were established. Based on the analysis, the structure of the mathematical model as a superposition of functions for several variables was built. To estimate each of the described input and outcome variables, terms defined as universal sets were chosen. The considered step for simulating process of drip irrigation scheduling enables to build a model on the base of expert information presented as fuzzy bases of knowledge.

Keywords: irrigation regime, drip irrigation, mathematical model, linguistic variable, fuzzy sets.

Большинство онлайн-методов контроля режимов роста сельскохозяйственных культур базируется на мониторинге окружающей среды. Влажность почвы и климатические факторы, такие как температура и влажность воздуха, скорость ветра, количество осадков, обычно используются для планирования режимов орошения культур открытого грунта. Однако информация о внешних факторах не дает полного представления о водообеспеченности растения, ведь только само растение может сигнализировать о своем физиологическом состоянии. На сегодняшний день фактическое состояние растения определяется фермером только на основе его опыта, интуиции и в некоторых случаях лабораторных исследований. В качестве альтернативы классическим методам планирования режимов орошения отечественными и зарубежными учеными разработаны методы фитомониторинга, рассчитанные на использование информационных систем и систем поддержки принятия решения [1].

Современные методы и средства фитомониторинга растений обеспечивают возможность получать полное представление о физиологическом состоянии растений и об орошаемом массиве в целом. Такая информация позволяет определять наличие водного стресса растений и, соответственно, дату следующего полива [1, 2]. Однако такие системы фитомониторинга на данное время требуют наличия эксперта, принимающего решение о сроках и нормах полива на основании графического представления полученной с датчиков информации. Разработка математической модели и на ее основе информационной технологии позволила бы автоматизировать

процесс оперативного планирования режимов капельного орошения сельскохозяйственных культур.

Целью работы является разработка математической модели и информационной технологии, позволяющих автоматизировать процесс оперативного планирования режимов капельного орошения.

При решении задач математического моделирования построение или выбор модели объекта (процесса или явления), на который осуществляются внешние влияния, предусматривают формализацию причинно-следственных связей между совокупностью его входных и выходных величин (соответственно управляющих действий и показателей состояния объекта). Внутренняя структура этих связей на начальном этапе идентификации модели представляет собой, как правило, «черный ящик» (рисунок 1).



Рисунок 1 – Объект моделирования

Первым шагом в задачах математического моделирования являются выбор существенных входных переменных, определяющих искомые результирующие величины, перевод этих факторов на язык математических понятий, величин и установление характерных взаимосвязей между ними.

Объектом моделирования при решении задач диагностики и управления поливами являются процессы планирования режимов капельного орошения. Рассмотрим простейший тип объекта моделирования с одной выходной переменной m (поливной нормой) и n входными переменными, между которыми существует некоторая неизвестная функциональная зависимость:

$$m = f_m(x_1, x_2, \dots, x_n). \quad (1)$$

При этом выходная результирующая величина m (поливная норма) может относиться к одному из двух типов:

- непрерывная в виде универсального множества: $[m; \bar{m}] = [0, 140]$, м³/га;

- дискретная в виде классов решений $D = \{d_1, d_2, \dots, d_7\}$: d_1 – полив не требуется, диагностика в течение следующего дня; d_2 – полив не требуется, диагностика на протяжении суток; d_3 – нуждается в поливе нормой 50–60 м³/га; d_4 – нуждается в поливе нормой 60–70 м³/га; d_5 – нуждается в поливе нормой 70–90 м³/га; d_6 – нуждается в поливе нормой 90–110 м³/га; d_7 – нуждается в поливе нормой 110–140 м³/га.

В качестве входных влияний, определяющих режимы капельного орошения, также могут использоваться переменные двух типов [3]:

- количественные переменные: «влажность почвы» = [0; 100], % НВ, «температура листа» = [0; 50], °С;

- качественные переменные со значениями в виде лингвистических термов: «фаза вегетации» = {высадка – цветение, начало плодообразования – плодоношение, созревание – сбор}.

При этом для количественных переменных существует возможность измерения по принятым количественным шкалам, а качественные переменные, не имея стандартных шкал измерения, могут оцениваться с помощью лингвистических значений или условных баллов.

Вектор входных переменных $X = (x_1, x_2, \dots, x_n)$ состоит из физиологических показателей состояния растения, почвенных, климатических факторов, фаз вегетации, способов выращивания, времени суток.

Методов, позволяющих в полной мере учесть такой большой объем количественной и качественной информации в условиях неопределенности, при решении слабоформализованных задач такого типа среди классических подходов математического моделирования не существует. Одним

из альтернативных вариантов решения в этом случае является использование методов нечеткой логики. Согласно этим методам входные и выходные переменные объекта моделирования представляются как лингвистические, заданные в виде универсальных множеств $x_i \in [\underline{x}_i, \overline{x}_i]$, $i = \overline{1, n}$, $y \in [\underline{y}, \overline{y}]$ или $x_i \in \{v_i^1, v_i^2, \dots, v_i^{q_i}\}$, $i = \overline{1, n}$, $y \in \{y^1, y^2, \dots, y^{q_m}\}$, где $v_i^1, v_i^{q_i}$ – балльные оценки, которые отвечают условно наименьшему и наибольшему значению входных переменных; q_i, q_m – числа, определяющие максимальное количество термов (балльных оценок) для входных и выходных переменных. При этом лингвистический характер количественных и качественных переменных определяется путем их оценки с помощью множества качественных лингвистических термов (терм-множеств) [3].

