

Применение имитационного моделирования при создании планов водораспределения на примере Садковской оросительной системы

М.А. Ляшков, аспирант, С.М. Васильев, д. т. н., Ю.Е. Домашенко, к. т. н., ФГБНУ РосНИИПМ

Сельское хозяйство является главным потребителем водных ресурсов, используя до 30% от общего забора воды в народном хозяйстве, а на орошение и обводнение расходуется около 70% от водозабора на нужды агропромышленного комплекса. Сельское хозяйство должно развиваться при постоянном уменьшении удельного водопотребления за счёт рационального использования воды на

основе модернизации оросительных систем, совершенствования систем управления и контроля, применения водознергосберегающих экологически безопасных технологий и техники орошения [1].

Использование воды на орошение осуществляется на основании внутривозделного и системного планов водопользования, регулирующих забор воды из источника и транспортировку по каналам межхозяйственной оросительной сети до потребителей, распределение воды между хозяйствами и внутри них [2].

При составлении плана водораспределения в оросительной системе существует необходимость уменьшения лимитов подачи воды водопользователям таким образом, чтобы экономический ущерб от потери урожайности орошаемых сельскохозяйственных культур от недополива был минимальным. На практике в данной ситуации зачастую корректируют планы водопользования приближённо, полагаясь на опыт и интуицию [2]. Однако в засушливые годы при орошении овощных севооборотов такой подход может привести к существенным потерям урожая.

Повышение качества планирования и управления водораспределением будет способствовать уменьшению потерь и более эффективному использованию водных ресурсов [3].

Основой имитационного моделирования является разрабатываемая математическая модель, сама запись которой отлична от привычных оптимизационных моделей. Одна из основных трудностей при построении математической модели для проведения имитационных экспериментов – это построение формализованной схемы исследуемой оросительной системы [4].

Целью исследования является разработка математической модели для создания планов водораспределения на примере Садковской оросительной системы, которые обеспечат эффективное использование водных ресурсов.

Материал и методы исследования. Для обеспечения имитационного моделирования используют средства математического описания объекта управления, которые представлены в виде математических моделей, описывающих поведение процессов, происходящих в системе [4].

Отличительными особенностями данного подхода являются потоки заявок на обслуживание, поступающие в случайные моменты времени, и каналы обслуживания заявки, время обслуживания, которое также может быть случайной величиной. При составлении планов водопользования, когда накладываются ограничения на её параметры, возникает вопрос о величине потоков заявок, которые может обслужить система, или какой интенсивностью должны обладать оросительные каналы, чтобы обеспечить необходимое качество обслуживания заданных потоков заявок, и множество других вопросов [5].

Результаты исследования. Рассмотрим основные понятия системы распределения заявок, её характеристики. На рисунке 1 представлена структурная схема системы распределения заявок.

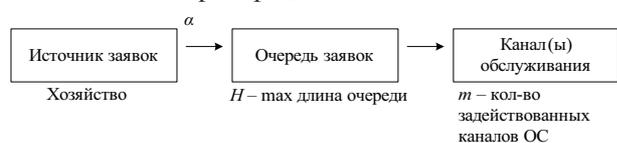


Рис. 1 – Структурная схема системы распределения заявок водопотребителей

Примем некоторую структурную кодировку системы распределения заявок водопотребителей:

- характеристики входного потока заявок:
- I – интервал времени между поступающими заявками;
- α – количество поступающих заявок.
- характеристики каналов обслуживания заявок:
- t – время обслуживания заявки оросительным каналом;
- $\mu\eta$ – количество обслуживающих заявок;
- m – количество задействованных каналов.
- характеристики очереди:
- H – максимально допустимое количество заявок;
- A – дисциплина очереди:
- первая заявка обслуживается первой;
- последняя заявка обслуживается первой;
- с приоритетами;
- случайный выбор из очереди.

Описание системы распределения заявок водопотребителей включает задание её параметров ($L, \alpha, t, \eta, m, H, A$).

Основные характеристики системы распределения заявок:

- l_s – среднее количество заявок по системе;
- V_s – среднее время заявки по системе;
- l_q – среднее количество заявок;
- V_q – среднее время ожидания заявок в очереди;
- $R_{отк}$ – вероятность отказа в обслуживании;
- R_0 – вероятность того, что в системе отсутствуют заявки (время простоя оросительных каналов).

