

УДК 631.432.633.31

**Затицацкий Сергей Викторович**

ФГБОУ ВПО «Саратовский государственный аграрный университет имени Н. И. Вавилова»  
Россия, Саратов<sup>1</sup>  
Кандидат технических наук, профессор  
[Zatin\\_s@mail.ru](mailto:Zatin_s@mail.ru)

**Панкова Татьяна Анатольевна**

ФГБОУ ВПО «Саратовский государственный аграрный университет имени Н. И. Вавилова»  
Россия, Саратов  
Старший преподаватель  
[vtanja@mail.ru](mailto:vtanja@mail.ru)

**Шмагина Эльвира Юрьевна**

ФГБОУ ВПО «Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю. А.»  
Россия, Саратов  
Кандидат технических наук, доцент  
[Shmagina.e.yu@mail.ru](mailto:Shmagina.e.yu@mail.ru)

**Кочетков Андрей Викторович**

ФГБОУ ВПО «Пермский национальный исследовательский политехнический университет»  
Россия, Пермь  
Доктор технических наук, профессор  
[Soni.81@mail.ru](mailto:Soni.81@mail.ru)

**Модели валидации в техническом нормировании  
(на примере ресурсосберегающих моделей  
водопотребления)**

---

<sup>1</sup> 410022 г. Саратов, ул. Хомяковой, д.16, кв.1

**Аннотация.** В связи с природно-климатическими изменениями, происходящими в настоящее время во всех регионах России, наиболее актуальной проблемой для науки и практики являются научные разработки в области нормирования водопотребления сельскохозяйственных культур посредством прогнозирования его с помощью математических ресурсосберегающих моделей. В статье представлен расчетный алгоритм математической ресурсосберегающей модели режима орошения люцерны для условий Саратовского Заволжья, также приводится графическая часть модели, которая строится автоматически. Приводятся результаты моделирования режима орошения люцерны по четырем вариантам с разными заданными граничным условиями влажности почвы. В модели представлены влагозапасы расчетного слоя почвы при наименьшей влагоемкости. Использование параметра испаряемости при расчете водопотребления сельскохозяйственных культур требует выбора более точной методики, позволяющей реально отражать процесс испарения с орошаемого поля, подстилающая поверхность которого изменяется в течение вегетационного периода. Модель позволяет принимать технологическое решение для нормирования орошения люцерны при меняющихся природных условиях путем проведения симуляции различных сценариев. Представлены сроки, поливные и оросительные нормы для полива люцерны в условиях Саратовского Заволжья.

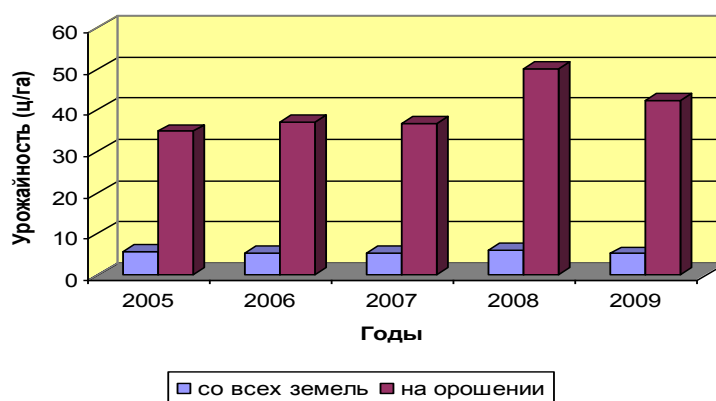
**Ключевые слова:** модель; водопотребление; испаряемость; культура; верификация; результат; влажность.

## Введение

Бурное развитие мелиорации во второй половине XX века и непродуманные решения в области режимов орошения привели, не только к огромному перерасходу воды, но и к изменению водного баланса значительных территорий.

В Саратовской области наличие плодородных черноземов и каштановых почв позволяет выращивать многие сельскохозяйственные культуры, но увеличение урожайности сдерживается количеством выпавших осадков. Поэтому одним из важнейших средств повышения продуктивности сельскохозяйственных культур на территории области является орошение. Так, как именно орошаемые земли дают большую урожайность сельскохозяйственных культур.

Динамика изменения урожайности сельскохозяйственных культур Саратовской области со всех земель и с орошаемых земель представлена на рисунке 1.



