

УДК 631.347.4.004: 626.845.001.8

UDC 631.347.4.004: 626.845.001.8

**МЕТОДИКА РАСЧЕТА СЕЗОННОЙ НАГРУЗКИ НА ДОЖДЕВАЛЬНУЮ МАШИНУ****ESTIMATION PROCEDURE OF SEASONAL LOADING OF SPRINKLER IRRIGATION MACHINE**

Снипич Юрий Фёдорович  
к. т. н.

*Федеральное государственное научное учреждение «Российский научно исследовательский институт проблем мелиорации», ФГНУ «РосНИИПМ» Новочеркасск, Россия*

Snipich Yuriy Fyodorovich,  
Cand. Tech. Sci.

*Federal State Scientific Establishment «The Russian scientific research institute of land Reclamation problems» FSSE «RSRILRP», Novocherkassk, Russia*

В статье предложена методика решения задачи технической и технологической оптимизации комплектования и сезонного использования дождевальных машин, по имеющимся характеристикам распределения случайной величины дефицита водопотребления выбранной культуры, в конкретной агроклиматической зоне. Основным условием оптимизации, в современных экономических условиях, является определение оптимального показателя окупаемости капитальных затрат на модернизацию или устройство подводящей сети, приобретение ДМ и организацию полива

The technique of the decision of a problem of technical and technological optimization of the acquisition and seasonal use of sprinkler irrigation machines, under available characteristics of distribution of the casual sizes of deficiency of water consumption of the chosen culture, in the concrete to agro-climatic zone is offered in the article. The basic condition of optimization, in the modern economic conditions, definition of an optimum indicator is recouplement of capital expenses for modernization or the device of the bringing networks, acquisition of sprinkler irrigation machines (SIM) and the organization of watering

Ключевые слова: ОПТИМИЗАЦИЯ, СЕЗОННАЯ НАГРУЗКА, ДЕФИЦИТ ВОДОПОТРЕБЛЕНИЯ, ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬ ДОЖДЕВАЛЬНОЙ МАШИНЫ, ПОКАЗАТЕЛЯ ОКУПАЕМОСТИ

Keywords: OPTIMIZATION, SEASONAL LOADING, DEFICIENCY OF WATER CONSUMPTION, PRODUCTIVITY OF SPRINKLER IRRIGATION MACHINES, RECOUPLEMENT INDICATOR

Задача технической и технологической оптимизации комплектования и сезонного использования дождевальных машин сводится к тому, что, имея характеристики распределения случайной величины дефицита водопотребления данной культуры, в данной агроклиматической зоне, необходимо определить оптимальную величину сезонной нагрузки на выбранную дождевальную машину [1]. Основным условием оптимизации, в современных экономических условиях, на наш взгляд является определение оптимального показателя окупаемости капитальных затрат на модернизацию или устройство подводящей сети, приобретение дождевальной машины (ДМ) и организацию полива.

Наиболее приемлемым для алгоритмической реализации приведённой постановки задачи является стохастическое программирование [2].

Используя данный подход можно выделить два этапа решения поставленной задачи:

- расчёт оптимальной сезонной нагрузки на ДМ;
- определение оптимальных параметров эксплуатации ДМ или интенсивность её использования внутри поливного сезона.

