

УСОВЕРШЕНСТВОВАННЫЙ МЕТОД ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА ИСКУССТВЕННОГО ДОЖДЯ ПО ОПЫТНЫМ ДАННЫМ

М.Г. Голченко, доктор технических наук

А.С. Анженков, ассистент

Белорусская государственная сельскохозяйственная академия, г.Горки

Ключевые слова: дождевание, обработка экспериментальных данных, качество дождя

Введение

Качество искусственного дождя, создаваемого дождевальной техникой, – один из важнейших показателей оценки экологического воздействия орошения на орошаемую и прилегающие территории [1,2]. Оценка качества искусственного дождя, прежде всего, его интенсивности и равномерности, требует значительных затрат времени не только на постановку опыта, но и на обработку экспериментальных данных.

Наиболее распространенной методикой на сегодняшний день является: построение изогнет методом интерполяции; планиметрирование по площадям равной интенсивности и последующая математическая обработка. Эта методика не только затратна по времени, ее точность существенно зависит от субъективного фактора.

Программно-аппаратные комплексы типа «Спектр» [3] дорогостоящи и сложны в применении. Отсутствие массового производства усложняет их приобретение и ведет к повышению стоимости. Кроме того, эти комплексы не предназначены для оценки искусственного дождя, создаваемого с использованием химически и механически загрязненных жидкостей, например, животноводческих стоков.

Анализ актуальных методик и тенденций указывает на необходимость дифференцированного подхода к этапам оценки качества искусственного дождя. Первый этап: непосредственный замер показателей в полевых условиях по общепринятым методикам. Второй этап: предварительная обработка опытных данных и подготовка их к дальнейшей математической обработке. Третий этап: математическая обработка, получение численных значений качественных показателей.

Автоматизация первых двух этапов требует значительных капитальных затрат на разработку, изготовление и эксплуатацию измерительного оборудования. Поэтому предлагается проводить эти стадии по обычной схеме: измерение осадков дождемерами, ручное измерение объемов жидкости и запись их для последующей обработки. Третья стадия возможна с применением компьютерной техники, имеющейся практически в любом хозяйстве.

Методика обработки полевых замеров качества дождя

Исходными данными являются дискретные слои осадков, измеренные дождеме-

рами по общепринятой методике [4, 5]. Предварительная обработка данных полевых замеров автоматизируется компьютерной обработкой. Для этого разработана и алгоритмизирована адекватная общепринятой методике математическая модель.

Составить представление о распределении интенсивности дождя на всей площади полива можно не только путем построения изогиет, но и тональным (значению интенсивности соответствует тон или цвет) или градационным (диапазону интенсивности соответствует тон или цвет) эквивалентным отображением. С целью упрощения терминологии в дальнейшем будем именовать методики отображения соответственно *тональная* и *градационная*.

Значение интенсивности дождя в точке, расположенной между дождемерами, можно примерно рассчитать как среднее арифметическое. Но при этом оно должно быть более схожим со значениями, измеренными на ближайших дождемерах, и в меньшей степени подвергаться влиянию удаленных. Числовой характеристикой, ведущей себя подобным образом, является взвешенное среднее, вычисляемое по формуле:

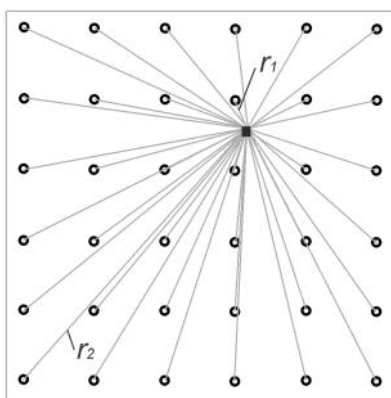
$$i_{cp.j} = \frac{\sum (a_k i_k)}{\sum a_k}, \quad (1)$$

где a_k – весовой коэффициент k -того элемента, m^{-b} ;

i_k – слой осадков в k -м дождемере, мм.

Каждое из значений i_k умножается на коэффициент a_k , который отражает его вес, вклад в формирование общего среднего.

