

УДК 631.347.4.001.57

**МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА
ДОЖДЕВАНИЯ МАШИНАМИ
ФРОНТАЛЬНОГО ДЕЙСТВИЯ С
СЕКТОРНЫМИ НАСАДКАМИ**

Черноволов Василий Александрович
д.т.н., профессор

Кравченко Людмила Владимировна
к.т.н., доцент

Луханин Владимир Александрович
к.т.н.

*Азово-Черноморский инженерный институт
ФГБОУ ВПО Донской государственный аграрный
университет в г. Зернограде, Зерноград, Россия*

В настоящей статье предложены методы математического моделирования процессов распределения воды машиной непрерывного фронтального движения с дефлекторными насадками секторного действия. Применение математического моделирования позволяет выбрать оптимальное расположение насадок при минимальных затратах труда и средств. Насадки работают при малых давлениях, чем достигается снижение энергоёмкости процесса распределения жидкости по полю при более равномерном распределении воды. В примере расчета получен коэффициент вариации дозы полива 1,71% при расстоянии между насадками 7 м

Ключевые слова: ДОЖДЕВАЛЬНЫЕ МАШИНЫ, МОДЕЛИРОВАНИЕ, РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ВОДЫ, ОПТИМИЗАЦИЯ, РАЗМЕЩЕНИЯ НАСАДОК, РАВНОМЕРНОСТЬ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ВОДЫ

UDK 631.347.4.001.57

**SIMULATION OF THE SPRINKLING PROCESS
WITH THE MACHINES OF FRONT ACTION
WITH SECTOR NOZZLES**

Chernovolov Vasily Aleksandrovich
Dr.Sci.Tech., professor

Kravchenko Ludmila Vladimirovna
Cand.Tech.Sci., assistant professor

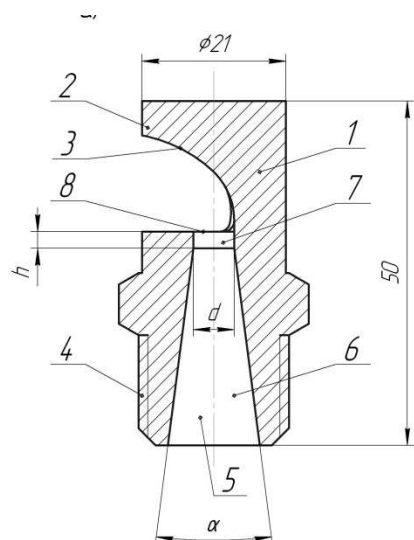
Lukhanin Vladimir Aleksandrovich
Cand.Tech.Sci., assistant

*Azov-and-Black Sea engineering institute FSBHEEPT
«Donskoy state agrarian university» in Zernograd*

The article deals with the methods of mathematical simulation of water distribution processes by the machine of unbroken front moving with deflector nozzles of sector influence. Mathematical simulation using lets choose the optimum labor and money expenditure. The nozzles work under low pressures, it results in power inputs reduction of liquid distribution process about the field along with more regular water distribution. The coefficient of water doze variation 1,71% under 7 m distance between the nozzles is got in the circulation example

Keywords: IRRIGATION SYSTEM, SIMULATION WATER DISTRIBUTION, OPTIMIZATION, ACCOMMODATION OF SPRINKLER NOZZLES, UNIFORMITY OF WATER DISTRIBUTION.

Оптимизация процесса работы машин по критериям равномерности распределения жидкостей позволяет снизить материальные и энергетические затраты, повысить вероятность качественной работы при изменении условий эксплуатации, например рельефа поля или ветра. Оптимизацию предлагается выполнить на основе математического моделирования процесса. В исследовании использована насадка МДФА «Таврия» (рис. 1).



1 – корпус; 2 – дефлектор; 3 – сферическая отражательная поверхность; 4 – присоединительный участок; 5 – центральный сквозной канал; 6 – конфузор; 7 – сопло; 8 – плоскость истечения струи в атмосферу

Рисунок 1 – Короткоструйная дождевальная насадка секторного действия МДФА «Таврия», авт. свидетельство № 1729603;

Недостатком секторных насадок является снижение размеров зоны дождевания и повышение интенсивности дождя. Если почва имеет малую впитывающую способность, то приходится увеличивать скорость движения машины или уменьшать подачу воды в машину. Последнее приводит к уменьшению производительности машины, что нежелательно.