Лингвистичность переменных в соотношении (1) является свойственной человеческому мышлению при выражении знаний о процессах функционирования объектов моделирования, что позволяет оперировать понятиями (количественными и (или) качественными) на привычном естественном языке: ЕСЛИ влажность почвы критическая, И способ выращивания рассадный, И фаза вегетации от всходов до цветения, И механический состав почвы среднесуглинистая, ТО почвенный уровень влагообеспеченности критический.

При этом в классической теории множеств возникает сложность с определением принадлежности элементов к соседним множествам: температура воздуха средняя – выше средней, фаза вегетации цветение – начало плодообразования. В большинстве случаев выделить четкую границу между значениями лингвистической переменной невозможно: она является нечеткой, размытой. К примеру, трудно сказать, прогноз осадков, равный 14 мм/12 ч, имеет большую принадлежность к множеству «сильный» дождь или «умеренный». С этой целью в теории нечетких множеств было введено понятие функции принадлежности, с помощью которой определя-

ется степень принадлежности элемента к данному нечеткому множеству. Существует множество аналитических представлений нечетких множеств с помощью функций принадлежности различных типовых форм.

Треугольная модель функции принадлежности (рисунок 2) имеет три параметра: координаты максимума (c), минимумов (a и b) – и представлена в виде:

$$\mu(x) = \begin{cases} 0, & x \leq a, x \geq b \\ \frac{x-a}{c-a}, & a < x \leq c \\ \frac{b-x}{b-c}, & c < x < b \end{cases} .$$

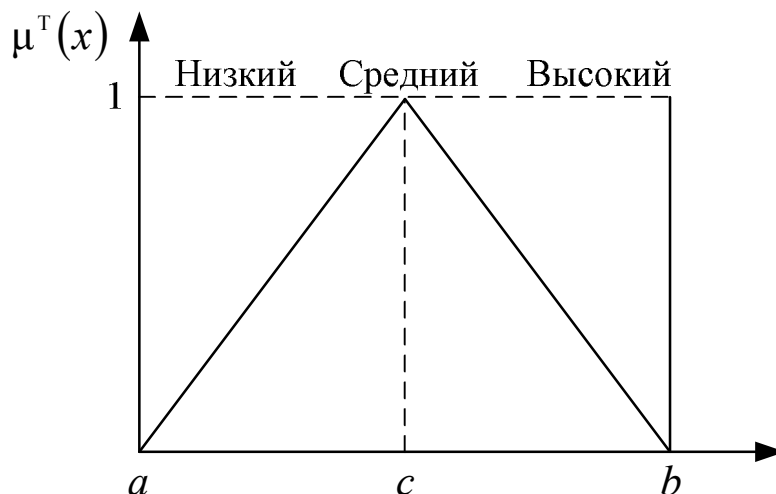


Рисунок 2 – Треугольная функция принадлежности

Трапециеподобная модель функции принадлежности (рисунок 3) имеет четыре параметра: координаты максимума (c и d) и минимумов (a и b) – и представлена в виде:

$$\mu(x) = \begin{cases} 0 & x \leq a, x \geq b \\ \frac{x-a}{c-a} & a < x < c \\ 1 & c \leq x \leq d \\ \frac{b-x}{b-d} & d < x < b \end{cases} .$$

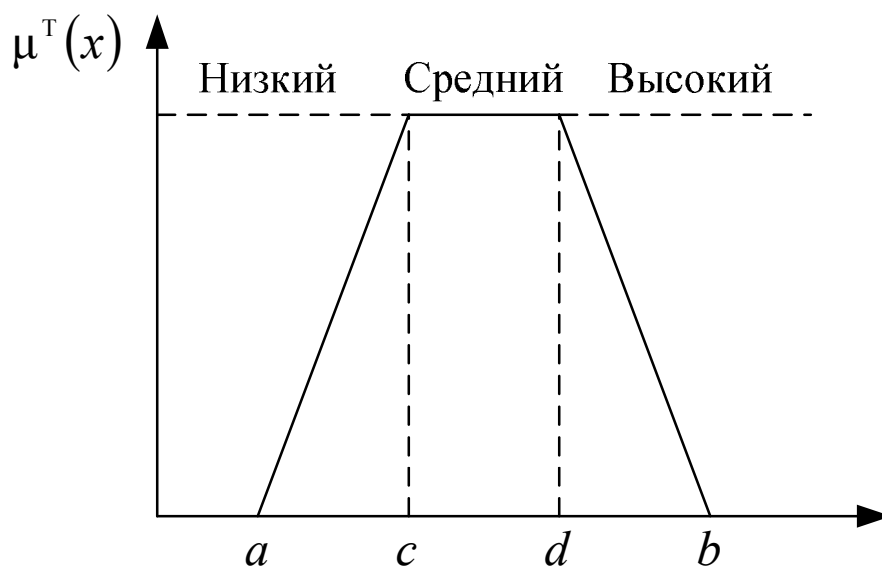


Рисунок 3 – Трапециевидная функция принадлежности

Колоколообразная модель функции принадлежности (рисунок 4) имеет два параметра: координату максимума (b) и коэффициент концентрации (c) – и представлена в следующем виде:

