

УДК 004.942(631.17/.67)

UDC 004.942(631.17/.67)

**ОПТИМАЛЬНОЕ УПРАВЛЕНИЕ ГОЛОВНОЙ
ОРОСИТЕЛЬНОЙ НАСОСНОЙ СТАНЦИЕЙ**

Ярошко Владимир Михайлович
к. э. н., заместитель генерального директора
ООО НПК «ТЭТА», Краснодар, Россия

Никишова Марина Владимировна
к. т. н., доцент
*Кубанский государственный технологический
университет, Краснодар, Россия*

Приведена постановка, метод и результат решения
типовой задачи оптимального управления головной
оросительной насосной станцией. Указаны проблемы
ее внедрения в региональных АСУ
гидромелиоративных систем

Ключевые слова: МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ,
ОПТИМИЗАЦИЯ, ГИДРОМЕЛИОРАТИВНАЯ
СИСТЕМА, ГОЛОВНАЯ ОРОСИТЕЛЬНАЯ
НАСОСНАЯ СТАНЦИЯ,
АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА
УПРАВЛЕНИЯ

**OPTIMAL MANAGEMENT OF THE MAIN
IRRIGATION PUMPING STATION**

Yaroshko Vladimir Mikhailovich
Dr. Sc. Econ., Chief Executive manager
*Scientific production company «TETA», Krasnodar,
Russia*

Nikishova Marina Vladimirovna
Cand. Tech. Sci., senior lecturer
*Kuban State Technological University, Krasnodar,
Russia*

Statement, method and result of solution of typical
problem of control of main irrigation pumping system
are given. Problems of its adopting at regional
automatic control systems of irrigation and drainage
systems are shown

Keywords: MATHEMATICAL MODEL,
OPTIMISATION, IRRIGATION AND DRAINAGE
SYSTEM, MAIN PUMPING IRRIGATION
STATION, AUTOMATIC CONTROL SYSTEM

Общая характеристика НС как объекта управления

Основными и наиболее сложными объектами управления АСУ гидромелиоративных систем (ГМС) являются насосные станции разного типа и назначения, но по сложности оперативного управления, особо выделяются головные насосные станции (НС). Основная задача последних заключается в подаче в оросительный магистральный канал (МК) задаваемого, на данный момент времени, расчетного объема воды с соблюдением предельно допустимой степени ее минерализации (чистоты) для полива сельхозкультур участвующих в севообороте. Сложность ее реализации, в рамках оперативного управления головной НС в АСУ ГМС, определяется не только сложностью и частотой выдаваемых заданий от верхнего уровня управления ГМС, как результат решения более общей задачи водораспределения по ГМС, а сложностью структуры и технологической обвязки самой НС, что определяет различные технико-

экономические, экологические и даже социально-правовые требования и ограничения к качеству принимаемых управляющих решений.

Стационарные головные оросительные НС включают насосные агрегаты (НА) в составе: лопастных насосов различных марок и производительности, их трубной обвязкой с запорно-регулирующей арматурой, приводных двигателей и датчиков различных технологических параметров. Все НА объединены (технологически «обвязаны») в условные группы НА, забирающие воду из соответствующих аванкамер -ых подводящих каналов ($k =$) с разным, изменяющимся во времени, уровнем воды и степенью минерализации (плотностью) – (ρ) и подающие ее в оросительный магистральный канал (МК). Реализация оперативного плана водоподачи, в рамках АСУТП-НС, предполагает решение задачи выбора такого количества параллельно работающих НА, которое обеспечит на t - момент времени заданную подачу (расход) воды – (Q), учитывая напорные характеристики каждого -го НА ($i =$) из группы НА, подающих воду из -го канала - (Q_i), заданную степень минерализации перекачиваемой воды в МК – (ρ), а также параметры работы каждого НА: время его работы - (час), мощность электропотребления - (кВт), техсостояние, КПД и другие учитываемые технико-экономические параметры.