В отсутствие информации об условиях увлажнения предстоящего поливного сезона, площадь, обслуживаемая ДМ в течение поливного сезона ( $S_{га}$  или сезонная нагрузка) – это стратегический параметр, решение по которому должно быть принято и являться оптимальным на всем множестве реализаций случайной величины дефицита водопотребления. Дефицит водопотребления оросительного сезона  $\xi, м^3/га$  или биологическая потребность культуры в оросительной воде зависит от случайных составляющих водного баланса корнеобитаемого слоя, и может быть задана своей функцией распределения –  $F\xi(x)$ . Дефицит водопотребления удовлетворяется через реализованную сезонную производительность ДМ. Производительность ДМ –  $N_{сез} м^3/га$ , это объем воды, подаваемый ДМ на 1 га сезонной нагрузки с течение вегетационного периода, в том числе, и в критический по условиям водопотребления период. Очевидно, что производительность дождевальная машины зависит от сложившихся погодных условий –  $N_{сез} = F(S, \xi)$ . Тогда величина рассогласования объемов водоподачи  $[\xi - N_{сез}(S, \xi)]$  должна быть выбрана таким образом, чтобы с одной стороны, наиболее полно удовлетворить потребность культуры в оросительной воде, т.е. максимально уменьшить ущерб от недополива, с другой – максимально увеличить показатель окупаемости капитальных затрат за счёт дополнительного чистого дохода. Чтобы уменьшить ущерб от недополива, нужно уменьшить величину недополива  $[\xi - N_{сез}(S, \xi)]$ . Так как производительность ДМ  $м^3/га$  зависит от сезонной нагрузки и от объема воды  $V$  подаваемого дождевальной машиной, сделать это можно двумя способами:

- уменьшить величину сезонной нагрузки  $S$  на ДМ для данного оро-

шаемого участка, т.е. увеличив количество ДМ, что сделать это в оперативном плане невозможно;

– увеличить объём воды  $V$ , подаваемый ДМ на 1 га сезонной нагрузки, т.е. увеличив продолжительность чистого времени работы за сезон –  $T$ , сут.

Рассмотрим алгоритм двухэтапной стохастической задачи реализуемой методики расчёта сезонной нагрузки на ДМ. На первом этапе будем исследовать некоторый набор величин сезонной нагрузки на ДМ –  $S_j = 1, m$ . Тогда для принятого  $S_j$  при складывающихся ситуациях по сезонным дефицитам водопотребления  $\xi$  из набора возможных реализаций, продолжительность чистого времени работы ДМ за сезон будет определяться в зависимости от  $T(\xi)/V(T(\xi))$ . Далее, в зависимости от поданного на 1 га сезонной нагрузки  $S_j$  объема воды  $V(T(\xi))$ , получаем некоторую величину показателя окупаемости приведенных капитальных затрат (приобретение ДМ и устройство подводящей сети), дополнительным чистым доходом –  $\Phi(S_j V(T(\xi)))$ , руб/га. Таким образом, для каждой возможной реализации погодных условий оросительного сезона  $\xi V$  при принятой сезонной нагрузке  $S_j$  получим значение показателя окупаемости  $\Phi(S_j \xi V)$ . Усредним теперь для каждого выбранного  $S_j$  показатель окупаемости по всем погодным реализациям, вводя вероятности погодных ситуаций  $p^V$ :

$$\bar{\Phi}(S_j) = \sum_{v=1}^N p^V \cdot \Phi(S_j, \xi^V) \quad 1$$

Далее выбираем из набора  $\bar{\Phi}(S_j)$  максимальное значение, определяя тем самым сезонную нагрузку –  $S^*$  при которой получаем максимальные значение показателя окупаемости:

$$\bar{\Phi}(S^*) = \max_{S_j} \bar{\Phi}(S_j). \quad 2$$

На втором этапе регулирования показателя окупаемости  $\Phi(S_j, V(T(\xi)))$  будем не только выбором  $S$ , но и режимом эксплуатации дождевальнoй машины через оптимизацию в данном случае чистого вре-

мени работы ДМ –  $T^*(\xi)$ .

Формула запишется следующим образом:

$$\max_{T(\xi)} \Phi(S_j, V(T(\xi))) = \Phi(S_j, V(T^*(\xi))) \quad 3$$

Предполагая, что  $\bar{\Phi}(S^*) = \max_{S_j} \bar{\Phi}(S_j) = \Phi(S_k)$ , тогда оптимальной сезонной нагрузкой будет площадь  $S_k = S^*$ . Усреднение, по существующим погодным условиям, показателей окупаемости для различных вариантах сезонной нагрузки на дождевальную машину производится таким же образом и при непрерывном распределении вероятности случайной величины дефицита водопотребления  $\xi$ .