$$\mu^T(x) = \frac{1}{1 + \left(\frac{x-b}{c}\right)^2}.$$

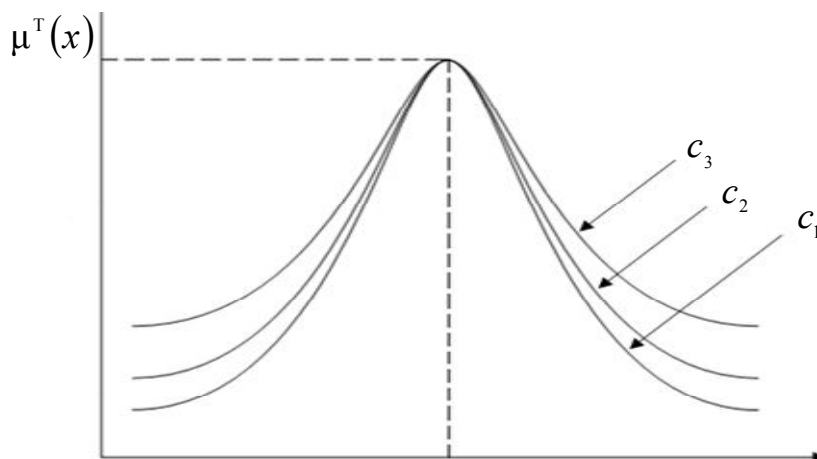


Рисунок 4 – Колоколообразная функция принадлежности

На графике функций принадлежности переменной «скорость ветра» к ее лингвистическим термам «слабый», «умеренный», «сильный» (рисунок 5) представлены степени принадлежности значения $x_{13} = 4$ м/с к соответствующим лингвистическим значениям $\mu^{сл}(x_{13}=4)=0,75$;

$\mu^y(x_{13}=4)=0,4$; $\mu^c(x_{13}=4)=0$. Это означает, что значение $x_{13}=4$ м/с имеет большую степень принадлежности к нечеткому множеству «слабый» и абсолютно не принадлежит нечеткому множеству «сильный».



Рисунок 5 – Функции принадлежности переменной «скорость ветра»

Рассмотрим переменные, определяющие выбор режима капельного орошения, классифицировав их по определенным признакам.

Физиологический уровень водного стресса растения. Ежедневное приращение диаметра стебля, как разность двух последовательных максимумов, является важным индикатором водообеспеченности растения.

При этом как положительное приращение, так и устойчивое состояние рассматривается как норма, отрицательное развитие – как свидетельство неблагоприятного водного баланса и (или) угнетения роста (рисунок 6) [2].

Ночное набухание и (или) рост в ночное время суток рассматриваются как норма. Отсутствие суточного приращения характеризует наличие водного стресса (рисунок 7). Любое ночное сокращение – свидетельство физиологического беспорядка [2].