В качестве весовых коэффициентов в нашей задаче будем использовать отрицательные степени расстояний от текущей точки до дождемера, что соответствует уменьшению веса при удалении от дождемера и, соответственно, увеличению при приближении.



○ дождемер; — расстояние от текущей точки до дождемера; ■ текущая точка

Рис. 1. Исходная схема к расчету средневзвешенной интерполяции

Графически модель предложенной методики представлена на рис. 1.

Для вычисления весовых коэффициентов используется выражение

$$a_k = 1/r_k^b, \quad (2)$$

где r_k – расстояние от текущей точки до k -го дождемера, м; b – показатель степени веса.

Значения измеренных интенсивностей (слоев осадка) обычно задаются в виде массива данных вида $i[x_d, y_d]$, где x_d и y_d соответственно колонка и линия расположения дождемерного цилиндра (отсчет начинается с 0). Совместно $[x_d, y_d]$ – позиция расположе-

ния дождемера $i[x_d, y_d]$, в данном случае, интенсивность (слой) осадков в текущем дождемере в позиции $[x_d, y_d]$.

Таким образом, интенсивность дождя в любой точке есть функция от координат самой точки и массива интенсивностей (слоев) осадков в дождемерах

$$i_{cp,j} = f(x, y, i[x_d, y_d]), \quad (3)$$

где x и y – соответственно координаты положения текущей точки, м.

Расстояние от текущей точки до k -го дождемера есть функция от координат самой точки и массива позиций расположения дождемеров:

$$r_k = f(x, y, [x_d, y_d]). \quad (4)$$

Расстояние от текущей точки с координатами x, y до дождемера в позиции $[x_d, y_d]$ определим по формуле

$$r_k = \sqrt{(x_d l_r - x)^2 + (y_d l_r - y)^2}, \quad (5)$$

где l_r – расстояние между дождемерами, м.

Значение показателя степени b подбирается эмпирически, по наиболее адекватным результатам построения. Проведенные исследования показали оптимальный диапазон 2,5-3,5, и в дальнейших расчетах использовалось значение $b = 3$.

С целью визуализации полученных результатов задается диапазон отображаемых интенсивностей от i_{min} (обычно 0) до i_{max} (максимальная измеренная интенсивность) и в соответствии с ними производится расчет тона (или цвета) отображаемой точки.

Тональное эквивалентное отображение равномерности дождя, построенное по вышеизложенной методике, представлено на рис. 2. Цифрами отражены слои осадков в дождемерах в мм.

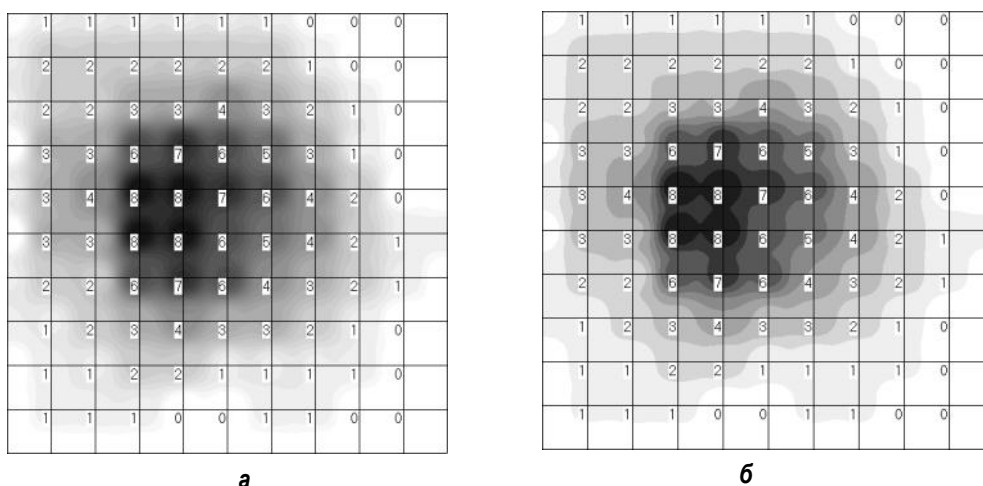
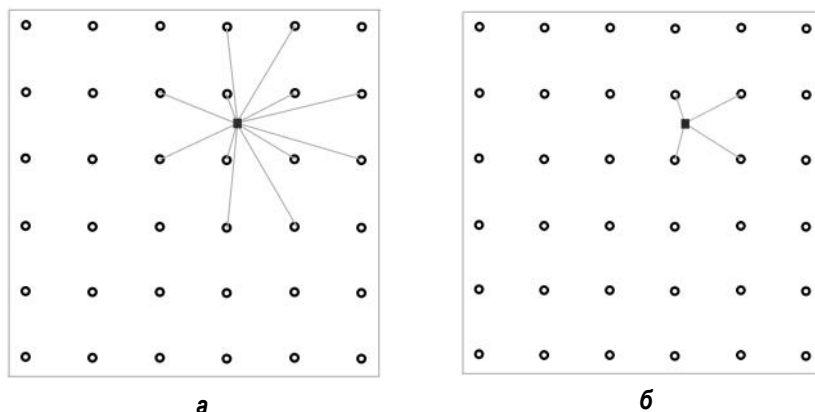


