

АГРОПРОМЫШЛЕННАЯ ИНЖЕНЕРИЯ

УДК 631.672.4

АЛГОРИТМ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВОДНЫХ РЕСУРСОВ МЕСТНОГО СТОКА ДЛЯ РЕГУЛЯРНОГО ОРОШЕНИЯ

В.В. Васильев, ассистент

Кубанский государственный аграрный университет

В статье представлен алгоритм решения задачи использования водных ресурсов местного стока для регулярного орошения. Предложен общий вид критерия оптимизации применения водных ресурсов местного стока для орошения на стадии обоснования проектных решений.

Ключевые слова: имитационная модель, местный сток, орошение.

Необходимость экономного расходования воды в южных районах страны сказалась на перспективе интенсификации использования вод местного стока для регулярного орошения [1-3, 5]. Но проектирование водохозяйственных объектов по использованию местного стока связано с выбором основной характеристики стохастичности расчетного процента обеспеченности стока. С величиной расчетного процента обеспеченности связаны функциональной зависимостью такие элементы любого критерия экономической эффективности, как доход, капитальные и текущие затраты. Поэтому целесообразно с выбором расчетного процента обеспеченности связывать нахождение экстремального значения некоторого экономического критерия. В таком подходе и отражается принцип оптимального планирования применительно к этой частной задаче проектирования орошения на местном стоке [4].

Дефицит пресной воды в бассейнах южных рек требует такого распределения водных ресурсов местного стока, которое было бы оптимальным с точки зрения экономической эффективности, это приводит к необходимости построения имитационной модели.

Модель строится в следующих предположениях:

1. Оптимальное распределение водных ресурсов определяется для генерального уровня развития ирригации в бассейне.
2. Обеспеченность стока считается известной.
3. Техническая схема использования водных ресурсов бассейна считается заданной, т.е. определены возможные к строительству системы и технические решения задачи строительства каждой из систем.
4. Территорию, обслуживаемую системой, можно разбить на агроэкономические зоны, внутри которых распределение материальных ресурсов, дополнительный выход каждого из видов продукции, оросительные (обводнительные) нормы и издержки производства постоянны.
5. Заранее определен перечень рекомендуемых для каждой сельскохозяйственной зоны севооборотов.

Далее системам присваивается индекс i , $i = 1, \dots, n$, зонам внутри систем присваивается индекс j , $j = 1, \dots, m(i)$.

Поскольку основные показатели связываются с величиной орошаемой площади, то последнюю удобно выбрать в качестве переменной задачи, дифференцировав ее по

трем группам индексов i , j и l . X_{ijl} – величина орошаемой площади на i -системе в j – зоне, занятой под l -севооборот. Величина $\sigma_{ijl} \cdot X_{ijl}$, где под σ_{ijl} – понимается соответствующая оросительная норма, является полезным объемом воды, поданным за один производственный цикл на площадь X_{ijl} .

Очевидно, что сумма всех полезных объемов еще не характеризует водораспределения бассейна, так как важной статьей водного баланса являются потери в системах. Поэтому представляется целесообразным ввести дополнительные переменные y_{ij} , которые выражают величину коэффициента полезного действия участка i – системы, размещенного в j -зоне.

Помимо перспективных ирригационных систем, в бассейне имеются действующие системы, обслуживающие орошаемые площади. Чтобы иметь возможность объективного суждения о степени использования старых систем, следует рассматривать орошаемые площади на старых системах как переменные X_{ijl}^* и, учитывая возможность реконструкции элементов существующей системы с целью повышения КПД, аналогично предыдущему КПД участка i -системы в j -зоне рассматривается как переменная y_{ij}^* ; таким образом, каждой j -зоне, обслуживаемой i -системой, соответствуют два вектора X_{ij}^* и два значения КПД y_{ij} и y_{ij}^* , где X_{ijl}^* отличны от нуля только в том случае, если в j -зоне имеются орошаемые участки.

Предполагается, что в одной зоне нет объективных причин для того, чтобы старая система и новая имели различный КПД, за исключением того случая, когда КПД уже существующей системы выше, чем оптимальный КПД новой системы.

В аналитическом виде это условие записывается следующим образом:

$$y_{ij}^* = \begin{cases} P_{ij}^* | y_{ij} \leq P_{ij}^* \\ y_{ij} | P_{ij}^* < y_{ij} < \overline{Q}_{ij}^* \\ \overline{Q}_{ij}^* | y_{ij} > \overline{Q}_{ij}^* \end{cases} \quad (1)$$

где P_{ij}^* – существующие значения КПД старой i -системы в j - зоне.

При этом предполагается, что всегда $P_{ij} \leq P_{ij}^*$, $\overline{Q}_{ij} \geq \overline{Q}_{ij}^*$.