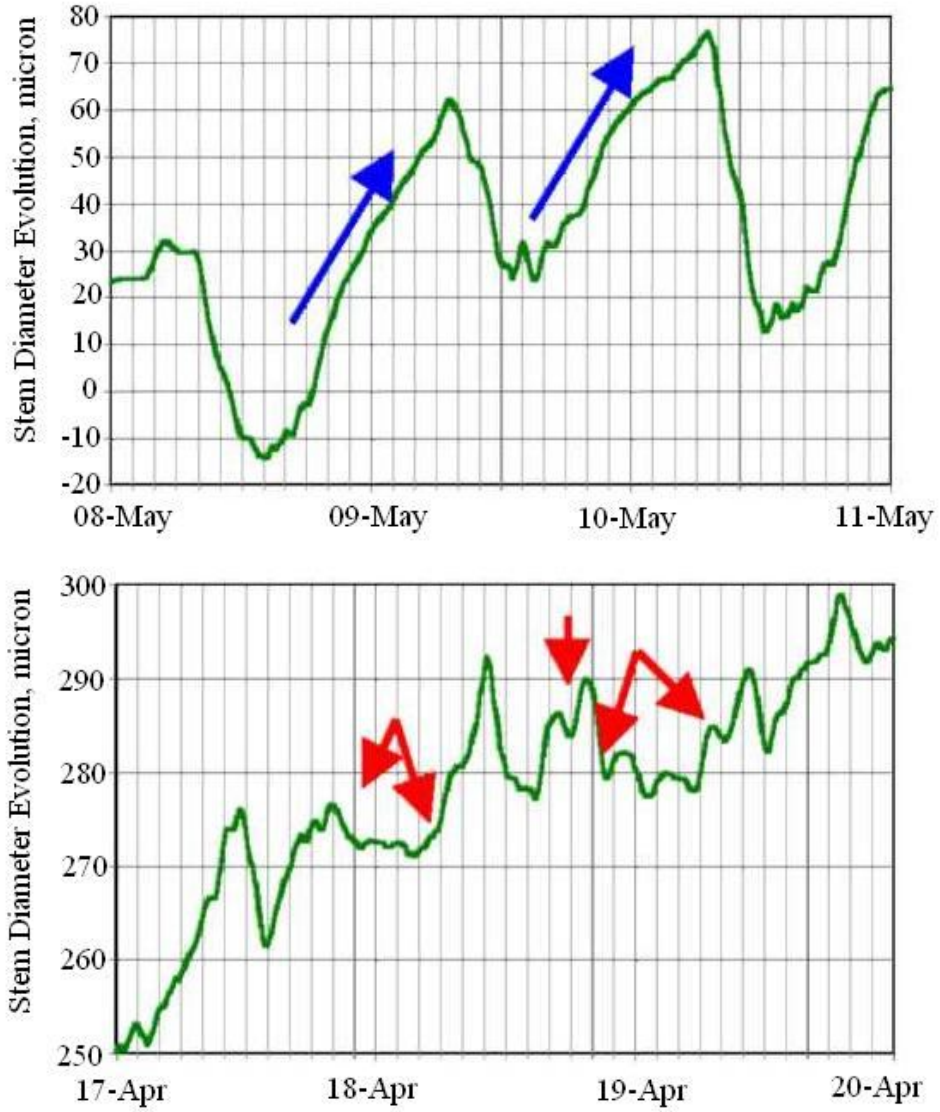


Рисунок 6 – Примеры нормальной тенденции и угнетенного состояния

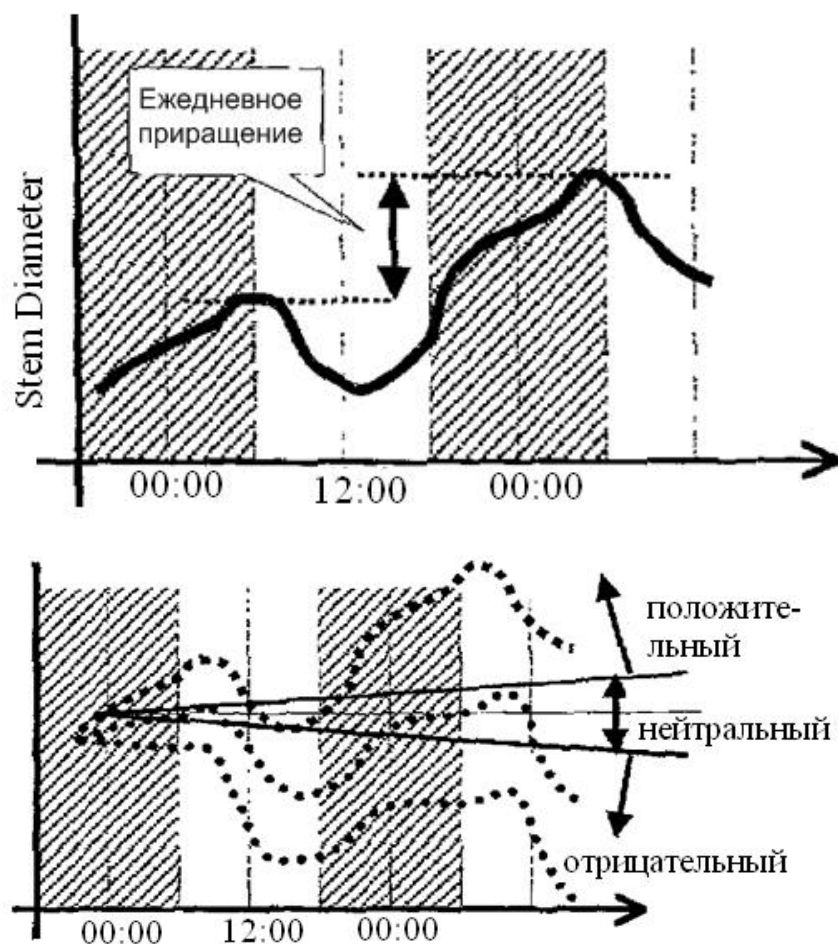


Рисунок 7 – Изменение диаметра стебля

Еще одним важным показателем физиологического состояния растений является приращение диаметра плода, при этом постепенный рост рассматривается как нормальный, а депрессивный рост плодов, характеризующийся замедлением и приостановкой роста, – как свидетельство физиологического беспорядка растения (рисунок 8).

Также следует учитывать, что во время созревания плода возможны ежедневные незначительные колебания его диаметра, которые являются результатом размягчения ткани и снижения осмотического потенциала.

Как дополнительные показатели физиологического состояния растения могут выступать интенсивность движения сока и температура листа в зависимости от времени суток. Беспричинное сокращение интенсивности движения ксилемного сока в полдень – признак вероятного стресса (рисунок 9).