Дефлекторные насадки создают веер дождя, который орошает сектор на поле. Площадь, орошаемую одной насадкой, называем зоной дождевания. Построим математическую модель процесса дождевания при следующих допущениях:

- движение машины и насадки считаем равномерным, допущение справедливо и при импульсном движении машины, если за один цикл импульсного движения перемещение значительно меньше размера зоны дождевания;

- распределение дождя по углу веера или круга известно и задано плотностью вероятностей угла $f(\alpha)$ и расходом Q , так, что плотность потока воды, приходящегося на единицу угла, равна $q_\alpha = Q \cdot f(\alpha)$;

- распределение дальности полета капель по радиусам известно и задано плотностью вероятностей дальностей $f(\rho)$;
- расход Q и скорость машины V_m считаются постоянными, поэтому модель строится только для анализа поперечного распределения;
- скорость ветра равна нулю;
- высота установки насадок постоянна;
- поверхность поля горизонтальна.

Равномерность распределения жидкости по ширине оцениваем коэффициентом вариации доз q_F , полученным после моделирования прохода машины. Коэффициент вариации связан с коэффициентом эффективного полива функциональной зависимостью, если известен закон распределения отклонений дозы, как случайной величины.

Вероятность попадания жидкости на элементарную площадку dF , выделенную в зоне дождевания двумя радиусами с углом между ними $d\alpha$ и двумя окружностями с приращением радиуса $d\rho$, определится как произведение вероятностей попадания в диапазон угла $d\alpha$ и радиуса $d\rho$, т. е. $P\{dF\} = f(\alpha) \cdot d\alpha \cdot f(\rho) d\rho$.

Интенсивность дождя на площадке равна количеству жидкости, попадающей на нее в единицу времени, деленному на ее площадь. При независимых ρ и α имеем

$$I = \frac{Q \cdot f(\alpha) \cdot d\alpha \cdot f(\rho) \cdot d\rho}{\rho \cdot d\alpha \cdot d\rho} = \frac{Q \cdot f(\alpha) \cdot f(\rho)}{\rho} \quad (1)$$

Доза полива любой площадки насадкой определяется произведением интенсивности на время работы t , т. е.

$$q_F = I \cdot t \quad (2)$$

Рассмотрим движение насадки вместе с машиной относительно неподвижных площадок поля. Доза полива при этом определяется интегрированием интенсивности по времени. Изменение интенсивности дождя во времени определяется траекторией относительного движения

зоны полива и площадки. Так как $dt = dS/V_m$, то дозу полива можно определить как криволинейный интеграл первого рода

$$q_F = \frac{1}{V_m} \int_K I(X, Y) dS, \quad (3)$$

где K – кривая относительной траектории площадки и зоны полива.

Пусть движение машины идет вдоль оси Y . Положительный отсчет углов α ведем от оси Y против часовой стрелки. Прямоугольные координаты площадки dF связаны с полярными соотношениями:

$$\begin{aligned} X &= \rho \cdot \sin \alpha \\ Y &= \rho \cdot \cos \alpha. \end{aligned} \quad (4)$$

Интегрирование ведем по линии L , параллельной оси Y и отстоящей от нее на расстоянии X . Тогда

$$q_F = \frac{1}{V_m} \int_L I(X, Y) dY. \quad (5)$$

Экспериментальные результаты исследования характеристик случайных величин: дальности полета капель и плотности потока по углу дождевания показали [1] возможность применения допущения о нормальном распределении этих величин.

Для построения математической модели работы дождевальной машины при фронтальном движении с помощью эксперимента получено распределение осадков одной насадкой. Перед началом опытов подготавливалась и нивелировалась предполагаемая площадь полива. По радиусам, расположенным через 30 градусов, устанавливались с шагом 0,5 м дождемеры.