Производные характеристики:

- $H - l_q$ – среднее число свободных мест в очереди заявок;
- $l_s - l_q$ – среднее число занятых каналов;
- $m - l_s - l_q$ – среднее число свободных (простаивающих) каналов;
- $\alpha_{эфф} = \alpha - R_{отк}$ – эффективное количество обслуживающих заявок.

Рассмотрим задачи планов водопользования в условиях взаимопомощи водохозяйственных каналов:

- (а) – все каналы обслуживают одну заявку до тех пор, пока не закончат;
- (б) – равномерная взаимопомощь (равномерно обслуживаются все заявки, находящиеся в системе).
- (с) – без взаимопомощи.

Рассмотрим случаи, когда при взаимопомощи оросительных каналов общая интенсивность обслуживания системы распределения заявок (СРЗ) линейно зависит от числа каналов:

$$\eta_{СРЗ} = \eta \cdot m, \tag{1}$$

где η – интенсивность обслуживания одним оросительным каналом.

Введём обозначение:

$$\sigma = \frac{\alpha}{\eta}; \tag{2}$$

$$\varepsilon = \frac{\sigma}{m}. \quad (3)$$

Для определения характеристик данной системы распределения заявок воспользуемся формулами:

$$R_0 = \left(\sum_{k=0}^{m-1} \frac{\sigma^k}{k!} + \frac{\sigma^m}{m} \frac{1}{1-\varepsilon} \right)^{-1}; \quad (4)$$

$$R_{отк} = 0; \alpha_{эфф} = \alpha; R_m = R_0 \frac{\sigma^m}{m!}. \quad (5)$$

Рассмотрим основные характеристики системы распределения заявок водопотребителей $l_s, l_q, V_s, v_q, R_{отк}$ при различных вариантах взаимопомощи.

1. Система распределения заявок с неограниченной очередью.

Вариант (с) – система распределения заявок без взаимопомощи.

На рисунке 2 представлена структурная схема системы распределения заявок с неограниченной очередью для варианта (с).

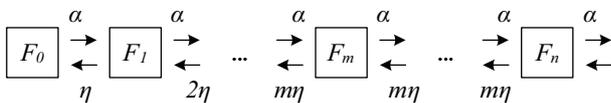


Рис. 2 – Структурная схема системы распределения заявок с неограниченной очередью для варианта (с)

Очередь начинается после состояния F_m .

Для расчёта $l_s^{(c)}, V_s^{(c)}, l_q^{(c)}, V_q^{(c)}$ используем формулы:

$$l_q^{(c)} = R_0 \frac{\sigma^m}{m} \frac{1}{1-\varepsilon^2}; \quad (6)$$

$$V_q^{(c)} = \frac{l_q}{\alpha}; \quad (7)$$

$$V_s^{(c)} = V_q + \frac{1}{\alpha}; \quad (8)$$

$$l_s^{(c)} = \alpha V_s = l_q + \frac{\alpha}{\eta}. \quad (9)$$

Вариант (а) – система распределения заявок, когда все каналы обслуживают одну заявку.

На рисунке 3 представлена структурная схема системы распределения заявок с неограниченной очередью для варианта (а).

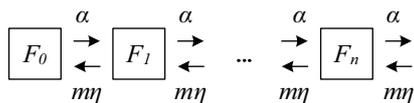


Рис. 3 – Структурная схема системы распределения заявок с неограниченной очередью для варианта (а).

Очередь начинается после состояния F_1 .

Вариант (б) – система распределения заявок с равномерной взаимопомощью.

На рисунке 4 представлена структурная схема системы распределения заявок с неограниченной очередью для варианта (б).

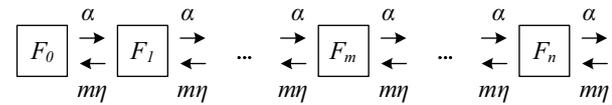


Рис. 4 – Структурная схема системы распределения заявок с неограниченной очередью для варианта (б)

Очередь начинается после состояния F_m .