Рис. 2. Эквивалентное отображение равномерности дождя: а – тональное; б – градационное тональное



○ – дождемер; — расстояние от текущей точки до дождемера; ■ текущая точка

Рис. 3. Схема к расчету средневзвешенной интерполяции по 12 (а) и четырем (б) точкам

Визуальный анализ эквивалентного отображения указывает на градационное как более удобное и привычное в использовании по отношению к тональному. Градационное близко по восприятию к классическому представлению изогийет.

Предложенная методика дает ясное представление о распределении искусственного дождя по площади орошения, по информативности не уступающее полю изогийет.

Анализ схемы (рис. 1) и формулы (2) делает очевидным незначительность влияния удаленных от текущей точки значений слоев осадков. Для удаленных на расстояния r_1 и r_2 дождемеров, при равных горизонтальном и вертикальном расстояниях между дождемерами, разница весовых коэффициентов составит $18^3/1,5^3=1728$ раз. При большем количестве дождемеров разница возрастает в геометрической прогрессии. Это позволяет исключить из расчетной схемы удаленные дождемеры, практически не снижая точность конечных расчетов. В результате становится возможным сократить объем расчетов и повысить скорость обработки данных.

При классическом анализе в процессе построения изогийет учитываются только ближайшие к текущей точке показания слоя осадков или интенсивности дождя. Тогда упрощенная расчетная схема по 12 точкам примет вид рис. 3,а или по четырем – рис. 3,б.

Формулы (1), (2) и (3) применимы и для упрощенной расчетной схемы. При этом количество вычислений снижается на порядок практически без уменьшения точности.

Результаты построения показали адекватность обеих методик (рис. 3,а и рис. 3,б), поэтому для дальнейших вычислений была принята методика, указанная на рис. 3,б, как наименее требовательная к вычислительным ресурсам. Результат построения градационного тонального отображения приведен на рис. 4.

Полученная математическая модель для расчета требует применения современной вычислительной техники, но достаточно просто алгоритмизируется и переводится на

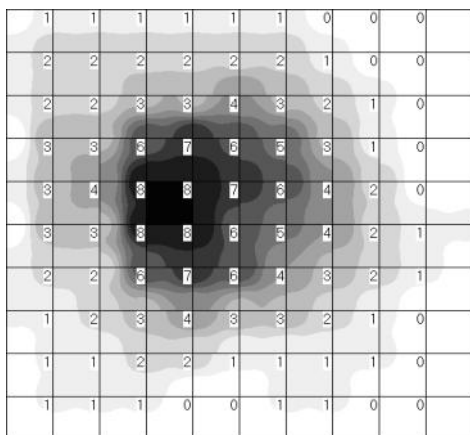


Рис. 4. Градационное эквивалентное отображение равномерности дождя по упрощенной методике

котором по оси абсцисс откладывают интенсивность дождя p , а по оси ординат площадь F , политую дождем данной интенсивности, – гистограмму интенсивности по площади. Этот график обычно строят путем планиметрирования по отдельным изогиям основного графика [8]. В данном случае можно рассчитать параметры значений площади используя массив значений $i_{cp,j}$. Высота гистограммы по оси ординат рассчитывается как сумма единичных площадок, политых с текущей по оси абсцисс интенсивностью дождя. Иными словами, гистограмма в этом случае представляет собой совокупность сумм точечных участков с равной интенсивностью дождя. Площадь орошения принимается равной площади с нулевым значением интенсивности.

