

А. В. Акопян, М. В. Власов (ФГБНУ «РосНИИПМ»)

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ АППАРАТА МАТЕМАТИЧЕСКОЙ ЛОГИКИ И ТЕОРИИ МНОЖЕСТВ В ПРОЦЕССЕ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ОРОСИТЕЛЬНОЙ СЕТИ ПРИ ЦИКЛИЧЕСКОМ ОРОШЕНИИ

В статье изложены принципы проектирования оросительной сети с использованием аппарата математической логики и теории множеств. Приведен пример проектирования орошаемого участка под циклическое орошение в ОПХ «Семеновод» Багаевского района.

Ключевые слова: циклическое орошение, мобильная оросительная сеть, математическое моделирование, проектирование.

A. V. Akopyan, M. V. Vlasov (FSBSE “RSRILIP”)

USE OF MATHEMATICAL LOGIC AND SET THEORY FOR IRRIGATION NET DESIGN AT CYCLIC IRRIGATION

The paper states the scientific principles for irrigation net design using mathematical logic and set theory. On the basis of these principles the design of cyclic irrigation in the experimental farm “Semenovod” in Bagayevskiy district was considered.

Keywords: cyclic irrigation, mobile irrigation net, mathematical simulation, design.

Соблюдение принципа расширенного воспроизводства природно-ресурсного потенциала при развитии орошения в Ростовской области является неперенным условием правильного природопользования. Наиболее полно этому принципу с учетом зональных природных и организационно-хозяйственных особенностей, по нашему мнению, отвечает технология циклического орошения.

Циклическое орошение – вид орошения земель, предусматривающий поочередное использование полей севооборота в орошаемом и неорошаемом режимах.

Для циклического орошения наиболее применимы быстросборные оросительные трубопроводы, которые транспортируют в комплекте с передвижными насосными станциями, шланговая поливная и другая мобильная или полустационарная техника. Согласно исследованиям ФГБНУ «РосНИИПМ» использование мобильного оросительного оборудования

Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации, № 3(07), 2012 г., [175-185]
экономически наиболее выгодно при циклическом орошении, так как позволяет уменьшить срок освоения земель до 1 года [1].

В этом аспекте следует отметить преимущества мобильного оросительного оборудования перед стационарной оросительной системой: минимальный объем проектно-изыскательских и строительных работ для устройства мобильной оросительной сети; элементы мобильного оросительного оборудования не требуют возведения фундаментов, что значительно уменьшает затраты на строительство; мобильное оросительное оборудование находится на поливном участке только в период вегетации, что уменьшает воздействие природных факторов на его элементы.

Оптимальное проектирование – это процесс принятия наилучших (оптимальных) решений с помощью ЭВМ. Оптимальные решения на всех этапах проектирования во многом и определяют технико-экономическую эффективность строительства оросительных систем.

Большинство задач принятия решений можно сформулировать в терминах теории математической логики и теории множеств, то есть в виде совокупности критериев качества и ограничений [2].

Сформулировать основные научные принципы проектирования оросительных систем (ОС), используя аппарат математической логики и теории множеств, можно опираясь на следующие компоненты процесса проектирования:

$A = \{a_1, a_2, \dots, a_m\}$ – множество целей;

$P = \{p_1, p_2, \dots, p_n\}$ – множество признаков;

$X = \{x_1, x_2, \dots, x_k\}$ – множество решений;

$V = \{v_1, v_2, \dots, v_i\}$ – множество оценок.

Множество целей A – это целесообразность проектирования ОС, то есть необходимость ее строительства для данной климатической зоны, разработанного севооборота и др.

Множество признаков P – это множество показателей, таких как:

Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации, № 3(07), 2012 г., [175-185]
 степень естественной дренированности территории, уровень залегания
 грунтовых вод, уровень их минерализации, плодородие почв, уклоны по-
 верхности орошаемого массива, качество оросительной воды и др.

Множество решений X – это множество вариантов устройств сис-
 темы циклического орошения (подача воды, материалы труб, способы по-
 лива и др.). Все варианты анализируются и выбирается оптимальный
 с учетом множества оценок.

Множество оценок V – это стоимостные характеристики, характери-
 стики полезности и т. д.

Тогда функция проектирования может быть выражена следующим
 образом:

$$F : (\psi \cdot \varphi(A_0)) \rightarrow V,$$

где ψ – отношение между элементами множеств P и X (при этом
 $\varphi \subset (A \times P)$; $\varphi \subset (P \times X)$; $A_0 \subseteq A$);

φ – отношение между элементами множеств A и P .