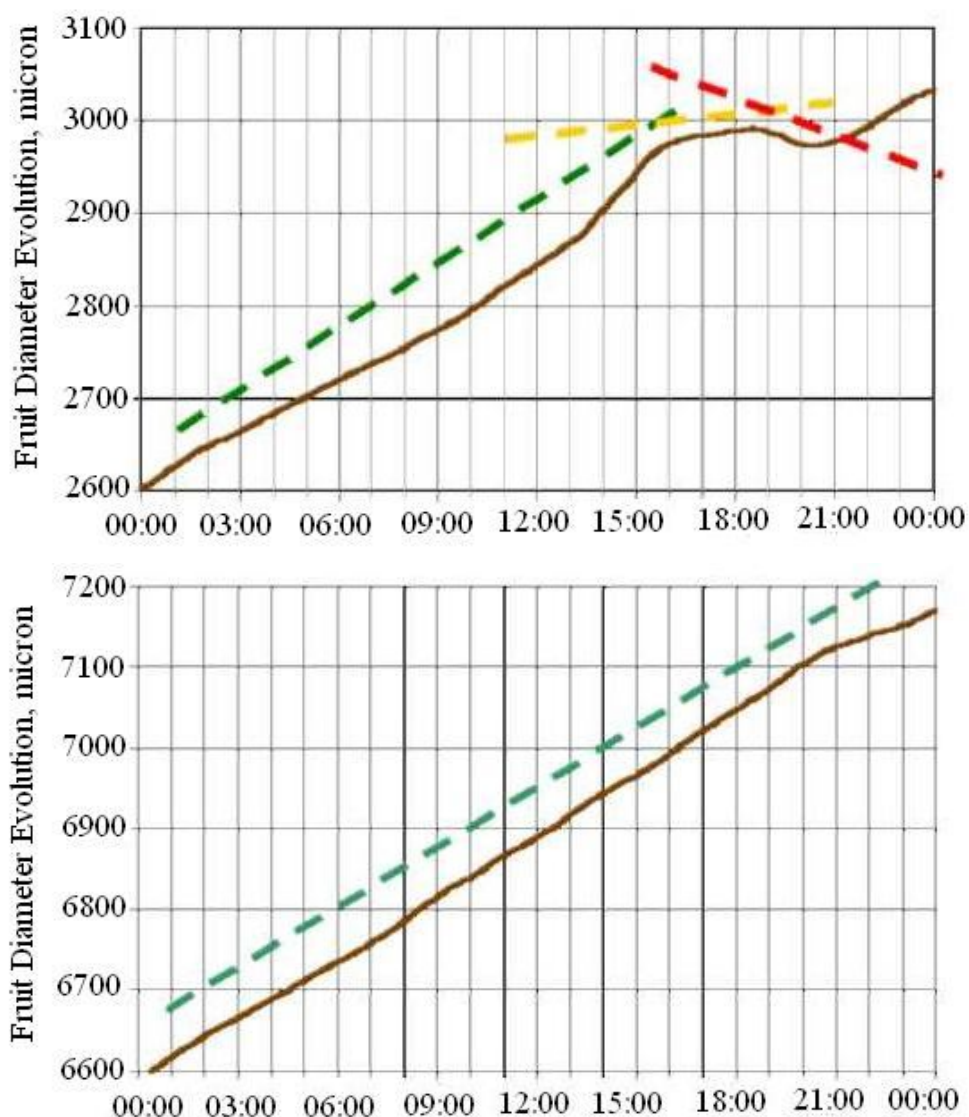


Рисунок 8 – Изменение диаметра плода [2]

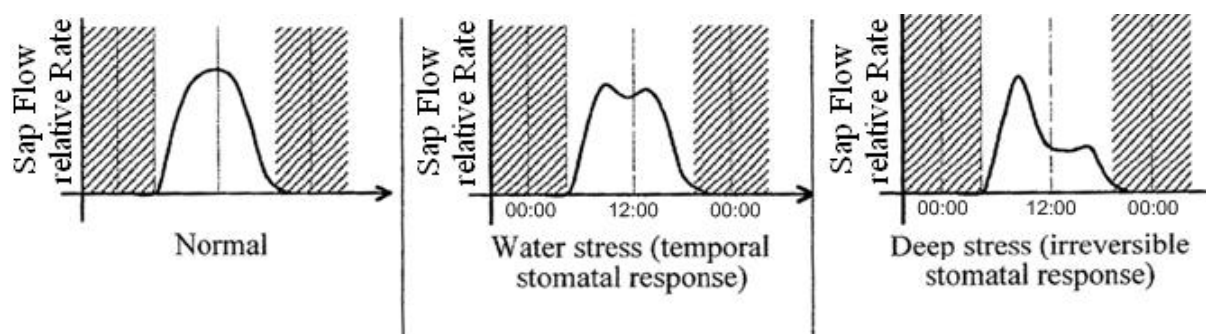


Рисунок 9 – Интенсивность движения сока как функция времени [2]

После полудня температура листа растений, не испытывающих водного стресса, должна быть ниже температуры воздуха, в то время как растение, находящееся в состоянии водного стресса, имеет температуру листа

более высокую (рисунок 10). Однако следует учитывать, что повышение температуры листа может быть следствием воздушной засухи и дополнительный полив не приведет к улучшению ситуации.

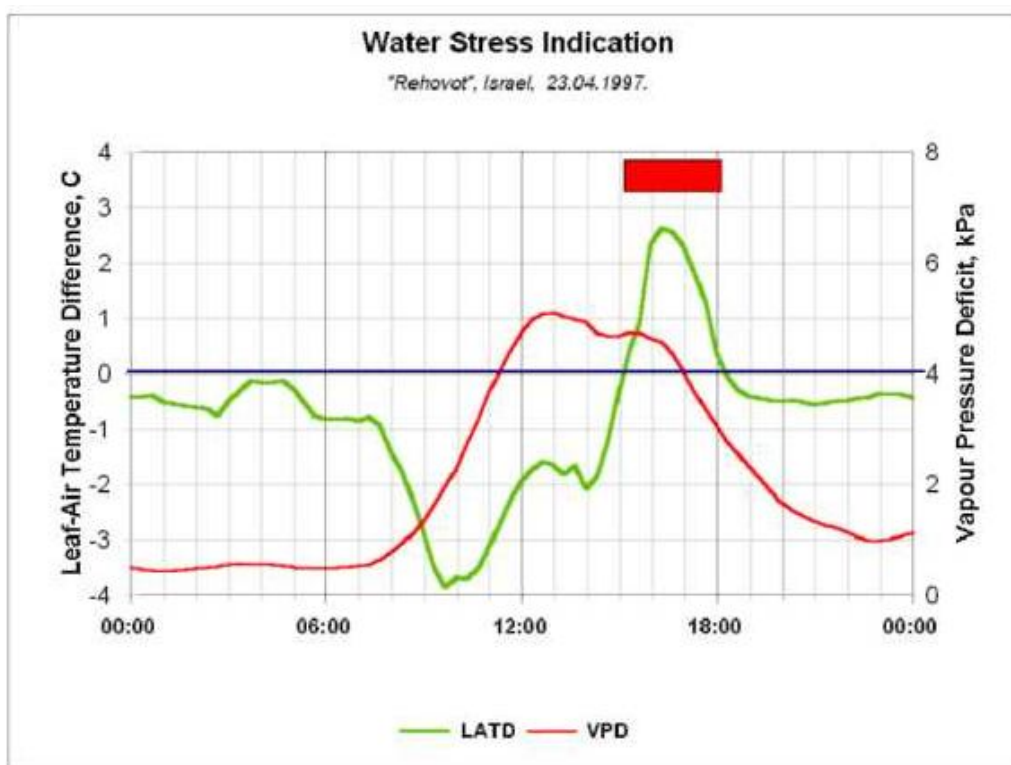
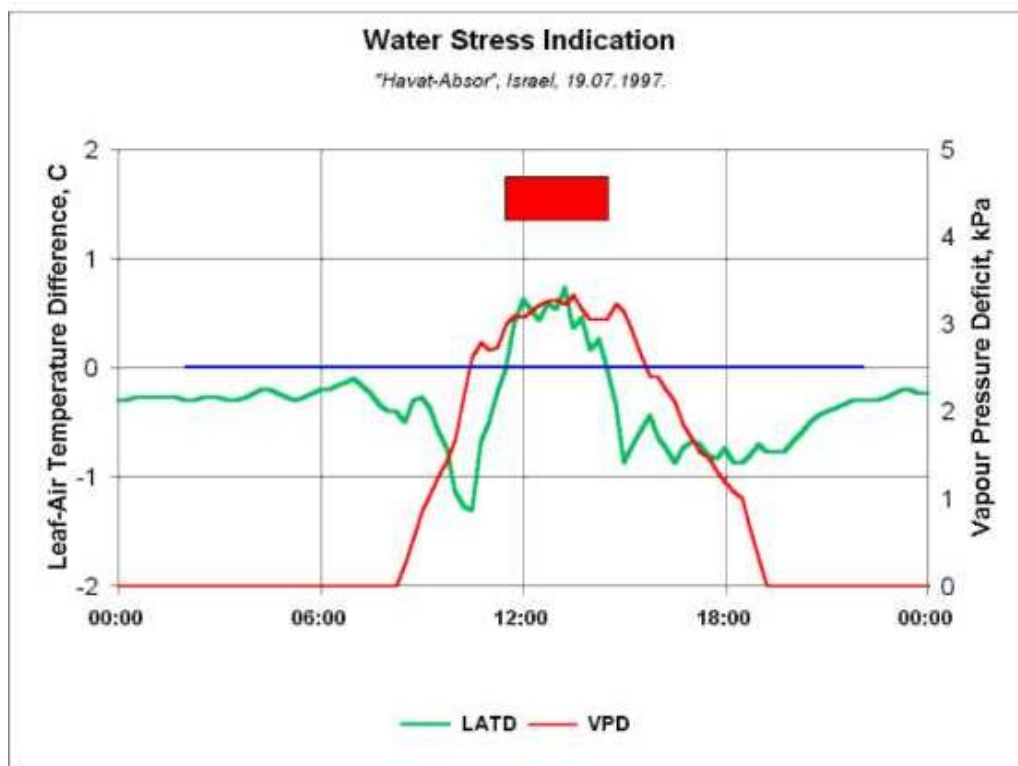