Таким образом, выражение для усредненного показателя окупаемости при заданной непрерывной функции распределения  $\xi$  принимает вид:

$$\bar{\Phi}(S_j) = \int_{\Sigma} \bar{\Phi}(S_j, x) \cdot f_{\xi}(x) dx, \quad 4$$

где

$f_{\xi}(x)$  – плотность распределения  $\xi$ ;

$\Sigma$  – область определения  $\xi$ .

Оптимизация в этом случае заключается в следующем представлении выражения (4):

$$\bar{\Phi}(S^*) = \max_{S_j} \int_{\Sigma} \bar{\Phi}(S_j, V(T(x))) \cdot f(x) dx \quad 5$$

Структура области определения  $\xi$  играет важную роль при моделировании. С учетом технико-экономической специфики, задающей области определения  $\xi$  и другие параметры, построим модель, соответствующую постановке задач. Для оценки экономического ущерба от недополива будем использовать функцию  $\Psi(y)$ , где  $y(S, \xi) = \xi - N_{\text{сез}}(S, \xi)$  – величина недополива. При этом  $N_{\text{сез}}(S, \xi) = V(T(\xi))/S$ , так что оптимальное решение второго этапа имеет вид  $N_{\text{сез}}(S, \xi) = V(T(\xi))/S$ .

Случайная функция показателя окупаемости капитальных затрат запишется в следующем виде:

$$\Phi(S, N_{\text{сез}}(S, \xi), \xi) = \begin{cases} -\frac{\varepsilon \cdot f_0}{S}, & -\infty < \xi \leq 0 \\ \Phi_{\text{max}}(\xi) - \frac{\varepsilon \cdot f_0}{S}, & 0 < \xi \leq 0 \\ \Phi_{\text{max}}(\xi) - \psi([\xi - N_{\text{сез}}(S, \xi)]) \frac{\varepsilon \cdot f_0}{S}, & N(S, \xi) < \xi < +\infty \end{cases} \quad 6$$

где:

$f_0$  – капитальные затраты на модернизацию и приобретение ДМ и устройство подводящей сети в стоимостном выражении, руб;

$\varepsilon$  – коэффициент приведения капитальных затрат;

$\Phi_{\text{max}}(\xi)$  – максимальный удельный дополнительный чистый доход при полном удовлетворении потребности, руб/га;

$\psi([\xi - N_{\text{сез}}(S, \xi)])$  – величина удельного ущерба от недополива, руб/га:

$$\psi(y^+) = \begin{cases} 0, & y \leq 0 \\ \psi(y), & y > 0 \end{cases} \quad 7$$

Реализация показателя окупаемости предусматривает три варианта по влагообеспеченности оросительного сезона – влажные, умеренно сухие, сухие годы. В первом случае, когда годы влажные, дефицит водопотребления минимален, т.к. потребность в воде культуры полностью удовлетворяется за счет осадков, затраты на приобретение и эксплуатацию дождевальной машины не окупаются и войдут в функционал в виде ущерба. Во втором случае, умеренно сухие годы, когда существующий дефицит водопотребления может быть покрыт производительностью дождевальной машиной –  $N_{\text{сез}}(S, \xi)$ , величина показателя окупаемости будет равна разности между максимально возможным дополнительным чистым доходом от орошения и приведенными капитальными затратами. В засушливые годы, когда дефицит водопотребления не может быть компенсирован использо-

ванием дождевальной машины производительностью  $N_{\text{сез}}(S, \xi)$  и есть величина рассогласования между потребным и возможным режимами водоподдачи –  $[\xi - N_{\text{сез}}(S, \xi)]$ , появляется ущерб от недополива –  $\psi(y)$ .