Следовательно, если для проектирования ОС на конкретном объекте
 циклического орошения выбрано подмножество A_0 множества целей A ,
 то можно найти срез через A_0 :

$$\varphi(A_0) = (\forall p \in P, \exists a \in A_0 \mid (a, p) \in \varphi), \quad (1)$$

аналогично:
$$\psi(A_0) = (\forall x \in X, \exists p \in P_0 \mid (p, x) \in \psi), \quad (2)$$

где P_0 – срез множества P по подмножеству A_0 .

Произведение отношений (1) и (2):

$$\psi \cdot \varphi = (\forall (a, x), \exists p \in P \mid (a, p) \in \varphi \wedge (p, x) \in \psi)$$

представляет собой множество упорядоченных пар (a, x) , таких, что для
 них существует элемент p множества P , с которым a находится в отно-
 шении φ , а сам он вступает в отношение ψ с элементом x . Срез произве-
 дения отношений по подмножеству A_0 выразим следующим образом:

$$\psi \cdot \varphi(A_0) = (\forall (a, x), \exists p \in P \mid (a, p) \in \varphi \wedge (p, x) \in \psi \wedge a \in A_0). \quad (3)$$

Отображение среза произведения отношений на множество оценок означает функцию, определенную на множестве $\varphi \cdot \psi(A_0)$ и принимающую значения на множестве V . Каждый элемент множества V при этом представляет собой в общем случае n -мерный вектор, компонентами которого являются, в том числе, стоимостные характеристики элементов мобильной ОС и ряд других. Таким образом, выражение (3) можно рассматривать как целевую функцию проектирования ОС, которую в результате выполнения определенных операций необходимо оптимизировать:

$$(F: (\psi \cdot \varphi(A_0)) \rightarrow V) \rightarrow opt. \quad (4)$$

Рассмотренный подход представляется приемлемым в связи с тем, что он позволяет эффективно применять при формировании структуры ОС формализованные методы и обоснованно устанавливать границы эффективного использования ОС.

Воспроизвести в проекте оптимальную структуру всей оросительной системы возможно, если в качестве основных элементов мобильной ОС принять конечное множество действующих технологических элементов, при этом необходимо выполнение условия:

$$t_q \leq t_{эф}, \quad (5)$$

где t_q – время функционирования элементов ОС (длительность использования массива в режиме циклического орошения);

$t_{эф}$ – максимально возможное время функционирования элемента ОС.

Учитывая, что при проектировании ОС необходимо достичь наибольшего суммарного потенциала при прохождении всех фаз (с орошением, без орошения) для решения проблем управления и развития производства сельхозпродукции на полях циклического орошения, может быть использована следующая математическая зависимость:

$$\sum_{j=1}^n (\alpha_j, P_j) \rightarrow P_{\max}, \quad (6)$$

где n – число циклов орошения;

α_j – весовой коэффициент продуктивного потенциала;

P_j – продуктивный потенциал (урожайность на полях, обслуживаемых данной ОС) на j -том цикле орошения;

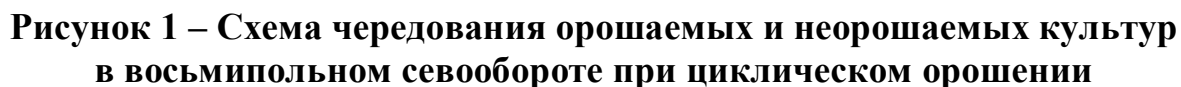
$P_{\max}$ – максимально возможные результаты сельхозпроизводства при циклическом орошении.

В качестве примера рассмотрим проектирование мобильной ОС при циклическом орошении на участке площадью 512 га в ОПХ «Семеновод» Багаевского района.

Севооборот при циклическом орошении представляет собой чередование влаголюбивых (орошаемая фаза) и засухоустойчивых культур (неорошаемая фаза). Характерные случаи мелиорации циклически орошаемых черноземов рассмотрены в патенте № 2324331 В. Н. Щедрина «Способ мелиорации орошаемых черноземов» [3], специалистами ФГБНУ «РосНИИПМ» также разработаны специальные севообороты при циклическом орошении [1].

При проектировании мобильной оросительной системы следует рассматривать модели дождевальной техники, которые удовлетворяют принципу мобильности – отечественного производства: ДДН-70, ДДН-100, ДДА-100ВХ, ДШ-32, «Агрос», «Днепр», «Фрегат» и зарубежного – шланговые дождевальные агрегаты Bauer, ДМ Beinlich и Irriland и другие аналоги.