Рисунок 10 – Разность температур листа и воздуха [2]

Таким образом, комплексный учет рассмотренных выше фитопараметров состояния растений позволяет адекватно сделать вывод о физиологическом уровне водного стресса.

Рассмотрим переменную W_s – физиологический уровень водного стресса растения – как функцию следующих переменных:

$$W_s = f_{ws}(x_1, x_2, x_3, x_4, x_5),$$

где x_1 – приращение диаметра стебля, $[-50; 100]$, мк;

x_2 – приращение диаметра плода, $[-100; 650]$, мк;

x_3 – температура листа, $[0; 50]$, °С;

x_4 – интенсивность движения сока;

x_5 – время суток, $[0; 24]$, ч.

Терм-множества значений лингвистических переменных W_s и $x_1 - x_5$ представлены следующим образом:

W_s = «физиологичный уровень водного стресса растения» = {наличие стресса (нс), признак водного дефицита (вд), положительная тенденция (пт), нормальное развитие (нр)};

x_1 = «приращение диаметра стебля» = {отрицательное (о), небольшое отрицательное (но), отсутствует (нет), небольшое положительное (нп), положительное (п)};

x_2 = «приращение диаметра плода» = {отрицательное (о), небольшое отрицательное (но), отсутствует (нет), небольшое положительное (нп), положительное (п)};

x_3 = «температура листа» = {низкая (н), ниже средней (нс), средняя (с), выше средней (вс), высокая (в)};

x_4 = «интенсивность движения сока» = {низкая (н), ниже средней (нс), средняя (с), выше средней (вс), высокая (в)};

x_5 = «время суток» = {вторая половина ночи (пн), утро (у), день (д),

вторая половина дня (пд), вечер (в), ночь (н)}.

Уровень влагообеспеченности почвы. Уровень влагообеспеченности и, соответственно, потребность в воде сельскохозяйственных культур зависят от значений влажности почвы, которые не должны опускаться ниже критических.

Различные фазы развития и способы выращивания овощных культур определяют различные режимы капельного орошения. После высадки рассады и посева семян влажность почвы доводят до 100 % НВ. Для безрассадных томатов в период от всходов до цветения влажность корнеобитаемого слоя почвы не должна опускаться ниже 70 % НВ, а для рассадных в период полного приживания – ниже 80 % НВ. В следующие фазы вегетации режимы орошения совпадают: в период от плодообразования до плодоношения предполивная влажность почвы не должна быть ниже 80–85 % НВ, а в период от созревания до сбора плодов критическая влажность должна быть на уровне 70 % НВ [4–6].

Тогда уровень влагообеспеченности почвы Sm под сельскохозяйственными культурами, определяющий дефицит влаги в почве, характеризуется соотношением:

$$Sm = f_{Sm}(x_7, x_8, x_9),$$

где x_7 – способ выращивания, [0; 1], у. е.;

x_8 – фаза вегетации, [0; 1], у. е.;

x_9 – влажность почвы, [0; 100], % НВ.

Терм-множества значений лингвистических переменных Sm , x_7 – x_9 представлены следующим образом:

Sm = «уровень влагообеспеченности почвы» = {ниже критического (нкp), критический (кp), выше критического (вкp), высокий (в)};

x_7 = «способ выращивания» = {рассадный (p), безрассадный (бр)};

x_8 = «фаза вегетации» = {высадка – цветение (вц); начало плодооб-

разования – плодоношение (пл); дозревание – сбор (дс)};

x_9 = «влажность почвы» = {низкая (н), ниже критической (нкp), критическая (кp), выше критической (вкp), высокая (в)}.