Построение гистограммы по участкам более точное и объективное, так как на конечный результат оказывает значительно меньшее влияние интерполяция, происходящая при построении изогий. Немаловажным фактором является исключение из процесса построения субъективного фактора.

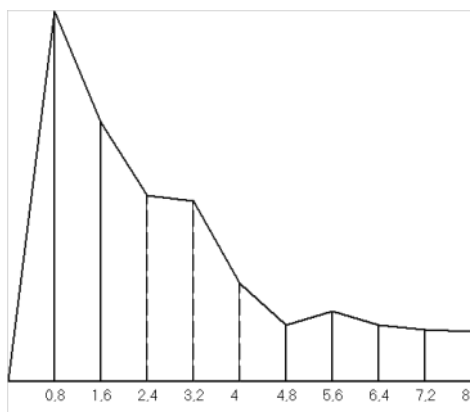


Рис. 5. Гистограмма

языки программирования [6, 7].

Орошаемая площадь разбивается на единичные участки, каждый из которых имеет свои координаты и интенсивность $i_{cp,j}$, рассчитанную по вышеприведенной методике. В примере таких участков 250 тысяч, их параметры $\approx 5 \times 5$ см. Малые размеры точечного участка позволяют считать, что параметры дождя по его площади неизменны. Массив значений $i_{cp,j}$ приближенно является массивом точечных значений интенсивностей.

Для оценки качества полива необходимо на основании графика распределения интенсивности построить вспомогательный график, на котором по оси абсцисс откладывают интенсивность дождя p , а по оси ординат площадь F , политую дождем данной интенсивности, – гистограмму интенсивности по площади. Этот график обычно строят путем планиметрирования по отдельным изогиям основного графика [8]. В данном случае можно рассчитать параметры значений площади используя массив значений $i_{cp,j}$. Высота гистограммы по оси ординат рассчитывается как сумма единичных площадок, политых с текущей по оси абсцисс интенсивностью дождя. Иными словами, гистограмма в этом случае представляет собой совокупность сумм точечных участков с равной интенсивностью дождя. Площадь орошения принимается равной площади с нулевым значением интенсивности.

Пример гистограммы для рассмотренного выше примера приведен на рис. 5.

Оценка интенсивности и равномерности выполняется по построенной номограмме. За общую интенсивность принимается интенсивность, дающая максимальное произведение площади на интенсивность.

По данным графика $F = f(p)$ находят среднеэффективную интенсивность ($p_{cp,эф}$) как величину, дающую наибольшее значение произведения интенсивности на площадь. Вправо и

влево от среднеэффективной интенсивности откладывают соответственно $\rho = 1,25 \rho_{\text{ср.эф}}$ и $\rho = 0,75 \rho_{\text{ср.эф}}$.

Площадь F вспомогательного графика, ограниченная осью абсцисс, двумя вертикалями $1,25 \rho_{\text{ср.эф}}$ и $0,75 \rho_{\text{ср.эф}}$ и кривой $F = f(\rho)$, характеризует эффективный полив. Отношение этой площади ко всей площади F_0 , ограниченной кривой $F = f(\rho)$ и осью абсцисс, называется коэффициентом эффективного полива. Чем ближе значение этого коэффициента к единице, тем, следовательно, меньше отклонение интенсивности полива от пределов $(0,754-1,25) \rho_{\text{ср.эф}}$, или меньше площадь, политая дождем, интенсивность которого отклоняется от средней в больших пределах.

Применение предложенной методики позволяет автоматизировать процесс обработки экспериментальных данных, тем самым ускорить анализ и исключить субъективный фактор.

Практическая реализация в виде программы «Dozhd»

Главными целями при разработке компьютерных программ в научных исследованиях и практическом применении являются автоматизация планирования, управления и обработки данных. Каждая из этих целей направлена, прежде всего, на снижение трудозатрат и повышение точности и оперативности результатов.