Отметим, что размеченные схемы для обоих вариантов взаимопомощи одинаковые, из чего следует, что предельные вероятности состояний одинаковые ($i = 1, 2, \dots, n$)

$$R1 = R0 \cdot \left(\frac{\alpha}{m\eta} \right)^i.$$

Это означает, что и равны для (а) и (б) вариантов взаимопомощи. Для их расчёта следует использовать формулы одноканальной системы распределения заявок с неограниченной очередью, заменив в них η на $m\eta$:

$$l_s = \frac{\sigma}{1-\sigma}; \quad (10)$$

$$V_s = l_s / \alpha = \frac{\alpha}{m\eta(1-\frac{\alpha}{m\eta})} = \frac{1}{m\eta - \alpha}. \quad (11)$$

Для расчёта $l_q^{(a)}, V_q^{(a)}$ следует использовать формулы одноканальной системы распределения заявок с неограниченной очередью, заменив в них η на $m\eta$:

$$V_q^{(a)} = V_s - \frac{1}{m\eta} = \frac{1}{m\eta - \alpha} - \frac{1}{m\eta} = \frac{\alpha}{m\eta(m\eta - \alpha)}; \quad (12)$$

$$l_q^{(a)} = \alpha \cdot V_q = \frac{\alpha^2}{m\eta(m\eta - \alpha)}. \quad (13)$$

Отметим, что:

$$l_q^{(a)} = \varepsilon \cdot l_s^{(a)}. \quad (14)$$

Средняя длина очереди для равномерного варианта взаимопомощи определяется выражением:

$$l_q^{(b)} = \varepsilon^m \cdot l_s^{(b)}. \quad (15)$$

Рассмотрим формирование планов водопользования на примере Садковской оросительной системы, которая имеет пять внутрихозяйственных оросительных каналов. Интенсивность поступающих заявок от хозяйств на сезонное обслуживание составляет 6 заявок в день. Обслуживание одной заявки длится в среднем 12 часов.

Рассчитаем основные характеристики системы, которые помогут составить планы водопользования с более эффективным использованием водных ресурсов.

Основываясь на данных, мы имеем:

– количество задействованных оросительных каналов, $m = 5$;

– количество поступающих заявок, $\alpha = 6$;

– количество обслуживающих заявок, $\eta = 2$.

На первом этапе используем формулу (2):

$$\sigma = \frac{6}{2} = 3.$$

Количество заявок в системе не будет возрастать до бесконечности, так как:

$$\varepsilon = \frac{\sigma}{m} = \frac{3}{5} = 0,6, 0,6 < 1.$$

Далее определяем время простоя внутрихозяйственных каналов по формуле (4):

$$R_0 \left(1 + \sigma + \frac{\sigma^2}{2!} + \frac{\sigma^3}{3!} + \frac{\sigma^4}{4!} + \frac{\sigma^5}{5!} + \frac{\sigma^6}{5!(m-\sigma)} \right)^{-1} \approx 0,05, \text{ сут.}$$

Определим среднее количество заявок по формуле (6):

$$l_q^{(c)} = 0,05 \frac{3^5}{5!} \frac{0,6}{1-0,6} = 0,09.$$

При определении среднего количества заявок в системе l_q установили, что их количество не будет возрастать до бесконечности, при этом среднее время простоя внутрихозяйственных каналов составило 0,05 сут. Среднее количество заявок в ходе расчётов составило 0,09.

Данные вычисления являются началом в системе распределения заявок водопотребителей для составления планов водопользования.

Определив основные характеристики системы распределения заявок по каждому из трёх вариантов и сравнив их показатели, можно выбрать наиболее подходящий вариант взаимопомощи для составления планов водопользования, который будет способствовать наиболее рациональному использованию водных ресурсов.

Вывод. В ходе исследований разработана математическая модель по распределению заявок водопотребителей, которая используется для создания планов водораспределения на примере Садковской оросительной системы. Составленные планы водораспределения позволяют наиболее эффективно использовать возможности оросительной системы для обеспечения необходимого качества обслуживания заданных потоков заявок по распределению воды между водопотребителями.

В условиях дефицита водных ресурсов оптимальное управление водораспределением на оросительной системе обеспечивает водопотребителей водой при минимально необходимых расходах, что позволяет иметь разнообразные подходы к режимам орошения овощных севооборотов.

Литература

1. Раткович Л.Д. Основы рационального водопользования и управления водохозяйственными системами. М.: МГУП, 2012. 445 с.
2. Епихин В.К., Кошкин В.В., Миллеров К.В. Составление и проведение планов водопользования. Душанбе: Ирфон, 1970. 214 с.
3. Ольгаренко В.И. Временные рекомендации по составлению и проведению планов водопользования на оросительных системах Ростовской области. Новочеркасск, 1975. 75 с.
4. Айвозян С.А., Енюков И.С., Мешалкин Л.Д. Основы моделирования и первичная обработка данных. М.: Финансы и статистика, 1983. 471 с.
5. Матвеев В.Ф., Ушаков В.Г. Системы массового обслуживания. М.: Изд-во МГУ, 1984. 242 с.