Из множества севооборотов выбираем разработанный учеными ФГБНУ «РосНИИПМ» специальный восьмипольный севооборот при циклическом орошении (рисунок 1) с учетом соотношения орошаемых и неорошаемых полей (50:50). При этом ежегодно орошается только четыре поля, а оставшиеся четыре эксплуатируются в неорошаемых условиях [4].



Ранее специалистами ФГБНУ «РосНИИПМ» уже были разработаны типовые схемы расположения мобильного оборудования с использованием дождевальной техники фронтального типа. В частности разработана типовая схема с использованием дождевальной машины (ДМ) «Фрегат», мобильность которой обеспечивается за счет применения мобильного транспортирующего трубопровода, располагающегося на поверхности поля.

При этом распределительные трубопроводы предусмотрены стационарными, то есть такая система только частично соответствует принципам мобильности [6].

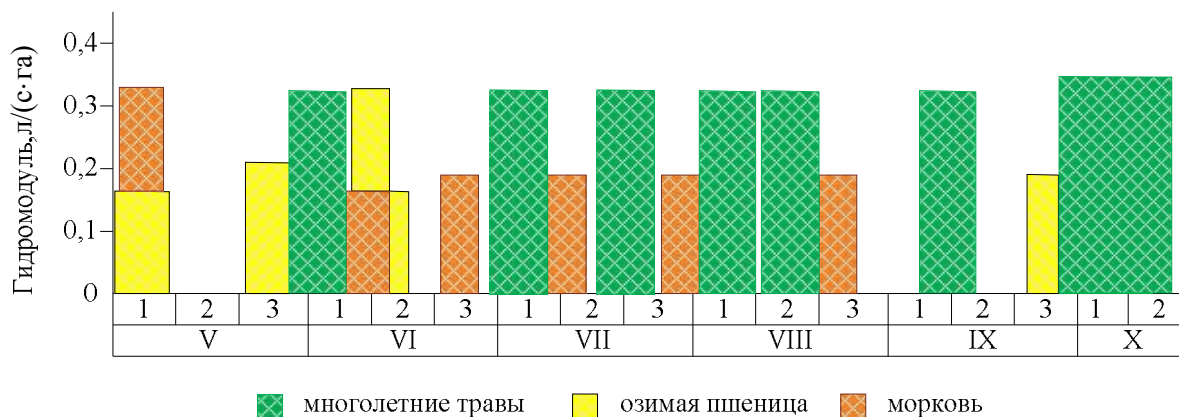


Рисунок 2 – Укомплектованный график гидромодуля

Мы предлагаем принципиально мобильную оросительную систему с использованием этой ДМ. Вся проводящая сеть располагается на поверхности земли, а свобода перемещения ДМ обеспечивается за счет использования переездов специальной конструкции.

Дождевальная машина «Фрегат» в силу своей конструктивной особенности может работать как на одном, так и на нескольких полях севооборота. Площадь участка, равная сезонной нагрузке на дождевальную машину, минимальный межполивной период и потребный расход машины определяются по типовой методике [7].

Для полей с принятыми размерами 800×800 м из множества ДМ выбираем ДМУ А-392-50 [9]. Для этой дождевальной машины с учетом коэффициента использования времени суток [7], максимальный потребный расход составил 24,68 л/с. Учитывая общий расход воды и возможность работы на нескольких полях севооборота, можно сделать вывод о рациональном использовании одной машины на двух орошаемых полях в сезон. Исходя из того, что за один сезон орошается четыре поля севооборота, очевидным является использование двух дождевальных машин.

Далее вычисляем время работы дождевальной машины на одной по-

Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации, № 3(07), 2012 г., [175-185]

зиции с учетом коэффициента использования времени суток [7]. Например, для поливной нормы $m_{\text{нетто}} = 500 \text{ м}^3/\text{га}$ получаем $t_n = 197,44 \text{ ч}$ или 8,23 суток. По истечении этого времени дождевальная машина перемещается на новую позицию трактором. Перед буксировкой машины колеса на всех ее тележках поворачивают на 90° , а рычаги толкателей приподнимают и закрепляют на рамах. Размещаем дождевальные машины так, чтобы каждая из них работала на закрепленной за ней площади от своего разборного транспортирующего трубопровода. После полива закрепленного участка разборный транспортирующий трубопровод и дождевальные машины перемещают на новые позиции.