На основании математической модели и алгоритма построения изогий нами проведена работа по оптимизации алгоритма для перевода математической модели в компьютерную программу.

Описание программы «Dozhd»

Согласно предложенной методике, в среде Delphi 6 [9, 10] была написана компьютерная программа Dozhd, реализующая обработку результатов экспериментальных данных по измерению интенсивности и равномерности искусственного дождя.

Системные требования: компьютер, поддерживающий операционную систему Windows 98 и выше, разрешение экрана 800 на 600 пикселей при глубине цвета 16 бит и выше.

Исходными данными для программы Dozhd являются дискретные слои осадков, измеренные дождемерами по общепринятой методике. Значения дискретных слоёв осадков либо интенсивностей дождя заносятся в ячейки таблицы (рис. 6) главного окна программы.

В главном меню 2 «Файл» можно сохранить внесенные данные, а также загрузить ранее сохраненные на диске. В меню «Вид вывода» 3 выбирается тип отображения интенсивности дождя: градационный либо тональный. В поле «Вес» 4 вносится показатель степени b для вычисления весовых коэффициентов.

В поле 5 вносятся расстояния между дождемерами по горизонтали и по вертикали и время полива. Время полива вносится для определения параметров дождя, если в качестве исходных данных используются слои осадков в дождемерах. Если исходные данные представлены интенсивностями, то в поле «Время полива» следует записать 0.

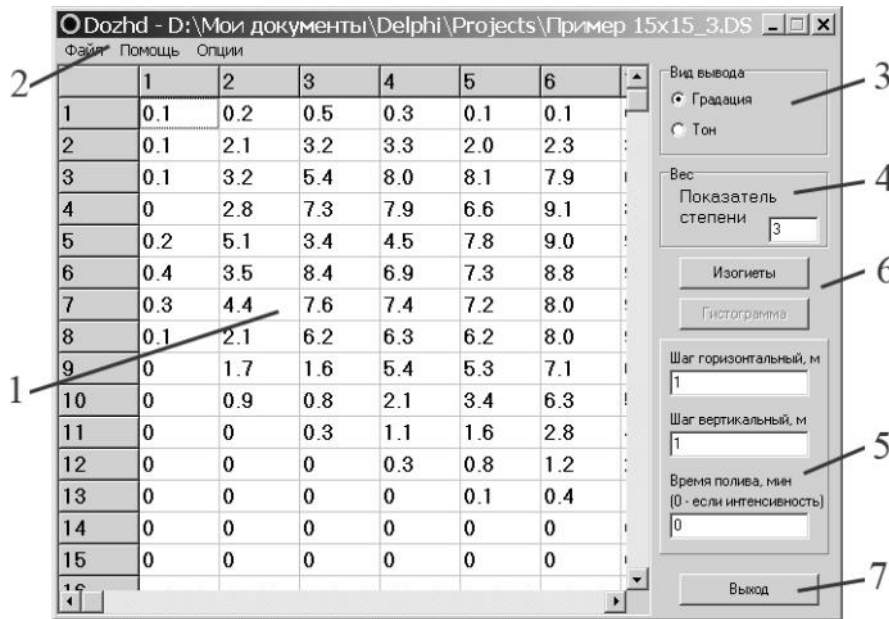


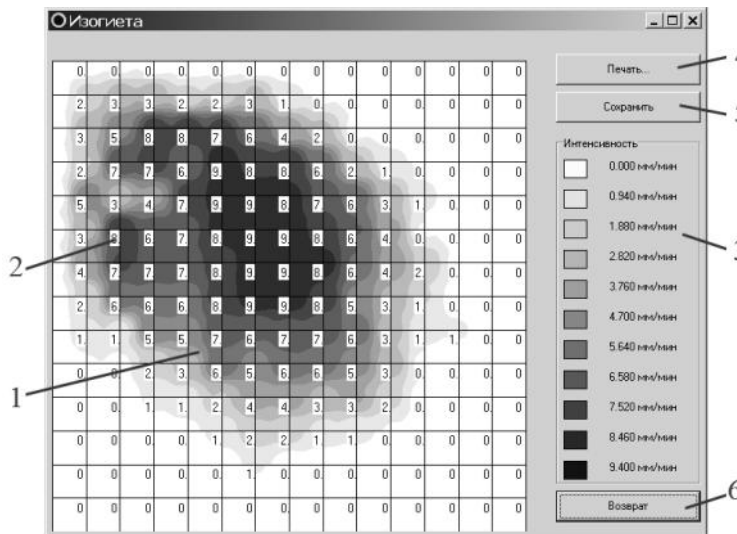
Рис. 6. Главное окно программы «Dozhd»