Интенсивность в каждой точке определяется по выражению:

$$I = \frac{h}{t} = \frac{V}{S_d \cdot t} \quad (6)$$

где V – объем осадков в дождемере, выпавших за время опыта, мм

S_d – приемная площадь дождемера, мм

Скорость ветра за время опыта и его направление в зоне полива измерялись анеморумбометром. Опыты проводились при скоростях ветра не более 0,5 м/с, давление принималось равным от 0,1 МПа до 0,3 МПа, что соответствует условиям эксплуатации машины.

Опыты проводились в такой последовательности. Проводился пробный полив, во время которого с помощью регулятора устанавливали необходимое давление. Затем на предполагаемой площади полива расставляются дождемеры.

Включаем в работу установку, начинается отсчет средней скорости ветра и в течение 20 минут поливается площадка с дождемерами. Во время опыта велся постоянный контроль давления в трубопроводе, и при необходимости, производилась его корректировка. Основная часть опытов проводилась в тихую погоду (рассвет и дневные часы).

По окончании времени опыта с помощью мензурки определяли по секторам объем осадков в каждом дождемере с точностью до 0,1 мл.

По результатам опытов вычислялись значения функции плотности вероятностей величин ρ , α и интенсивности в точках установки дождемеров. Вычисление функций $f(\alpha)$ и $f(\rho)$ выполнялось с учетом зависимости (1) и пересчетом объемов в дождемерах к одинаковому углу $\Delta\alpha$. При вычислении $f(\alpha)$ принимали $\Delta\alpha = \frac{\pi}{6}$.

Характеристики зоны дождевания $f(\alpha)$ и $f(\rho)$ на основании формулы (1) находим следующим образом.

Подставив I по (6) в (1) получим

$$f(\rho_i) = \frac{V_i \cdot \rho_i}{S_d \cdot t \cdot Q \cdot f(\alpha)} = \frac{V_i \cdot \rho_i}{C} \quad (7)$$

где C – постоянная, определяемая по условию нормированности функции $f(\rho)$, т.е. по условию $\sum f(\rho_i) \Delta\rho = 1$.

Функцию $f(\alpha)$ по результатам эксперимента определяли пересчетом объемов V_i на одинаковый угол $\Delta\alpha$. Пусть с первым дождемером касаются радиусы, проведенные под углом $\Delta\alpha$ друг к другу. Тогда

$$\Delta\alpha \cdot \rho_1 = d,$$

где d – диаметр дождемера, мм.

Если бы все дождемеры улавливали осадки с угла $\Delta\alpha$, то диаметры дождемеров надо было увеличивать до величины $d_i = \Delta\alpha \cdot \rho_i$.

Объем осадков в каждом дождемере нужно привести к углу $\Delta\alpha$ и интервалу $\Delta\rho = 0,5$ м, т.е. получить:

$$V_i' = V_i \cdot \frac{\Delta\rho}{d} \cdot \frac{\Delta\alpha_1}{\Delta\alpha_i} = V_i \cdot \frac{\rho_i}{\rho_1} \cdot \frac{\Delta\rho}{d}$$

Сумма всех V_i' на данном радиусе деленная на объем воды, вылитой на всю площадь орошения дает вероятность попадания осадков в угол $\Delta\alpha$, а отношение вероятности к $\Delta\alpha$ – оценку функции $f(\alpha)$.

$$f(\alpha_i) = \frac{\sum_{i=1}^{20} V_{in} \rho_i}{\frac{\pi}{6} \sum_{n=1}^{12} \sum_{i=1}^{20} V_{in} \rho_i} \quad (8)$$

Допущение о нормальном распределении дальностей полета капель подтвердилось. Нулевая гипотеза не отвергается при пяти процентном уровне значимости, поэтому далее определяли эмпирические оценки плотностей вероятностей $f(\rho)$ и $f(\alpha)$ по формулам (7) и (8) и числовые характеристики нормального распределения: математическое ожидание дальности – M_ρ и среднее квадратическое отклонение σ_ρ .