Для отражения связи величин объемов используемых для орошения ресурсов местного стока с остальными элементами производственной базы вводится некоторая функция, которая показывает, какие среднегодовые расчетные затраты потребуются для производства продукции, недополученной хозяйством, если ее производить в другом месте, либо другим способом. В дальнейшем эта функция будет именоваться среднегодовыми приведенными затратами по дополняющему варианту. В общем виде целевую функцию можно записать:

$$\Phi = \sum_{i=1}^n E_i K_i + \sum_{i,j,l} I_{ijl} + \sum_{i,j,l} L_{ijl}, \quad (2)$$

где Φ – суммарные капвложения на строительство или реконструкцию системы.

$$E_i = E_0 + \lambda_i, \quad (3)$$

где E_0 – нормативный коэффициент эффективности капвложений. По данным [1], в настоящее время рекомендуется принимать: $E_0 = 0,15$; λ_i – коэффициент амортизационных отчислений по системе в целом; I_{ijl} – себестоимость производства продукции по l -севообороту в j -зоне на i -системе; L_{ijl} – среднегодовые приведенные затраты по дополняющему варианту, необходимые для компенсации продукции, недополученной на i -системе в j -зоне по l -севообороту.

Для построения функции цели необходимо выразить входящие в нее составляющие в аналитической виде. Капиталоемкими элементами системы являются:

- регулирующее сооружение;
- магистральный канал с водозабором;
- межхозяйственная сеть;
- внутривоспользовательная сеть;
- обводнительная сеть;
- мелиоративная подготовка земель.

Капитальные вложения на строительство или реконструкцию регулирующего сооружения могут быть представлены в виде неубывающей функции от объема отдачи сооружения:

$$G_i \left[\sum_{j=q(i)}^m \left(\frac{I}{y_{ij}} \sum_{l=1}^q \sigma_{ijl} x_{ijl} + \frac{I}{y_{ij}^*} \sum_{l=1}^{q^*} \sigma_{ijl}^* x_{ijl}^* \right) \right], \quad (4)$$

где $q(i)$ – номер зоны, начиная с которой оказывает воздействие регулирующее сооружение; σ_{ijl} – оросительная норма на i -системе в j -зоне для l -севооборота.

Функция G_i в каждом случае должна быть задана в нескольких наиболее характерных точках, в которых для этой цели проводятся сметные расчеты на год окончания строительства. Значения G_i в промежуточных точках могут быть получены путем построения интерполяционных формул. Значения капвложений умножаются на коэффициент $(E_0 + \lambda_i^{(\delta \partial x)})$.

В результате суммирования капитальных вложений по индексам i и j целевую функцию можно представить в виде:

$$\begin{aligned} \Phi(x, x^*, y, y^*) = \sum_{i=1}^n \left\{ G_i \left[\sum_{j=q(i)}^{m(i)} \left(\frac{1}{y_{ij}} \sum_{l=1}^{q(ij)} \sigma_{ijl} x_{ijl} + \frac{1}{y_{ij}^*} \sum_{l=1}^{q^*(ij)} \sigma_{ijl}^* x_{ijl}^* \right) \right] + \sum_{j=1}^{m(i)} (\delta_{ij} C_{ij} + \sum_{l=1}^{q(ij)} B_{ijl} x_{ijl}) H\left(\frac{y_{ij}}{\theta_{ij}}\right) + \right. \\ \left. + \sum_{j=1}^{m(i)} (C_{ij}^* + \sum_{l=1}^{q^*(ij)} B_{ijl}^* x_{ijl}^*) H^*\left(\frac{y_{ij}^*}{\theta_{ij}^*}\right) + \sum_{j=1}^{m(i)} \left(\sum_{l=1}^{q(ij)} \gamma_{ijl} x_{ijl} + \sum_{l=1}^{q^*(ij)} \gamma_{ijl}^* x_{ijl}^* \right) \right\}. \end{aligned} \quad (5)$$

где G_i – функция, выражающая зависимость капитальных вложений, приведенных в год окончания строительства аккумулялирующей местный стокнакопительной емкости и умноженных на коэффициент $(E_0 + \lambda_i^{(\delta \partial x)})$, от полезного объема отдачи воды; δ_{ij} – является функцией пропускаемого по каналу объема воды и принимает только два значе-

ния 0 или 1; H – функции, выражающие зависимость капитальных вложений от КПД системы; H^* – функция, выражающая изменения стоимости реконструкции канала с изменением КПД системы с учетом изменения стоимости на строительство канала с изменением КПД системы; y_{ij}, y_{ij}^* – определяются по выражению (1).