Управляющие элементы 6 инициируют процесс построения полей интенсивности и расчет параметров искусственного дождя.

Кроме того, в главном меню «Опции» 2 можно задать отображение интенсивностей дождя по отдельным дождемерам.

Выход из программы осуществляется нажатием кнопки 7 «Выход».

При нажатии управляющего элемента «Изогиета» 6 рис. 6, открывается дополнительное окно программы «Изогиета» рис. 7. В окне «Изогиета» расположены следующие элементы. Область градационного отображения интенсивности дождя 1. Каждая градация цвета соответствует



своему значению слоя или интенсивности дождя. С увеличением интенсивности дождя увеличивается интенсивность отображающего цвета. Горизонтальные и вертикальные линии соответствуют линиям

Рис. 7. Дополнительное окно программы «Изогиета», градационное

расположения дождемеров. Цифровые значения 2, на пересечениях горизонталей и вертикалей, означают слой дождя либо интенсивность дождя в конкретном дождемере.

Справа, в поле 3 «Интенсивность», приведены эквивалентные цветовые градации слою или интенсивности дождя.

Полученное графическое изображение можно распечатать на принтере, кнопка 4 «Печать», либо сохранить на диске для дальнейшего анализа – кнопка 5 «Сохранить».

Возврат в главное окно программы осуществляется нажатием кнопки 6 «Возврат».

При выборе тонального отображения назначение полей и управляющих элементов такое же, как при градационным отображением.

Отображение слоев осадков по дождемерам отключено. При нажатии управляющего элемента «Гистограмма» 6 (рис. 6) открывается дополнительное окно программы «Gistogramma» (рис. 8).

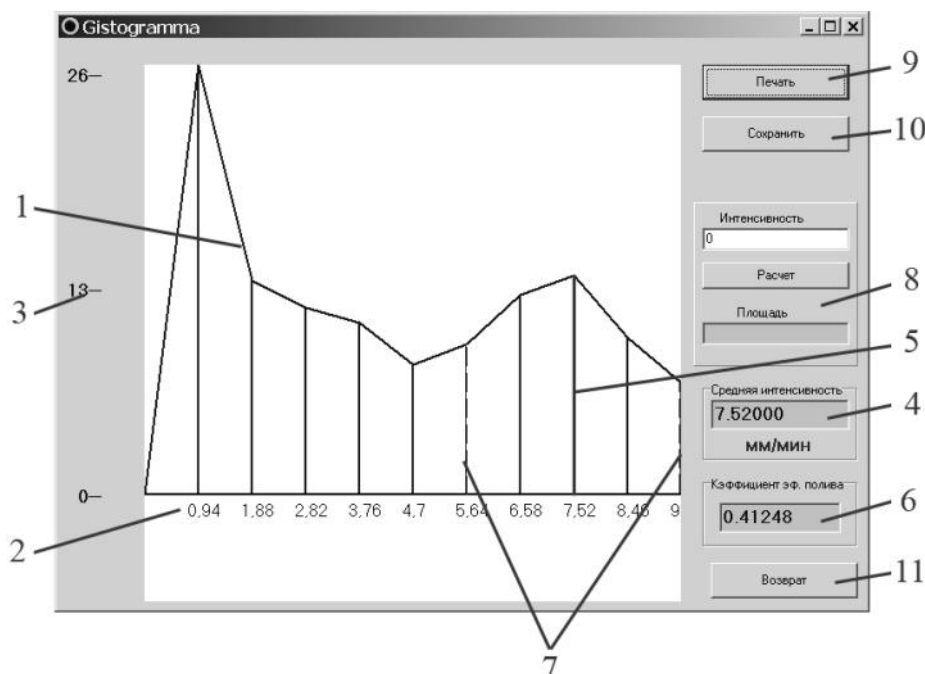


Рис. 8. Дополнительное окно программы «Gistogramma»