Оба этапа решения задачи – оптимизацию выбора  $S$  и оптимизацию использования дождевальной машины –  $N_{\text{сез}}(S, \xi)$  объединяем в один, и получим постановку двухэтапной задачи стохастического программирования:

$$\Phi(S^*) = \max_S M_{\xi} [\Phi(S, N(S, \xi), \xi)] = \max_{S_j} \left\{ -\frac{\varepsilon f_0}{S} + M_{\xi} [\max_{N(S, \xi)} \Phi(S, N(S, \xi), \xi)] \right\} \quad 8$$

где

$\Phi(S^*)$  – величина оптимального показателя окупаемости; она соответствует использованию дождевальной машины на площади  $S^*$ , руб;

$S^*$  – оптимальная величина сезонной нагрузки на ДМ, га;

$\Phi(S, N(S, \xi), \xi)$  – функция удельного дополнительного чистого дохода без учета приведенных капитальных затрат из (6);

$M_{\xi}$  – символ математического ожидания  $S^*$ .

Совершенствуя технические и технологические характеристики дождевальной машины (скорость перемещения, время работы на позиции), появляется возможность обеспечить поливной режим соответствующий оптимальной потребности в конкретной погодной ситуации, т.е.  $N_{\text{сез}}(S, \xi)$ , выбранном на втором этапе.  $N(S)$  определяется как математическое ожидание  $N_{\text{сез}}(S, \xi)$ .

Тогда случайную функцию показателя окупаемости можно записать в следующем виде:

$$\Phi(S, \xi) = \begin{cases} -\frac{\varepsilon \cdot f_0}{S}, & -\infty < \xi \leq 0 \\ \Phi_{\max}(\xi) - \frac{\varepsilon \cdot f_0}{S}, & 0 < \xi \leq N_{\text{сез}}(S) \\ \Phi_{\max}(\xi) - \psi([\xi - N(S)]) - \frac{\varepsilon \cdot f_0}{S}, & N_{\text{сез}}(S) < \xi < +\infty \end{cases} \quad 9$$

Таким образом, задача (7) сводится к тому, чтобы варьируя параметром  $S$ , добиться наилучшего соответствия случайного дефицита водопотребления  $\xi$  и производительности дождевальной машины –  $N_{\text{сез}}(S)$  и формула (7) преобразуется к виду:

$$\Phi^* = \Phi(S^*) = \max_S M_{\xi} [\Phi(S, \xi)] \quad 10$$

Решением данной формулы является оптимальный показатель окупаемости капитальных вложений дополнительным чистым доходом –  $\Phi^*$  и, соответствующая ему, сезонная нагрузка на дождевальную машину –  $S^*$ .

Следует отметить, что задача максимизации показателя окупаемости в формуле (10) сводится к минимизации затратной части показателя окупаемости –  $\Phi(S)$ :

$$\Phi^* = \Phi(S^*) = \max_S M_{\xi} [\Phi(S, \xi)] = \bar{\Phi}_{\text{max}} - \min_S \bar{\Phi}(S) \quad 11$$

где

$\bar{\Phi}_{\text{max}}$  – средний ожидаемый дополнительный чистый доход при оптимальных условиях увлажнения, руб/га;

$\bar{\Phi}(S)$  – средние ожидаемые потери в дополнительном чистом доходе от недополива и приведенные капитальные затраты на приобретение ДМ и устройство подводящей сети, руб/га.

Результирующее соотношение модели (10), из которого получается величина сезонной нагрузки на дождевальную машину, имеет вид:

$$F_{\xi} = (N(S^*)) = 1 - \frac{s \cdot f_0}{c \cdot V} \quad 12$$

где

$N$  – производительность дождевальной машины, м<sup>3</sup>/га;

$V$  – объём воды, подаваемый дождевальной машиной на обслуживаемую ею площадь за сезон, м<sup>3</sup>;

$S^*$  – оптимальная величина сезонной нагрузки на дождевальную машину, га;

$f_0$  – капитальные вложения на приобретение и усовершенствование

дождевальную машины и устройство подводящей сети, руб;

$\varepsilon$  – коэффициент приведения капитальных вложений;

$c$  – удельный (на 1 т м<sup>3</sup>) ущерб от недополива, руб/га;

$F_{\xi} = (N(S^*))$  - функция распределения вероятности дефицита водопотребления в точке области значений  $N(S^*)$ .