*Рис. 1. График изменения урожайности сельскохозяйственных культур за 2005–2009 г.г.*

Одна из основных причин медленного роста площадей мелиоративно неблагополучных земель региона кроется в низкой обоснованности проектных решений строительства большинства оросительных систем, введенных в эксплуатацию во второй половине XX века, вследствие отсутствия или низкого качества прогнозирования на основе математического моделирования водного режима орошаемых земель.

Поэтому наиболее актуальной проблемой для науки и практики являются научные разработки в области нормирования водопотребления сельскохозяйственных культур посредством прогнозирования его с помощью математических ресурсосберегающих моделей.

## Постановка задачи. Математическая модель

Близкие методы решения данного вопроса должен соответствовать Федеральному закону «О техническом регулировании», Федеральному закону «О безопасности зданий и сооружений». Инструментальным измерителем должна быть степень риска причинения вреда. В настоящей работе рассматривается оценка риска в виде параметрического риска. Решения в виде близких аналогов можно посмотреть в работах [1-5].

Орошение приводит к увеличению влажности почвы, которая должна находиться в определенных пределах в течение всего вегетационного периода. Поддержание оптимальных параметров влажности почвы позволяет получить требуемый урожай сельскохозяйственных культур и рационально расходовать оросительную воду, снижая при этом топливно-энергетические ресурсы, необходимые на проведение полива [6-10].

Разработана математическая ресурсосберегающая модель режима орошения люцерны, в виде совокупности уравнений для условий Саратовского Заволжья.

В модели влагозапасы расчетного слоя почвы ( $W$ ), в долях от продуктивных влагозапасов при наименьшей влагоемкости определяются по формуле:

$$E = f \left[ \frac{(W - W_{B3})}{(W_{HB} - W_{B3})} \right] \quad (1)$$

Биологический коэффициент ( $K_b$ ), определяемый как отношение  $E/E_0$ , изменяется в соответствии с фазами развития культуры и описывается логалистической функцией вида:

$$E/E_0 = A_n / (1 + 10^{\gamma - \beta \bar{W}}) \quad (2)$$

Откуда величина водопотребления определяется, как:

$$E = E_0 \cdot A_n / (1 + 10^{\gamma - \beta \bar{W}}) \quad (3)$$

где  $E_0$  – испаряемость, мм/дек;  $W$  – относительные продуктивные влагозапасы, в долях;  $A_n$ ,  $\gamma$ ,  $\beta$  – коэффициенты уравнения регрессии, определяющие состояние деятельной поверхности и биологические особенности растения по фазам вегетации.

Использование параметра испаряемости при расчете водопотребления сельскохозяйственных культур требует выбора более точной методики, позволяющей реально отражать физику испарения с орошаемого поля, подстилающая поверхность которого существенно изменяется в течение вегетационного периода.

В формуле Н.Н. Иванова [11] испаряемость (мм/мес) определяется по испарению с водной поверхности малых водоемов или с поверхности почвы при полном ее насыщении водой и связывается с метеорологическими характеристиками, температурой ( $T$ ) и относительной влажностью воздуха ( $a$ ):

$$E_0 = 0.0018(25 + T)^2(100 - a), \quad (4)$$

где  $T$  – среднесуточная температура воздуха,  $^{\circ}\text{C}$ ;  $a$  – среднесуточная относительная влажность воздуха, %;

На основе упрощения С.И. Харченко линейно связаны величины  $E/E_0$  с продуктивными влагозапасами корнеобитаемого слоя почвы  $(W_{hn} + W_{hk})/2\gamma$ :

$$E/E_0 = \beta(W_{hn} + W_{hk})/2\gamma, \quad (5)$$

где  $\gamma$  – свободная пористость,  $\gamma = (W_{HB} - W_{B3})$ ;  $\beta$  – угловой коэффициент наклона линии связи, зависящий от фазы развития растения и состояния деятельной поверхности.

При поддержании в расчетном слое почвы влажности:

$$W_h = (W_{hn} + W_{hk})/2 \geq W_{HB}, \text{ член } (W_{hn} + W_{hk})/2\gamma = 1 \quad (6)$$

Расчет водопотребления с сельскохозяйственного поля проводят по формуле:

$$E = \beta \cdot E_0 \quad (7)$$

При условии  $W_h < W_{HB}$  определяющее значение при формировании водопотреблении сельскохозяйственных культур будет иметь влажность почвы, при  $W_h \geq W_{HB}$  водопотребление определяется напряженностью метеорологических условий.