В окне «Gistogramma» (рис. 8) расположены следующие элементы. Область построения гистограммы 1. Гистограмма показывает площадь, политую с конкретно взятой интенсивностью либо слоем осадков в диапазоне от 0 до максимального значения, полученного по измерениям. Интенсивность (слой) дождя указана на горизонтальной шкале 2, под гистограммой. Площадь отмечена на вертикальной шкале 3. Средняя интенсивность дождя отображается в поле вывода 4 и отмечена на гистограмме жирной красной линией 5.

Коэффициент эффективного полива в поле вывода 6. Площадь, политая с откло-

нением $\pm 25\%$, ограничивается в поле гистограммы 1 красными пунктирными линиями 7. Расчетный элемент 8 позволяет определить площадь, политую произвольным значением интенсивности. Полученное графическое изображение можно распечатать на принтере, кнопка 9 «Печать», либо сохранить на диске для дальнейшего анализа – кнопка 10 «Сохранить». Возврат в главное окно программы осуществляется нажатием кнопки 11 «Возврат».

Назначение программы «Dozhd»

Компьютерная программа предназначена для автоматизации обработки измерений искусственного дождя при испытаниях, разработке и модернизации дождевальных машин, а также орошении жидкостями, отличными по составу от чистой воды, и построения изогнет, номограмм распределения интенсивностей дождя, определения средней интенсивности дождя и коэффициента эффективного полива. Кроме того, может использоваться в научных исследованиях в области дождевания, для контроля ремонтных мероприятий и текущего контроля.

Апробация программы осуществлялась при плановых исследованиях качества искусственного дождя на оросительном комплексе СГЦ «Заднепровский» Оршанского района Витебской области. Проводилась обработка экспериментальных данных по исследованию качества искусственного дождя, создаваемого дождевальной машиной ДКН-80 со штатными дождевальными насадками и модернизированными дождевальными аппаратами.

Сравнение изогнет, построенных обычными методами линейной интерполяции и программой «Dozhd», показало адекватность результатов программной обработки экспериментальных данных.

Пример расчета программой «Dozhd»

Исходные данные: результат замера слоев искусственного дождя (см. таблицу), создаваемого дождевальной насадкой, установленной на дождевальной машине ДКН-80, на

Результаты замера слоев искусственного дождя

Слой в дождемере, мм, номер строки	Номер колонки									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	0	0	0	0	0	0,2	0,1	0	0	0
2	0	0	0,9	1,0	1,0	2,0	1,0	0,8	0	0
3	0	0,5	1,2	2	2,0	2,7	2,2	1,0	0,7	0
4	0	1,0	2,2	3,3	4,0	3,8	3,1	2,0	0,9	0
5	0	1,9	3	4,2	6,0	4,3	3,2	2,0	1,0	0
6	0	2,1	3,2	5,1	5,0	3,9	2,9	2,1	1,1	0,1
7	0	2,4	4,3	4,2	4,0	3,1	2,3	1,9	1,0	0
8	0,2	1,9	2,3	2,3	2,9	2,1	2,0	2	1,0	0
9	0,4	1,1	1,1	1,0	1,0	1,2	1,0	1	0	0
10	0,6	0,3	0	0	0	0	0	0	0	0