Климатический уровень благоприятности роста сельскохозяйственных культур. Температура воздуха является важным параметром роста сельскохозяйственных культур. Для каждой культуры существуют свои благоприятные значения температур прорастания семян, роста и развития растения. Отклонение значений температуры от оптимальных может приводить к задержке цветения, опаданию завязей, остановке плодоношения. Также значения температуры воздуха определяют и поливные режимы сельскохозяйственных культур: высокие значения температуры воздуха приводят к необходимости проведения более частых поливов меньшими поливными нормами.

Относительная влажность воздуха. Неблагоприятное влияние на рост растений оказывает также слишком низкая влажность воздуха. Для томата оптимальным значением относительной влажности воздуха является 50–60 % [5]. Длительная атмосферная засуха при влажности менее 45 % может вызывать нарушение водного режима даже при влажности почвы, близкой к 100 % НВ. При этом следует учитывать и тот факт, что при высокой влажности воздуха увеличивается вероятность задержки созревания пыльцы, ухудшаются условия оплодотворения и повышается степень поражения растений различными заболеваниями. Резкое изменение от острой воздушной засухи к чрезмерно высокой влажности приводит также к растрескиванию плодов [5].

Скорость ветра. Сильное влияние на испарение с поверхности поля и транспирацию совместно с температурой и относительной влажностью воздуха оказывает и скорость ветра.

Прогноз осадков. Самым значимым климатическим параметром, определяющим водный режим растения при капельном орошении, является

прогноз осадков. При прогнозе дождя 3–5 мм/12 ч предполагаемый полив, конечно же, следует отложить, тогда как небольшой дождь до 2 мм/12 ч при воздушной засухе не может повлиять на планируемый полив.

В засушливые периоды, характеризующиеся суховеями, низкой относительной влажностью воздуха и высокими температурами, увеличивается частота поливов (меньшими поливными нормами) как следствие изменения критической влажности почвы путем повышения оптимального нижнего предела на 5–10 % НВ.

При похолоданиях, высокой влажности воздуха и частых осадках поливы можно назначать, снижая оптимальный предполивной порог влажности почвы на 5–10 % в зависимости от фазы вегетации.

Парные взаимодействия рассмотренных климатических факторов усиливают или ослабляют напряженность погодных условий и корректируют сроки проведения очередного капельного полива.

Таким образом, климатический уровень благоприятности роста сельскохозяйственных культур A можно представить следующим соотношением:

$$A = f_A(x_{10}, x_{11}, x_{12}, x_{13}),$$

где x_{10} – температура воздуха, [0; 50], °C;

x_{11} – прогнозируемые осадки, [0; 100], мм;

x_{12} – относительная влажность воздуха, [0; 100], %;

x_{13} – скорость ветра, [0; 25], м/с.

Терм-множества значений лингвистических переменных A и $x_{10} - x_{13}$ представлены следующим образом:

A = «климатический уровень благоприятности роста сельскохозяйственных культур» = {неблагоприятный (нб), умеренный (у), благоприятный (бл)};

x_{10} = «температура воздуха» = {низкая (н), ниже средней (нс), сред-

няя (с), выше средней (вс), высокая (в)};

x_{11} = «прогнозируемые осадки» = {нет, незначительные (нз), достаточные (д), обильные (о)};

x_{12} = «относительная влажность воздуха» = {низкая (н), средняя (с), высокая (в)};

x_{13} = «скорость ветра» = {слабый (сл), умеренный (у), сильный (с)}.

Режимы капельного орошения. Планирование режимов капельного орошения заключается как в определении сроков полива, так и в определении поливных норм. При этом выбор времени полива связан с учетом как физиологического уровня водного стресса растения, уровня влагообеспеченности почвы под сельскохозяйственными культурами, так и напряженности климатических условий.

Контур увлажнения почвы определяется фазами вегетации и зависит от глубины промачивания и площади увлажнения при разных способах посадки для различных типов сельскохозяйственных культур.

Глубина корнеобитаемого слоя почвы. При выборе поливного режима сельскохозяйственных культур необходимо учитывать различия в формировании корневой системы. Корневая система рассадных культур распространяется в радиусе 60 см на глубину не более 40–50 см [6] и имеет разветвленную систему, при этом основная масса корней находится в слое 0–30 см [4]. Корневая система безрассадной культуры формируется в слое 0–60 см, достигая в некоторых случаях и больших значений.

Часть площади увлажнения. При использовании поливных лент часть площади увлажнения определяют по формуле [4]:

$$S = \frac{w_a}{F},$$

где $w_a = L \cdot l$ – площадь полосы увлажнения лентой, м²;

L – длина ленты, м;

l – средняя ширина полосы увлажнения, м;

$F = L \cdot b$ – общая площадь полива лентой, м²;

b – ширина между рядами, м.

При этом ширина полосы увлажнения l зависит от расхода водовыпуска q , л/ч (рисунок 11) [4].