Остальные составляющие целевой функции могут быть вычислены по следующим формулам:

$$\left. \begin{aligned} C_{ij} &= (E_0 + \lambda_i) B_{ij} \\ C_{ij}^* &= (E_0 + \lambda_i) B_{ij}^* \end{aligned} \right\} \quad (6)$$

$$\left. \begin{aligned} B_{ij} &= (E_0 + \lambda_i) (d_{ijl}^{(\mu c)} + d_{ijl}^{(ec)}) \\ B_{ij}^* &= (E_0 + \lambda_i) (d_{ijl}^{(\mu c)*} + d_{ijl}^{(ec)*}) \end{aligned} \right\} \quad (7)$$

$$\left. \begin{aligned} \gamma_{ijl} &= (E_0 + \lambda_i) (l_{ijl}^{(up)} + l_{ijl}^{(cx)}) + \tau_{ijl} - \sum_{t=1}^T x^{(t)} d_{ijl}^{(t)} a_{ijl}^{(t)} \\ \gamma_{ijl} &= (E_0 + \lambda_i) (l_{ijl}^{(up)} + l_{ijl}^{(cx)}) + \tau_{ijl} - \sum_{t=1}^T x^{(t)} d_{ijl}^{(t)} a_{ijl}^{(t)} \\ \gamma_{ijl} &= \tau_{ijl}^* - \sum_{t=1}^{T^*} x^{(t)} d_{ijl}^{(t)} a_{ijl}^{(t)} \end{aligned} \right\} \quad (8)$$

Примечание I. Принципиально допустимо вместо общего по системе коэффициента амортизационных отчислений λ_i ; дифференцировать его по элементам системы, учитываемым в модели λ^μ , тогда в каждой из формул (6), (7), (8) этот коэффициент будет иметь свое значение:

Регулирующее сооружение – $\lambda_i^{(ex)}$.

Магистральный канал – $\lambda_i^{(\mu c)}$.

Межхозяйственная сеть – $\lambda_i^{(\mu c)}$.

Внутрихозяйственная сеть – $\lambda_i^{(ec)}$.

Мелиоративная подготовка земель – $\lambda_i^{(up)}$.

Сельхозосвоение земель – $\lambda_i^{(cx)}$.

Примечание II. Принятый закон при пропорциональности капитальных вложений на строительство и реконструкцию межхозяйственной сети в некоторых случаях может не соответствовать действительной зависимости. Тогда целесообразно выражать стоимость межхозяйственной сети, аналогично стоимости магистральных каналов, одной цифрой при том значении КПД, которое характеризуется равенством $y_{ij} = \theta_{ij}$ или

$$y_{ij}^* = P_{ij}^*.$$

В предложенную модель вводится система ограничений по водным, земельным и трудовым ресурсам:

1. Ограничения по водным ресурсам. Для каждого створа, соответствующего i - системе, задается объем воды V , который может быть использован сельскохозяйственной отраслью на i -системе и всех вышерасположенных системах.

$$\sum_{n=h(i)}^i \sum_{j=1}^{m(i)} \left(\frac{1}{y_{ij}} \sum_{l=1}^{q(ij)} \sigma_{ijl} x_{ijl} + \frac{1}{y_{ij}^*} \sum_{l=1}^{q^*(ij)} \sigma_{ijl}^* x_{ijl}^* \right) \leq V_i \quad i = I, \dots, n \quad (9)$$

Суммирование по i от $h(i)$ позволяет выделить тот случай, когда выше расположенные системы и i -система лежат на притоке основного водотока.

2. Ограничения на переменные. Сумма всех орошаемых площадей в каждой зоне не должна превышать некоторой площади S_{ijl}, S_{ijl}^* величина которой определяется либо земельными ресурсами, либо имеющимися трудовыми ресурсами.

$$\left. \begin{aligned} \sum_{l=1}^q x_{ijl} &\leq S_{ijl} \\ \sum_{l=1}^q x_{ijl}^* &\leq S_{ijl}^* \end{aligned} \right\} \forall_{ijl}. \quad (10)$$

Если имеется достаточно полная информация о каждой из агро-экономических зон, то вместо (10) более объективным будет наложение ограничений на каждую из переменных:

$$\left. \begin{aligned} x_{ijl} &\leq S_{ijl} \\ x_{ijl}^* &\leq S_{ijl}^* \end{aligned} \right\} \forall_{ijl}. \quad (11)$$

На переменные x_{ijl}, x_{ijl}^* накладываются условия не отрицательности:

$$\left. \begin{aligned} x_{ijl} &\geq 0 \\ x_{ijl}^* &\geq 0 \end{aligned} \right\} \forall_{ijl}. \quad (12)$$

Если какая-либо из переменных $x_{ijl} (x_{ijl}^*)$ имеет нижнюю границу, большую нуля $S_{ijl} (S_{ijl}^*) > 0$, то для сохранения ограничений в воде (12) следует ввести новые переменные: $Z_{ijl} = x_{ijl} - S_{ijl}; Z_{ijl}^* = x_{ijl}^* - S_{ijl}^*$ и использовать их всюду в модели, на переменные y_{ij} и y_{ij}^* накладываются двухсторонние ограничения:

$$\left. \begin{aligned} P_{ij} &\leq y_{ij} \leq \tilde{\theta}_{ij} \\ P_{ij}^* &\leq y_{ij}^* \leq \tilde{\theta}_{ij}^* \end{aligned} \right\}. \quad (13)$$

Таким образом, задача сводится к нахождению таких значений (x, x^*, y, y^*) , которые обеспечивают минимум функции (5), на множестве, определяемом неравенствами (9) -(13) при условии (1).