Испаряемость определяется из решения уравнения теплового баланса увлажненной поверхности, на основе которого разработан комплексный метод Будыко–Зубенок. Согласно

этому методу испаряемость  $E_0$  определяется из определения о пропорциональности испарения с влажной поверхности дефициту влажности воздуха, определенному по температуре испаряющей поверхности:

$$E_0 = \rho \cdot D(g_s - g'_s) + \rho \cdot D(g'_s - g), \quad (8)$$

где  $\rho$  – плотность воздуха;  $D$  – интегральный коэффициент внешней диффузии;  $q_s$  – удельная влажность насыщенного водяным паром воздуха при температуре поверхности  $\theta$ ;  $q$  – удельная влажность воздуха;  $q'_s$  – удельная влажность воздуха, насыщенного при его температуре;

Член  $\rho D(q'_s - q)$  соответствует испаряемости, определенной по дефициту влажности воздуха ( $q'_s - q$ ). Член  $\rho D(q_s - q'_s)$  следует рассматривать как поправку к первому члену, возникающую вследствие неравенства температур воздуха и деятельной поверхности.

Представленная модель позволяет принимать технологическое решение для нормирования орошения люцерны при меняющихся природных условиях, путем проведения симуляции различных сценариев, что наиболее актуально в связи с происходящими природно-климатическими изменениями [6, 7, 9-17].

С помощью разработанной модели нормирования орошения нами была произведена симуляция режима орошения сельскохозяйственной культуры люцерны по 4 вариантам с разными заданными граничным условиями влажности почвы: 1 вариант: 70 - 100% НВ; 2 вариант: 75 - 100% НВ; 3 вариант: 65 - 90% НВ; 4 вариант: 60 - 90% НВ.

Для моделирования ресурсосберегающего режима орошения продолжительность вегетационного периода люцерны была принята с 21 апреля по 20 октября и составила 183 дня. Было назначено три укоса через каждые 61 - 62 дня. Расчетный слой почвы  $h = 0,8$  м, это обосновано тем, что основная корневая система люцерны сосредоточена в этом слое [17].

Наименьшая влагоемкость в данном слое почвы  $W_{нв}$  равна 204 мм, а влажность завядания  $W_{вз}$  98 мм, это обусловлено преобладанием в Марксовском районе темно-каштановых почв. Данные почвы характеризуются так же плотностью сложения 1,27 т<sup>3</sup>/м, пористостью 52,5 % и величиной предельно-полевой влагоемкости, в слое почвы 0,8 м составляет 20,1 %.

### Численный эксперимент

Результаты численного эксперимента [13, 18] моделирования режима орошения люцерны в 2006-2009 г.г. приведены в таблице 1.

**Таблица 1**

#### Результаты численного эксперимента моделирования режима орошения

Граничные условия	Параметры	Год				Ср. знач.
		2006	2007	2008	2009	
100 – 70 % НВ	Суммарное водопотребление, м	5700	6680	5310	6180	6070
	Влажность средняя в % от НВ	84	90	88	83	87
	Оросительная норма м <sup>3</sup> /га	3600	3600	3000	3600	3450
	Кол-во поливов	6	6	5	6	6
100 – 75 % НВ	Суммарное водопотребление, м	5960	6680	5730	6640	6340
	Влажность средняя в % от НВ	87	98	90	87	89
	Оросительная норма м <sup>3</sup> /га	4000	4500	3500	4500	4130
	Кол-во поливов	8	9	7	9	8
90 – 65 % НВ	Суммарное водопотребление, м	4440	5890	4390	4900	4920
	Влажность средняя в % от НВ	77	85	78	76	79
	Оросительная норма м <sup>3</sup> /га	2500	3000	2000	2500	2500
	Кол-во поливов	5	6	4	5	5
90 – 60 % НВ	Суммарное водопотребление, м	3180	5270	3670	3650	3950
	Влажность средняя в % от НВ	72	85	74	72	75
	Оросительная норма м <sup>3</sup> /га	1200	2400	1200	1200	1500
	Кол-во поливов	2	4	2	2	3

### Обсуждение результатов

Численный эксперимент показал, что для поддержания влажности почвы в пределах 100 - 70% НВ требуется провести 5 поливов по 600 м<sup>3</sup>/га в 2008 г., который характеризуется самыми благоприятными погодными условиями – это наименьшая сумма температур и среднее количество осадков, а в остальные более не постоянные года необходимо проводить 6 поливов. За счет самого высокого показателя суммарных среднесуточных температур водопотребление люцерны в 2007 г. составило максимальное значение 6680 м, и на эту величину даже не повлияло выпавшее в этот год наибольшее количество осадков.