На основании сравнительного анализа основных характеристик металлических труб и пластиковых труб низкого давления 3-го и 4-го поколений для сети были выбраны пластмассовые трубы ПЭ100 SDR17 ГОСТ 18599-2001 [10]. Из множества насосных станций выбрали станцию марки ДНУ-360/83, которая предназначена для эксплуатации на открытых площадках и для частого перемещения [8].

В таблице 1 приведены расчетные и принятые параметры мобильной оросительной сети для дождевальной машины «Фрегат» ДМУ А-392-50 для восьмипольного севооборота с четырьмя орошаемыми полями.

Таблица 1 – Параметры мобильной оросительной сети

Элемент мобильного оросительного оборудования	Параметры	
1	2	
Передвижная насосная станция	ДНУ подача напор	360/83 160-460 л/с 95-65 м
Мобильный трубопровод: - полиэтиленовый трубопровод	Диаметр магистрального трубопровода: - принятый - расчетный Диаметр распределительного трубопровода: - принятый - расчетный	355 мм 357 мм 280 мм 253 мм

Продолжение таблицы 1

1	2	
- стальной трубопровод	Диаметр всасывающего трубопровода:	
	- принятый	244,5 мм
	- расчетный	226 мм
	Длина магистрального трубопровода	≤ 800 м
	Длина распределительных разборных трубопроводов	≤ 3200

На основе вышеприведенных расчетов разработана типовая конструктивная схема расположения мобильного оборудования с использованием дождевальной машины ДМУ «Фрегат» при циклическом орошении восьмипольного севооборота (рисунок 3).

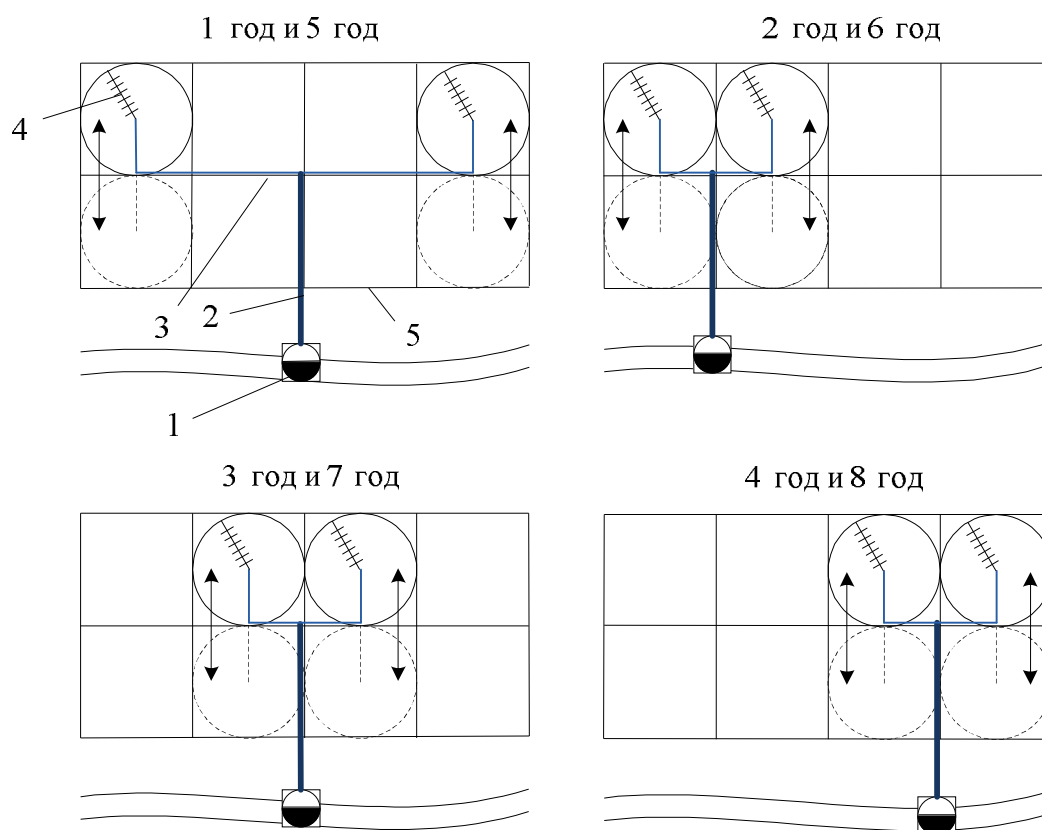


Рисунок 3 – Типовая схема расположения мобильного оборудования с использованием дождевальной машины ДМУ «Фрегат»