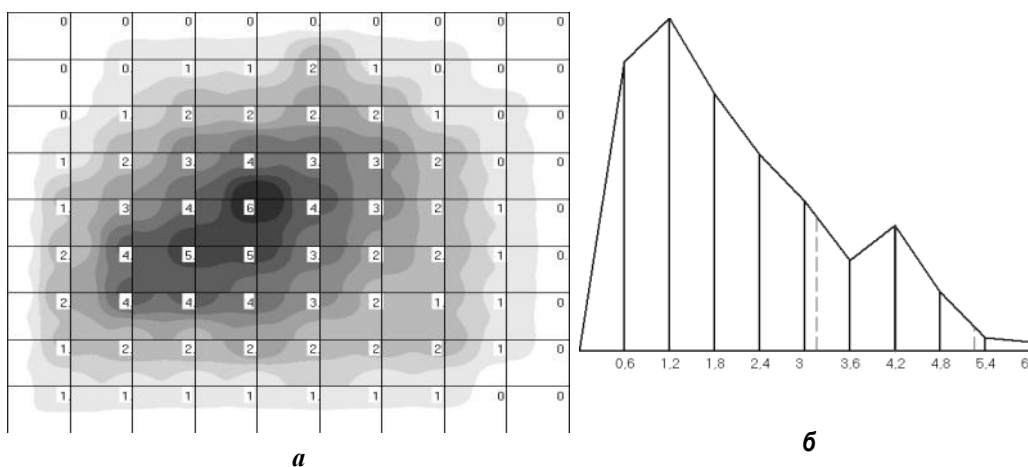


Рис.9. Изогеты и номограмма

последнем аппарате. Предпоследний аппарат заглушен. Продолжительность полива 15 мин.

Полученные программным путем изогеты приведены на рис. 9,а. Гистограмма, построенная программой, приведена на рис. 9,б. Средняя интенсивность дождя составляет 0,280 мм/мин, коэффициент эффективного полива $K_{эф} = 0,21$.

Автоматизация построения изогет и расчета средней интенсивности искусственного дождя сокращает трудозатраты и затраты времени на испытания дождевальных машин, исследования качества дождя. Уменьшает влияние человеческого фактора в целом и полностью его исключает в процессе расчета, что повышает точность и достоверность полученных данных.

Литература

1. Желязко, В.И. Эколого-мелиоративные основы орошения земель стоками свиноводческих комплексов: Монография./В.И. Желязко. – Горки: Белор. гос. сельскохоз. акад., 2003. – 168 с.
2. Голченко, М.Г. Как обеспечить качественный полив угодий/ М.Г.Голченко // НТИ. Мелиорация и вод. хоз-во. – Минск, 1976. – №6.
3. Городничев, В.И. Методы, системы управления, контроля и оценки качества работы фронтальных дождевальных машин / В.И. Городничев. – Коломна: ФГНУ ВНИИ «Радуга», 2003. – 354 с.
4. Методика оценки эффективности дождевальных машин. – М.: ЦНИИТЭИ, 1975.– 157 с.
5. Производственные исследования на оросительных системах; отв. ред. М.М. Кабаков. – Фрунзе: Изд-во АН Киргиз. ССР, 1961. – 303 с.
6. Резник, Э.А. Применение вычислительной техники в гидромелиорации / Э.А. Резник, Е.М. Алышев. – М.: Колос, 1970. – 129 с.
7. Методические указания по применению микрокалькулятора «Электроника БЗ 18А» для статистической обработки экспериментальных данных; сост.Э.А. Бишоф. – Л.: СевНИИГиМ, 1978. – 38 с.
8. Лебедев, Б.М. Дождевальные машины / Б.М. Лебедев. – Изд. 2-е. – М.: Машиностроение, 1977. – 244 с.
9. Кэнту, М. Delphi 7. Для профессионалов / М. Кэнту. – СПб.: Питер, 2004. – 1100 с.
10. Архангельский, А.Я. Delphi 2006. Справочное пособие: Язык Delphi, классы, функции Win32 и NET / А.Я. Архангельский. – М.: ООО «Бином-Пресс», 2006. – 1152 с.

Summary

Golchenko M., Anzhenkov A. Improved Method for Assessment of the Quality of the Artificial Rain from the Experimental Data

The new method for processing the experimental data of the artificial rain has been proposed. The peculiarity of this method consists in accounting the nearest points of measuring the rain in the reverse dependence on the distance to them. The mathematical model is algorithmized; the Dozhd computer program making it possible to perform the mathematical processing of the experimental data and issue the result in both numerical and graphical form has been developed on the basis of the proposed algorithm.

Поступила 24 февраля 2008 г.