При поддержания влажности почвы пределах 100 - 75% НВ, чему соответствует наибольшая получившаяся средняя влажность почвы 90-98%, потребовалась провести 7 поливов по 500 м<sup>3</sup>/га в самый благоприятный год, 8 поливов в год с наименьшим количеством

выпавших осадков и по 9 поливов в год с самой максимальной суммарной температурой. Даты полива, самые равномерно распределенные в 2006 г., назначаются примерно через 15, в августе 20 дней. В 2007 и 2009 году более неравномерно и часто через каждые 5-10 дней, но в июле в 2009 г из-за осадков, опять, как и в предыдущем варианте около месяца простоя.

В случае установления граничных условий влажности 90 - 65 % НВ в годы исследований требуется провести 5-6 поливов по 600 м<sup>3</sup>/га. Максимальные значения водопотребления 5890 м и влажности почвы 85 % опять прослеживаются в год с большим количеством осадков в июле месяце, и почти полным отсутствием осадков в начальный и конечный период вегетации. Даты поливов в 2008 г. получились примерно одинаковые – начиная с конца мая и через каждые 15-20 дней, а для года с наибольшим неравномерно распределенным количеством осадков полив осуществляется чаще – через 10 дней, но существуют отрезки времени, которые совсем не нуждаются в поливе.

Для поддержания влажности почвы в пределах 90 - 65 % НВ требуется всего 2–3 полива по 500 м<sup>3</sup>/га, в года минимальных сумм температур первый полив осуществляется в начале июня, второй в середине августа, в самый активный вегетационный промежуток, в фазу начала цветения, влажность постоянно находится ближе к нижней границе - предполивной влажности и за счет немногочисленных осадков колеблется в этих пределах, что не способствует нормальному развитию культуры, средняя влажность почвы составляет всего 72 % от НВ. В 2007 году было произведено четыре полива - в конце мая и июня и два в августе, в этом случае за счет осадков средняя влажность почвы составила 85 % НВ.

Сравнивая при разных граничных условиях полученные величины водопотребления и оросительной нормы получили, что максимальное суммарное водопотребление получилось при варианте 100 - 75% НВ, и составило 5970 – 6680 м, ему соответствует максимальная средняя за вегетационная влажность – 90 - 98% НВ и максимальная оросительная норма 4500 м<sup>3</sup>/га. Минимальному значению водопотребления соответствуют режим 90 - 65 % НВ, тут водопотребление составило в 3180 – 3650 м, оросительная норма всего 1200 м<sup>3</sup>/га, а средняя влажность почвы 72 - 74%.

Сравнивая получившиеся средние за 4 года величины суммарного водопотребления  $E$ , средней влажности почвы  $W_{ср}$ , и оросительной нормы  $M$  можно отметить следующее. В процентном соотношении средняя влажность почвы при варианте 100 - 75 % НВ больше влажности при 90 – 65 % НВ на 12%, при этом суммарное водопотребление больше на 22 %, а оросительная норма на 39%. При варианте 100 – 70 % НВ, влажность почвы меньше влажности варианта 100 – 75 % НВ на 2%, суммарное водопотребление снижается на 4 %, оросительная норма на 16 %. Вариант увлажнения 100 – 70 % НВ отличается от варианта 90 – 60 % НВ на величину средней влажности почвы 14 %, суммарное водопотребление снижается на 33 %, оросительная норма на 47 %.

Графическая часть модели нормирования орошения, строится автоматически и состоит из графика динамики влагозапасов по ходу всего вегетационного периода (рисунок 2).