Высокая экономическая и технологическая эффективность применения мобильной оросительной сети обусловлена использованием передвижных насосных станций и закрытых мобильных трубопроводов, так

Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации, № 3(07), 2012 г., [175-185]
как КПД закрытой сети составляет 0,99, а мобильность позволяет перемещаться оросительной сети вслед за орошаемым полем в структуре севооборота и по окончании вегетационного периода сниматься с участка. Благодаря этому уменьшается протяженность оросительной сети, а следовательно, и капитальные затраты на строительство. Для проведения поливов в этих условиях эффективно использование дождевальных машин кругового типа, так как они являются механизированным, мобильным и высокопроизводительным средством для проведения поливов сельскохозяйственных культур.

Таким образом, рассмотренные принципы проектирования оросительной сети при циклическом орошении позволяют определить общие подходы к алгоритмизации проектирования, однако успех применения этого метода в значительной степени зависит от опыта разработчика.

Список использованных источников

1 Альтернативная система орошаемого земледелия (циклическое орошение): проспект (ФГНУ «РосНИИПМ»). – Новочеркасск, 2007. – 27 с.

2 Пензов, Ю. Е. Элементы математической логики и теории множеств / Ю. Е. Пензов. – Саратов: Изд-во Саратовского университета, 1968. – 143 с.

3 Пат. 2324331 Российская Федерация, МПК (51) А 01 G 25/00. Способ мелиорации орошаемых черноземов / Щедрин В. Н. [и др.]. – № 2006133800/12; заявл. 21.09.06, опубл. 20.05.08, Бюл. № 14. – 7 с.

4 Васильев, С.М. Результаты анализа проектных параметров, определяющих режим работы оросительной сети при регулярном, циклическом и периодическом орошении / С. М. Васильев, А. В. Акопян // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. – 2011. – № 2. – С. 169-176.

5 Нормы водопотребности и экологически безопасные режимы орошения сельскохозяйственных культур на Северном Кавказе: рекоменда-

Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации, № 3(07), 2012 г., [175-185]
ции / под ред. А. В. Колганова, В. Н. Щедрина // ГУ «ЮжНИИГиМ». – М.:
Мелиоводинформ, 2000. – 152 с.

6 Щедрин, В. Н. Теория и практика альтернативных видов орошения
черноземов юга Европейской территории России: монография / В. Н. Щед-
рин, С. М. Васильев. – Новочеркасск: Лик, 2011. – 435 с.

7 Гусейн-Заде, С. Х. Многоопорные дождевальные машины /
С. Х. Гусейн-заде, Л. А. Перевезенцев, В. И. Коваленко. – М.: Колос,
1976. – 176 с.

8 Мелиорация и водное хозяйство. Орошение: справочник / под ред.
Б. Б. Шумакова. – М.: Колос, 1999. – 432 с.

9 ГОСТ 18599-2001. Трубы напорные из полиэтилена. Технические
условия. – Введ. 2003-01-01. – Минск: Межгосуд. совет по стандартизации,
метрологии и сертификации; М.: Изд-во стандартов, 2008. – 34 с.

Акопян Александра Васильевна – Федеральное государственное бюджетное научное
учреждение «Российский научно-исследовательский институт проблем мелиорации»,
старший научный сотрудник.
Контактный телефон: 8(908)184-63-53. E-mail: SHURA242007@yandex.ru

Akopyan Aleksandra Vasilyevna – Federal State Budget Scientific-Research Establishment
«Russian Scientific-Research Institute of Land Improvement Problems», Senior Researcher.
Contact telephone number: 8(908)184-63-53. E-mail: SHURA242007@yandex.ru

Власов Михаил Вячеславович – кандидат физико-математических наук, Федеральное
государственное бюджетное научное учреждение «Российский научно-
исследовательский институт проблем мелиорации», старший научный сотрудник.
Контактный телефон: 8(918)535-42-92. E-mail: m_vlasov@bk.ru

Vlasov Mikhail Vyacheslavovich – Candidate of Physico-Mathematical Sciences, Federal
State Budget Scientific-Research Establishment «Russian Scientific-Research Institute of
Land Improvement Problems», Senior Researcher.
Contact telephone number: 8(918)535-42-92. E-mail: m_vlasov@bk.ru