Решение такой задачи вручную, без наличия математической модели, соответствующего алгоритма ее решения и программно-технического инструментария в виде АСУТП-НС, крайне нерационально, что ведет к прямым и косвенным материальным и энергетическим затратам, как в процессе эксплуатации НС, так и ГМС в целом. Математическая модель такой задачи, решаемой в АСУТП-НС и АСУ ГМС, должна охватывать

разные технологические, технические, гидромелиоративные и экономические требования, условия и ограничения, но которые существенно затрудняют ее общую постановку, классификацию и выбор метода решения.

В данной работе показан поэтапный подход к постановке и решению этой общей задачи, используя прием последовательного конструирования решения. Он включает процесс построения модели общей задачи и подход к ее решению, используя, в основном, классические модели промежуточных, частных задач, применяя стандартные методы решения, реализуемые в рамках АСУТП-НС в режиме реального времени. Конечно, в приведенном упрощенном варианте ее постановки, упор сделан только на параметры, накладывающие самые основные ограничения на модель задачи, реализующие только функцию оперативного планирования НС. В реальных условиях, данная задача охватывает существенно больше входных и нормативно-справочных параметров, обеспечивающих автоматический режим ее решения в целом комплексе функциональных задач подсистемы «Управления НС», являющейся одной из основных подсистем АСУТП-НС.

Общая постановка задачи и последовательности ее решения

Учитывая разную степень минерализации воды в t - момент времени в подводящих каналах:

- в аванкамерах только сбросных каналах

$$\mu_k(t) \geq \mu(t) \text{ для } k = \overline{1, K};$$

- в аванкамере подающего канала из водоема с условно чистой водой (например, из р. Кубань), имеющей $\mu_k(t) < \mu(t)$, где k ;

необходимо в динамике обеспечить выполнение основного соотношения

$$\sum_{k=1}^K \mu_k(t) q_k = \mu \quad (1)$$

Из (1) вытекает, что плановый расход НА k группы должна быть определена как усредненная для всех подводящих каналов обратно-пропорциональная величина степени минерализации воды в том же канале

$$q_k = q/\mu_k(t) \sum_{k=1}^K (1/\mu_k) \quad (2)$$

Количество n_{ik} -ых НА - из группы k -го канала, реализующих расход q_{ik} , выразим уравнениями

$$\sum_{i=1}^{m_k} n_{ik} q_{ik} = q_k, \quad k = \overline{1, K} \quad (3)$$

$$n_{ik} = \text{целое} \quad (4)$$

Учитывая многовариантность решения уравнений (3)-(4), введем критериальные оценки вариантов плана водоподачи по k группе НА для выбора оптимального варианта реализации плановых расходов в виде целевых функций, например:

- минимум модуля суммарного отклонения планового расхода НА от заданного значения

$$\Delta q = |q - \sum_{i=1}^{m_k} n_{ik} q_{ik}| \rightarrow \min \quad (5)$$

- минимум суммарной мощности работы электродвигателей НА планируемых к работе -

$$P = \sum_{i=1}^{m_k} n_{ik} P_{ik} \rightarrow \min \quad (6)$$

- минимум суммарного времени работы НА планируемых к работе

$$T = \sum_{i=1}^{m_k} n_{ik} T_{ik} \rightarrow \min \quad (7)$$

Приведенная общая математическая модель задачи (1)-(7), относится к классу оптимизационных задач целочисленного линейного программирования (ЗЦЛП) с последовательно используемыми целевыми функциями (5)-(7). Ее решение может быть сведено к К-числу одномерных