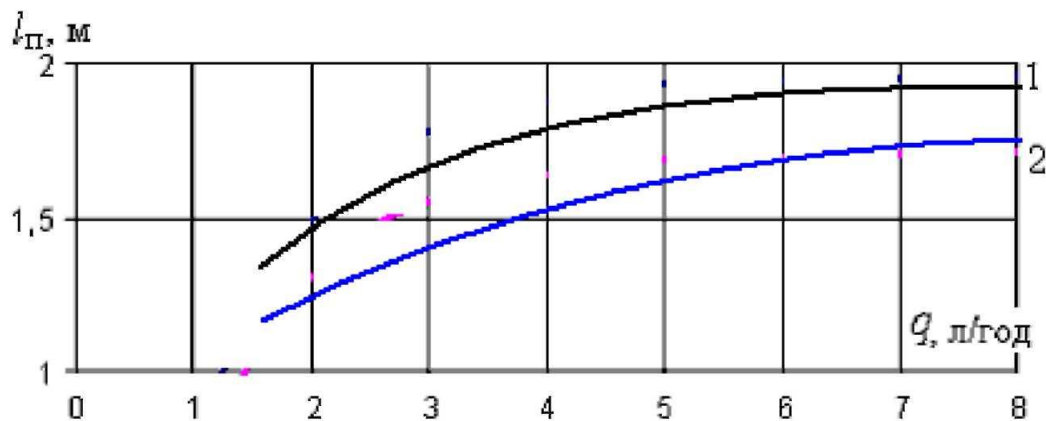


Рисунок 11 – Зависимость ширины полосы увлажнения l от расхода водовыпуска q

Тип и гранулометрический состав почвы. Водно-физические свойства почв, влияющие на величину поливной нормы при капельном способе полива, зависят от типа почвы и ее гранулометрического состава. Почвенный покров степной и сухостепной зон составляют черноземы южные, черноземы обыкновенные и каштановые почвы. Каждый из типов почв может отличаться гранулометрическим составом и в определенных комбинациях иметь различную плотность и наименьшую влагоемкость.

Таким образом, выбор поливного режима как в форме определенного класса решения $d_j \in D, j = \overline{1, 7}$, так и в виде четкого числа будет определяться следующим соотношением:

$$m = f_m(W_s, Sm, A, x_6, x_{14}, x_{15}, x_{16}),$$

где x_6 – гранулометрический состав почвы, $[0; 1]$, у. е.;

x_{14} – глубина корнеобитаемого слоя почвы, $[0; 1]$, м;

x_{15} – часть площади увлажнения, $[0; 1]$, у. е.;

x_{16} – тип почвы, $[0; 1]$, у. е.

Терм-множества значений лингвистических переменных m , $x_{14} - x_{16}$ представлены следующим образом:

$$m = \text{«поливная норма»}, D = \{d_1, d_2, \dots, d_7\};$$

$x_6 = \text{«гранулометрический состав почвы»} = \{\text{супесчаные (сп), легко-суглинистые (лс), среднесуглинистые (сс), тяжелосуглинистые (тс), глинистые (г)}\};$

$x_{14} = \text{«глубина корнеобитаемого слоя почвы»} = \{\text{низкая (н), средняя (с), высокая (в)}\};$

$x_{15} = \text{«часть площади увлажнения»} = \{\text{низкая (н), средняя (с), высокая (в)}\};$

$x_{16} = \text{«тип почвы»} = \{\text{каштановая (к), чернозем южный (чю), чернозем обыкновенный (чо)}\}.$

Выводы. Таким образом, на начальном этапе построения математической модели были отобраны наиболее информативные показатели, определяющие выбор научно обоснованного режима капельного орошения, и установлены основные функциональные связи между ними. Показана возможность представления выходной величины – поливной нормы – как в виде непрерывного значения из заданного интервала для задач автоматического управления системами капельного орошения, так и в виде дискретного множества возможных классов решений в задачах диагностики. При этом процесс построения математической модели для случая непрерывного выхода отличается от случая дискретного выхода лишь на последнем этапе моделирования проведением операции дефаззификации. Для последующего моделирования процессов планирования режимов капельного орошения с помощью нечетких баз знаний, основанных на экспертных знаниях, входы и выход объекта моделирования представлены как лингвистические со множеством качественных оценок – термов, заданных в виде соответствующих универсальных множеств. Терм-множества зна-

чений лингвистических переменных рассмотрены как нечеткие множества, заданные функциями принадлежности.

Список использованных источников

1 Ton, Y. Phytomonitoring: a new information technology for improving crop production / Y. Ton, N. Nilov, M. Kopyt; Acta Horticulturae. – 2001. – 6 p.

2 Ton, Y. Phytomonitoring Technique for Greenhouses: User's Reference Guide / Y. Ton, M. Kopyt; PhyTech Ltd. – 1998. – 34 p.

3 Митюшкин, Ю. И. Soft Computing: идентификация закономерностей нечеткими базами знаний / Ю. И. Митюшкин, Б. И. Мокин, А. П. Ротштейн. – Винница: УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2002. – 145 с.

4 Ромащенко, М. І. Системи краплинного зрошення: навчальний пос. / М. І. Ромащенко, В. І. Доценко, Д. М. Онопрієнко. – Дніпропетровськ: ПКФ «Оксамит-текст», 2007. – 175 с.

5 Современное промышленное производство овощей и картофеля с использованием систем капельного орошения / Л. С. Гиль, В. И. Дьяченко, А. И. Пашковский, Л. Т. Сулима. – Житомир: «Рута», 2012. – 369 с.

6 Ясониди, О. Е. Капельное орошение: моногр. / О. Е. Ясониди. – Новочеркасск: Лик, 2011. – 322 с.

Ташилина Анастасия Витальевна – ассистент кафедры «Высшая математика», Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени М. И. Платова, Новочеркасск, Российская Федерация.

Контактный телефон: +7 989 626-11-23.

E-mail: Tashilina@ukr.net

Tashilina Anastasiya Vitalievna – assistant of the Chair of "Higher mathematics", Platov South-Russian State Polytechnic University (NPI), Novocherkassk, Russian Federation.

Contact telephone number: +7 989 626-11-23.

E-mail: Tashilina@ukr.net