Проанализируем полученное (12) уравнение.

Вероятный смысл  $F_{\xi} = (N_{\text{сез}}(S^*))$  следующий:

$$F_{\xi} = (N_{\text{сез}}(S^*)) = P(\xi < N_{\text{сез}}(S^*)) = 1 - P(\xi > N_{\text{сез}}(S^*)), \quad 13$$

где

$P$  – символ вероятности.

Функция распределения  $\xi$  в точке  $N_{\text{сез}}(S^*)$  численно равна вероятности того, что дефицит водопотребления  $\xi$  будет покрыт производительностью ДМ  $N_{\text{сез}}$  при сезонной нагрузке  $S^*$ . То же самое можно записать через вероятность противоположного события –  $P(\xi > N_{\text{сез}}(S^*))$ .

С другой стороны, из  $F_{\xi}(N(S^*)) = 1 - \frac{\varepsilon \cdot f_0}{c \cdot V}$ .

Таким образом  $P_{\xi}(\xi > N_{\text{сез}}(S^*)) = \frac{\varepsilon \cdot f_0}{c \cdot V}$  - численное значение вероятности дефицитной ситуации, когда производительность ДМ  $N_{\text{сез}}(S^*)$  не покрывает дефицита водопотребления  $\xi$ .

Из предложенной модели оптимизации величины сезонной нагрузки на ДМ (13) вытекает вывод: экономически оптимальная сезонная нагрузка на дождевальную машину определяется равенством отношения приведенных капитальных затрат к величине потерь при отказе от приобретения или технологического усовершенствования дождевальных машин, т. е. вероятности того, что дефицит водопотребления не будет покрыт производительностью дождевальной машины.

По экономическому смыслу, произведение в числителе модели (12)  $\varepsilon \cdot f_0$ , это приведенные капитальные затраты на техническое и технологи-

ческое усовершенствование дождевальной машины, производительностью, определяемой ее рабочей характеристикой –  $V$ . Поскольку знаменатель в модели (12)  $c \cdot V$  – оценка потерь в случае, отказа от неиспользования дождевальной машины, то отношение  $\frac{\varepsilon \cdot f_0}{c \cdot V}$  есть показатель, характеризующий отношение экономического риска от излишних затрат на более совершенную машину, с одной стороны, и излишних потерь от отказа от использования более совершенной дождевальной машины – с другой. При  $\frac{\varepsilon \cdot f_0}{c \cdot V} \leq 1$ , поскольку  $\varepsilon \cdot f_0 > c \cdot V$  означало бы, что затраты на совершенную дождевальную машину заведомо не оправдываются, и задача не имела бы смысла. Оптимальное соотношение риска того и другого рода и определяет выбор обоснованной нагрузки на ДМ, когда это отношение равно вероятности полного покрытия дефицита. Отсюда можно сделать вывод о содержательной интерпретации правой части формулы (12). Численное значение разности  $1 - \frac{\varepsilon \cdot f_0}{c \cdot V}$  имеет смысл при оптимальной расчётной обеспеченности покрытия дефицита водопотребления культур, применительно к выбранной дождевальной машине.

### Литература

1. Щедрин В. Н., Писменский В. Р., Селюков В. И. Математическое моделирование при оптимизации использования ресурсов орошаемого земледелия Нижнего Дона // Проблемы и перспективы развития орошаемого земледелия: сб. науч. тр. / ГУ «Юж-НИИГИМ». – Вып. № 30. Новочеркасск: ЮРГТУ (НПИ), 2000. – С. 24.
2. Кардаш В. А. Экономика оптимального погодного риска в АПК. – М. : Агропромиздат, 1989. – С. 72.