ЗЦЛП (ОЗЦЛП), которые ввиду небольшой размерности реализуются методом прямого перебора (например, методом «ЛУВР» [1]). Учитывая заложенное в (3) условие типа «неравенство», возможный небаланс водоподачи (в меньшую сторону) по (k)-группам НА сбросных каналов равный

$$\Delta q = \sum_{k=1}^{K-1} (q_k - \sum_{i=1}^{m_k} n_{ik}),$$

может быть скомпенсирован соответствующим увеличением плана водоподачи из подводящего канала (с условно чистой водой - $\mu_k(t) <$). Для этого, исходное балансовое уравнение (3) подводящего канала запишем в виде

$$\sum_{i=1}^{m_k} n_{ik} q_{ik} \geq q_k \quad (8)$$

Учитывая и (4)-(7), решаем задачу аналогичную предыдущим ЗЦЛП. Возможный, и в этом случае, небаланс водоподачи (в большую сторону) компенсируется снижением производительности работающих НА, за счет постепенного понижения уровня воды в подводящих каналах и, соответственно, увеличения гидростатического столба перекачиваемой воды. При необходимости точного соблюдения основного баланса водоподачи НС, представленного уравнением

$$\sum_{k=1}^K q_k \quad (9)$$

возможный небаланс расхода компенсируется САУ одного НА из группы НА (на подводящем канале с условно-чистой водой) снабженного каскадно-частотным регулированием производительности по упрощенной схеме [2]. То есть реализуется возможность автоматического поддержания заданного расхода (с учетом величины небаланса) путем регулирования скорости вращения вала на любом, причем, только одном НА из группы запланированных к включению на данном подводящем канале.

Иллюстративный пример расчета оптимального плана

Для иллюстрации вышеприведенного алгоритма, приведен пример расчета оптимального оперативного плана работы головной оросительной НС, имеющей достаточно общую структурную схему. Другие возможные, но частные разновидности структуры НС, лишь упрощают общий алгоритм решения задачи. С целью снижения объема дополнительных вычислений в качестве основного и единственного критерия оптимальности взят – минимум модуля суммарного отклонения планового расхода НС от заданного значения.

1. Исходные данные.

7,2 м ³ /сек				=90 г/м ³								
Канал сбросной (С-1)				Канал сбросной (С-2)					Подводящий канал			
=111 г/м ³				=102 г/м ³					=25 г/м ³			
<i>q₁₁</i>	<i>q₂₁</i>	<i>q₃₁</i>	<i>q₄₁</i>	<i>q₁₂</i>	<i>q₂₂</i>	<i>q₃₂</i>	<i>q₄₂</i>	<i>q₅₂</i>	<i>q₁₁</i>	<i>q₂₁</i>	<i>q₃₁</i>	<i>q₄₁</i>
00,32	00,47	00,73	0,48	,0,90	00,49	00,92	00,29	0,34	01,70	01,97	01,46	1,61

2. Расчетные и итоговые показатели.

2.1. Распределение планового расхода между группами НА -

$k =$

$$= 1,104 \text{ м}^3/\text{сек}, \quad = 1,202 \text{ м}^3/\text{сек}, \quad = 4,904 \text{ м}^3/\text{сек},$$

при этом из (1) найдем $=50,23 \text{ г/м}^3$

2.2. Распределение планового расхода между НА только в группах сбросных каналов - ($k =$.

Решается ОЗЦЛП, представленная уравнениями-ограничениями (3)-(4) с критерием оптимизации - минимум отклонения плановой величины расхода от расчетного значения, вытекающим из (5)

$$\Delta q \equiv \sum_{i=1}^{m_k} n_{ik} q_{ik} \rightarrow i$$

Номера вариантов	q_{11}	q_{21}	q_{31}	q_{41}	q_1	q_{12}	q_{22}	q_{32}	q_{42}	q_{52}	q_2
1	1	0	1	0	1,05	0	0	1	0	0	0,92
2	0	1	0	1	0,95	1	0	0	1	0	1,19
3	1	0	0	1	0,80	0	1	0	1	1	1,12
4	1	1	0	0	0,79						

2.3. Расчет небаланса между заданным и плановым распределением по сбросным каналам ($k =$

$$1,104-1,05+1,202-1,19=0,066 \text{ м}^3/\text{сек}$$

2.4. Корректировка планового расхода для группы НА подводщего канала (с условно-чистой водой, в данном примере k) согласно уравнения (8)

$$4,904+0,066=4,97 \text{ м}^3/\text{сек}$$

2.5. Распределение планового расхода в группе НА подводщего канала.