Получены эмпирические зависимости числовых характеристик дальностей полета капель от рабочего давления P , высоты установки насадки H и диаметра выходного отверстия насадки. Диапазоны изменения факторов были следующими: $P = 0,1 \dots 0,3 \text{ МПа}$; $H = 1,6 \dots 2,8 \text{ м}$; $d = 3 \dots 7 \text{ мм}$.

$$M_p = 0,886 + 4,675 \cdot P + 0,317 \cdot d + 0,348 \cdot H - 1,738 \cdot P \cdot H$$

$$\sigma_p = 0,653 + 0,172 \cdot H + 0,069 \cdot d$$

Программы моделирования распределения воды дождевальными аппаратами и насадками составлены в системе MathCAD по формулам (3), (4), (5). Программа $Q(M\alpha, \sigma\alpha, M_p, \sigma_p)$ вычисляет дозу как функцию от параметров зоны дождевания с циклом по X . Пределы цикла и его шаг задают присвоением значения переменной цикла n и изменением множителя при i в формуле для X . Программа выдает результат в виде матрицы из двух строк и $(n+1)$ столбцов (рис. 2). В первой строке выведены значения X , во второй – дозы.

$$Q(0, 0.8, 4, 1.3) =$$

	7	8	9	10	11	12	13
0	-4.75	-4.25	-3.75	-3.25	-2.75	-2.25	-1.75
1	12.3	18.55	25.5	32.4	38.66	44.03	48.51

Рисунок 2 – Формат вывода результатов счета дозы полива

Матрица результатов имеет полосу прокрутки, с помощью которой можно прочитать все значения X и Q . Влияние параметров зоны дождевания на распределение воды одной насадкой по ширине X после прохода машины показано на рисунке 3. В скобках после обозначения дозы указаны числовые характеристики зоны дождевания. По оси Y отложены дозы, по оси X – значения из первой строки матрицы результатов, то есть ширина X .

Симметричное, относительно оси Y , расположение зоны дождевания при $M\alpha=0$ (рис. 3,а) дает возможность, при оптимальной расстановке насадок на трубопроводе, получить отличную равномерность. Ширина зоны дождевания по оси X зависит от параметра $\sigma\alpha$, характеризующего величину сектора дождевания. Наиболее равномерное распределение в центре полосы дождевания получено при $\sigma\alpha=1$ рад. Однако, получить

почти круговой сектор дождевания можно только с применением дефлекторной насадки с конусным отражателем, смещенным относительно центра выходного отверстия.

Поворот зоны дождевания от симметричного положения (рис. 3,б), ухудшает распределение.

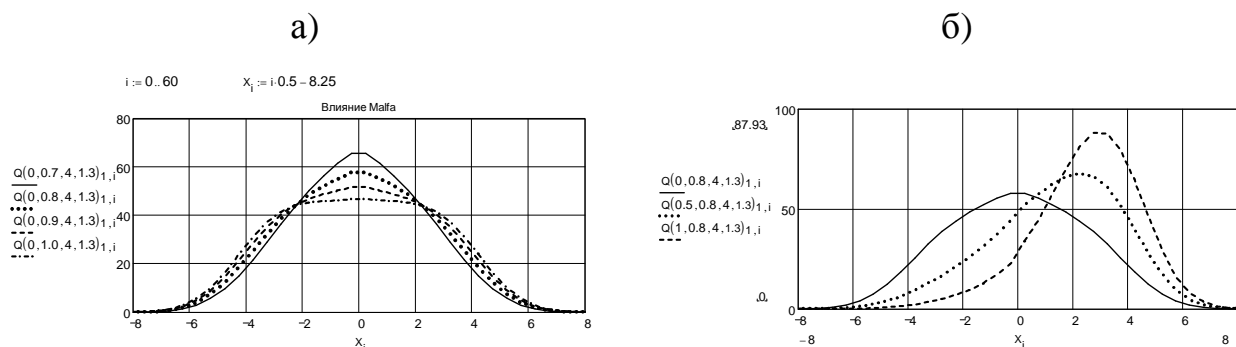


Рисунок 3 – Распределение воды по ширине полосы дождевания дефлекторной насадкой секторного действия.

Выбором оптимального перекрытия зон дождевания соседних насадок можно получить очень равномерное распределение воды. Программа $Q(M\alpha, \sigma\alpha, M\rho, \sigma\rho, B)$ учитывает перекрытие зон дождевания двух насадок, расположенных на трубопроводе на расстоянии B друг от друга, и выдает результат счета в виде матрицы, по которой можно построить графики (рис. 4).