Пример расчета:

1) ресурс – площадь орошения; ресурс b_2 , недоиспользование площади орошения вследствие ограничения по местному стоку – дополнительная переменная x_{46} ;

а) площадь орошения равна $\bar{b}_1 = b_1 + \underline{x}_{47}$, где $\bar{x}_{47} = \min \left\{ \frac{b'_i}{a'_{i,47 < 0}} \right\}, i \in I^{\bar{a}z}$.

Тогда имеем: $\bar{x}_{47} = \min \left\{ \frac{364,81}{-1,86}, \frac{17209,77}{-17,1} \right\} = 196,1$, т. е. площадь орошения участка №

1 можно увеличить примерно на 196,1 га: $\bar{b}_2 = 1697 + 196 = 1893$ га.

б) площадь орошения равна $\underline{b}_1 = b_1 + \bar{x}_{47}$, где $\bar{x}_{47} = \min \left\{ \frac{b'_i}{a'_{i,47 < 0}} \right\}, i \in I^{баз}$.

Тогда имеем:

$$\bar{x}_{47} = \min \left\{ \frac{6576,17}{3,87}, \frac{106,6}{0,06}, \frac{106,6}{0,06}, \frac{424,26}{0,25}, \frac{212,13}{0,13}, \frac{530,32}{0,31}, \frac{381,85}{0,23}, \frac{6660,87}{3,93}, \frac{59,45}{2,11}, \frac{18083,99}{10,66} \right\} = 28,2,$$

т. е. площадь орошения участка № 1 можно уменьшить примерно на 28 га: $\underline{b}_2 = 1697 - 28 = 1669$ га.

Следовательно, оптимальное решение устойчиво относительно уменьшения площади орошения участка № 1 в пределах $1669 \text{ га} < b_2 < 1893 \text{ га}$.

В основу выбора расчетного процента обеспеченности положен принцип оптимальности, требующий того, чтобы любой искомый параметр обеспечивал наибольший экономический эффект. В качестве меры экономической эффективности следует рассматривать два критерия: срок окупаемости капитальных затрат и дополнительный чистый доход с учетом приведенных капитальных затрат. Конкретные модели и алгоритмы разработаны для обоих критериев, что позволяет при проектировании лучше учитывать возможности хозяйств в аспекте наличия доступных водных, земельных и трудовых ресурсов, планирующих использование местного стока для регулярного орошения.

Выводы:

1. Предложен общий вид критерия оптимизации (1), которым рекомендуется пользоваться при постановке оптимизационных задач.
2. Для общей задачи оптимального использования водных ресурсов местного стока на стадии обоснования проектных решений может быть использована математическая модель и алгоритм для численной реализации задачи.

Библиографический список

1. Васильев, С.М. Повышение устойчивости и эффективности использования агроландшафтов аридной зоны в условиях постоянного и циклического орошения [Текст] / С.М. Васильев. – Ростов н/Д, 2006. – 364 с.
2. Ольгаренко, В. И. Эксплуатация и мониторинг мелиоративных систем [Текст] / В.И. Ольгаренко, Г. В. Ольгаренко, В. Н. Рыбкин; под ред. чл.-корр. РАСХН В.И. Ольгаренко. – Коломна, 2006. – 391 с.
3. Оросительные системы России от поколения к поколению [Текст] : в двух частях / В.Н. Щедрин, А.В. Колганов, С.М. Васильев, А.А. Чураев. – Новочеркасск: ЮРГТУ (НПИ), 2013. – Ч. 1. – 395 с.
4. Оросительные системы России от поколения к поколению [Текст] : в двух частях / В.Н. Щедрин, А.В. Колганов, С.М. Васильев, А.А. Чураев. – Новочеркасск: ЮРГТУ (НПИ), 2013. – Ч. 2. – 262 с.
5. Овчинников, А.С. Рационализация средств водоучета для открытых каналов

оросительных систем [Текст]/ А.С. Овчинников, А.А. Пахомов, Н.А. Колобанова // Природообустройство. – 2011. – №1. – С. 34-41.

E-mail: mail@kubsau.ru