Решается ОЗЦЛП, представленная уравнениями-ограничениями (4), (8) с критерием оптимизации - минимум отклонения плановой величины расхода от расчетного значения, получаемого из (5) в виде эквивалентного ему уравнения целевой функции

$$\Delta q \equiv \sum_{i=1}^{m_k} n_{ik} q_{ik} \rightarrow$$

Номера вариантов	q_{13}	q_{23}	q_{33}	q_{43}	q_3
1	1	1	1	0	5,28
2	0	1	0	1	5,13
4	0	1	1	1	5,04

2.6. Расчет планового небаланса расхода, компенсируемого одним из группы НА подводящего канала с условно чистой водой $\Delta 5,044 - 4,904 = 0,07 \text{ м}^3/\text{сек}$, в итоге составит степень минерализации воды в МК составит $= 50,23 \text{ г/м}^3$, что не превышает заданного значения и точно выполняет основное балансового условия (9) для НС на -ый момент времени.

Заключение

Приведенная модель задачи «Оперативное планирование работы НС» в упрощенном варианте была успешно внедрена в АСУ ГМС на головной НС-9 Петровско-Анастасиевской рисовой оросительной системе Краснодарского края [3, 4] в рамках подсистемы «Управление НС». Внедрение этой подсистемы дает ощутимый экономический эффект не только в рамках АСУ ГМС, но и эффективно даже на автономно работающих АСУТП-НС, с одновременной реализации АСКУЭ как одной из параллельно работающих подсистем АСУ ГМС. Опыт внедрения таких информационно-управляющих АСУ, реализуемых ООО НПК «ТЭТА» (г. Краснодар) и др. фирмы, показывает, что их реальная эффективность может быть получена только при разработке продуманной, масштабной, долговременной концепции развития мелиорации страны и края, включая реальные и финансируемые программы автоматизации как региональных оросительных мелиоративных систем, так и самих меливодхозов. Многолетний застой и даже деградация в технологии орошения и технической оснащенности открытых мелиоративных систем на Кубани без продуманной организационной и технической их реконструкции на базе новейших научно-технических достижений, не смогут произвести даже прежние объемы производства риса 80-ых годов. В перспективе же, интенсификация поливного земледелия только на базе даже современных технических средств и методов управления будет явно ограничена

существующей ресурсозатратной и трудно автоматизируемой технологией. Но климатические катаклизмы последних лет, эффективность использования земельного потенциала, ресурсосбережение и рост объемов производства сельхозпродукции, потребуют вернуться к анализу возможности использования новых или ранее недооцененных технологий, например, автоматизированного полнофункционального мостового земледелия [5] и капельного, а не заливного орошения, использования глобальной навигационной спутниковой системы и т.д. Что при относительно больших начальных затратах интеллектуальных и финансовых ресурсов, гораздо более эффективно с точки зрения применения современных средств автоматизации, интенсификации и эффективности всего сельскохозяйственного комплекса.

Список литературы

1. Ярошко В.М, Никишова М.В., Муляр Е.В., Фурсин А.И. Программа решения класса ОЗЦЛП методом «лексикографического упорядоченного векторов решения». Свид-во о регистрации программ на ЭВМ. – М.: Роспатент, 2005.
2. Красильников А. Автоматизированные насосные установки с каскадно-частотным управлением в системах водоснабжения - Ж. «Строительный инжиниринг», 2006, №2.
3. Ярошко В.М., Полухин В.А. Оптимальное управление оросительной насосной станцией. Измерит. и выч. техника в управлении процессами в АПК. Мат-лы Всесоюз. конф. – Л.: АФИ, 1988. – с. 198-199.
4. Ярошко В.М, Демченко Б.В. Оптимальное управление оросительной насосной станцией. – М.: Ж. «Мелиорация и водное хозяйство», № 3, 1990.
5. Адаменко А.И., Ярошко В.М. Мелиоративная система. ГК СССР по делам изобретений и открытий. Автор. свидетельство № 1491411, бюллетень № 25, 1989.