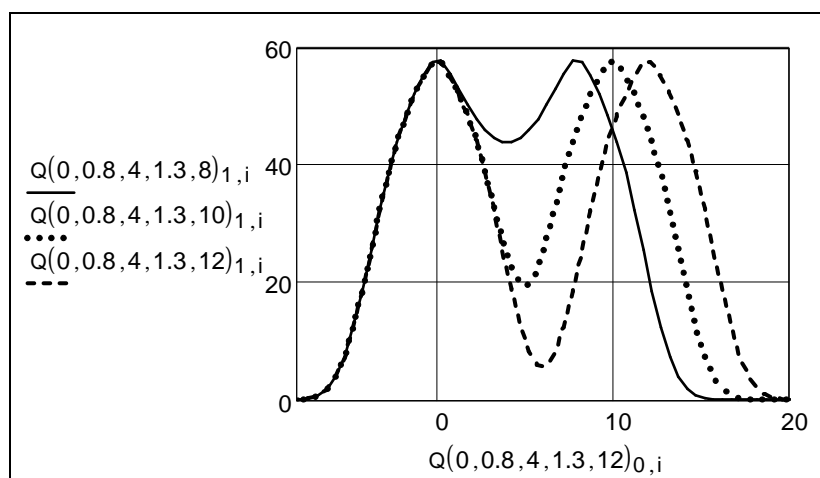


Рисунок 4 – Графики изменения дозы от действия двух насадок при $B=8, 10$ и 12 м.

Пределы изменения аргумента X задают в программе числом точек вычисления, шагом его изменения ΔX и начальным значением. На рисунке 3 число точек $n=60$, шаг равен 0,5м, начало счета при $X=-8,25$. Программа не считает дозу при $X=0$, поэтому ΔX и $X_{нач.}$ заданы так, чтобы для любой из точек выполнялось условие $X \neq 0$. С увеличением перекрытия зон дождевания равномерность на ширине B повышается. Есть возможность найти наилучшее по равномерности перекрытие.

Оптимальную расстановку насадок рассчитывает следующая программа $V(M\alpha, \sigma\alpha, M\rho, \sigma\rho)$. Программа изменяет расстояние между насадками в пределах от $B_{max}=2 \cdot (M\rho + 3 \cdot \sigma\rho)$ до $B_{max}/2$. Пределы можно задать формулами или цифрами.

График дозы в зоне перекрытия (см. рис. 4) показывает, что при $B=8м$ оптимальное перекрытие не достигнуто. Если уменьшить расстояние между насадками, то распределение станет равномернее.

Программа выдает результат в виде таблицы EXCEL. В нулевой строке – расстояние между насадками по ширине полосы дождевания, в первой – коэффициент вариации дозы на ширине B , во второй – среднее значение дозы на этой ширине.

Минимальную неравномерность находят применением стандартной функции min . Для выделения строки V_1 из общей матрицы, её транспонируют и задают номер столбца. По этому принципу выделяют строки матрицы при построении графиков.

Коэффициент вариации дозы при оптимальном расстоянии между насадками $B=7м$ (рис. 5) получен равным 1,71%, что можно считать хорошим результатом моделирования. Струйными аппаратами такой результат получить невозможно или затруднительно.

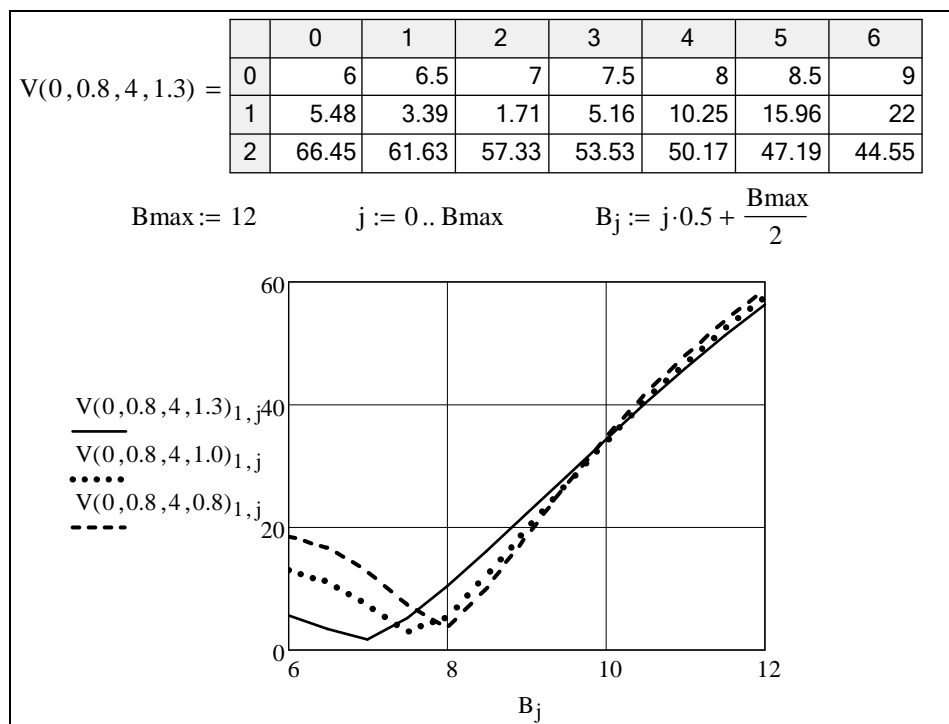


Рисунок 5 – Графики зависимости коэффициента вариации дозы от расстояния между насадками.

Кривые неравномерности при разной кучности распределения воды по радиусам отличаются численным значением минимума и величиной интервала, в котором коэффициент вариации дозы меньше заданного допуска, например 10%. При $\sigma_p=1,3м$, достигнута самая высокая равномерность и наибольшая величина интервала ΔB , в котором $V < 10\%$. При большой кучности ($\sigma_p = 0,8м$) $V_{min} = 3.53\%$, а $\Delta B = 1,0м$. Влияние величины σ_p на показатели распределения воды секторной насадкой существенно меньше, чем струйным аппаратом.

Выводы

Моделирование и оптимизация размещения насадок на трубопроводе дождевальнoй машины по предлагаемой методике менее трудоемка и менее дорогостояща по сравнению с эмпирическим способом решения

задачи. В примере расчета получен коэффициент вариации дозы полива 1,71% при расстоянии между насадками 7 м.

Минимальная неравномерность и интервал ширины с неравномерностью менее 10% могут служить косвенными критериями устойчивости распределения. Можно предположить, что чем выше теоретическая равномерность, тем больше разность между допускаемой и теоретической неравномерностью, тем большими должны быть возмущающие воздействия для вывода процесса в диапазон брака. По этим показателям дефлекторные насадки секторного действия лучше струйных аппаратов. Кроме того, они проще по конструкции, менее энергоемки, выполнены из полимеров, не ржавеют и более дешевы.

Литература

- 1.Черноволов В.А. Распределение воды секторными насадками по радиусам зоны дождевания / В.А.Черноволов, Л.В.Кравченко // Научная молодежь – агропромышленному комплексу. - Зерноград: АЧГАА, 2003.
2. Черноволов В.А. Распределение воды по секторам дефлекторными насадками дождевальных машин / В.А.Черноволов, Л.В.Кравченко // Разработка технического оснащения производства продукции животноводства. – Зерноград: ВНИПТИМЭСХ, 2003.

References

- 1.Chernovolov V.A. Raspredelenie vody sektornymi nasadkami po radiusam zony dozhdevanija / V.A.Chernovolov, L.V.Kravchenko // Nauchnaja molodezh' – agropromyshlennomu kompleksu. - Zernograd: AChGAA, 2003.
2. Chernovolov V.A. Raspredelenie vody po sektoram deflektornymi nasadkami dozhdeval'nyh mashin / V.A.Chernovolov, L.V.Kravchenko // Razrabotka tehničeskogo osnashhenija proizvodstva produkcii zhivotnovodstva. – Zernograd: VNIPTIMJeSH, 2003.