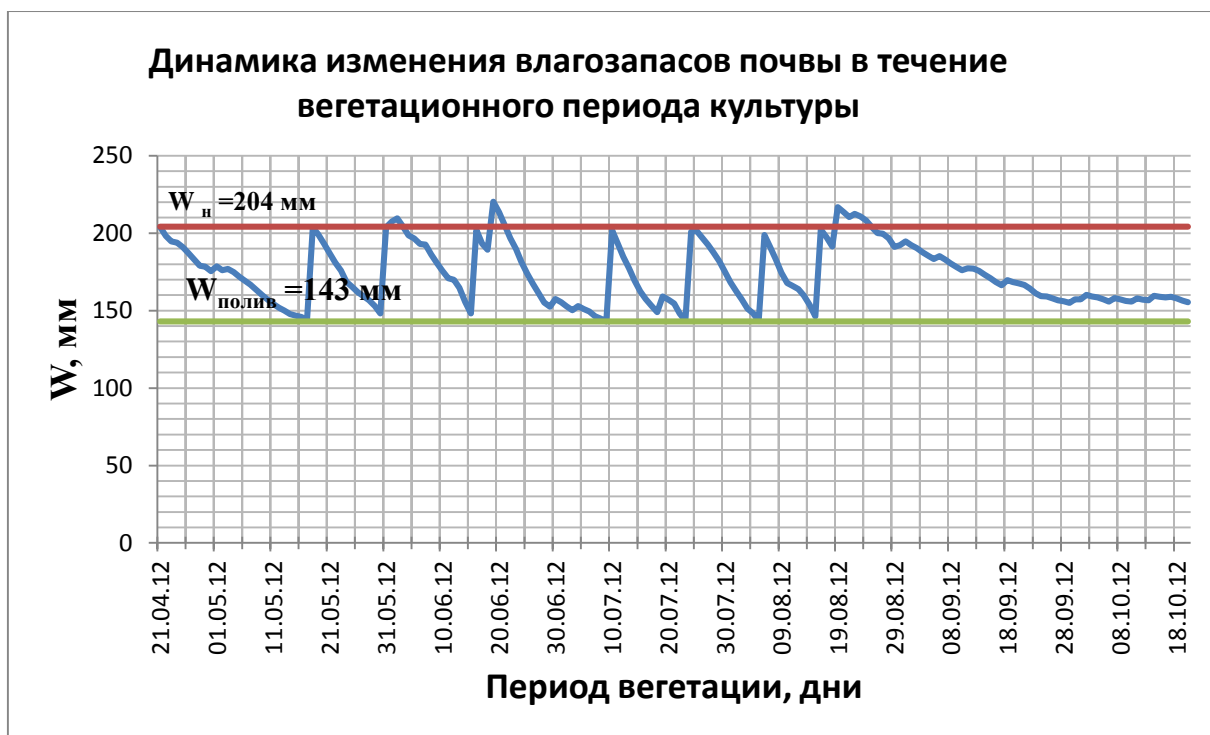


Рис. 2. Графическая часть модели

Для работы модели необходимо ввести с клавиатуры следующие параметры в оболочку расчетной программы (рисунок 3):

№ п/п	Дата	№ декады	Среднесуточная температура, °С	Поправка	Среднесуточная температура с поправкой, °С	Сумма среднесуточных температур, °С	Относительная влажность, %	Испаряемость, мм	$\beta$	$A_n$	Водопотребление E, мм	Осадки, мм	W, %	Wн, мм	Wк, мм
1	21.апр	1	11,0	1,14	12,5	13	58	3,6	0,028	0,96	2,7	0,0	100	204	201
2	22.апр	2	11,5	1,14	13,1	26	70	2,6	0,028	0,96	2,0	0,0	97	201	199
3	23.апр	3	10,4	1,14	11,9	38	85	1,2	0,028	0,96	0,9	1,4	96	199	200
4	24.апр	4	5,9	1,14	6,7	44	85	0,9	0,028	0,96	0,7	3,5	96	200	203
5	25.апр	5	9,1	1,14	10,4	55	61	2,9	0,028	0,96	2,2	0,0	99	203	201
6	26.апр	6	11,9	1,14	13,6	68	48	4,6	0,028	0,96	3,5	0,0	97	201	197
7	27.апр	7	12,7	1,14	14,5	83	53	4,4	0,028	0,96	3,3	0,0	93	197	194
8	28.апр	8	13,5	1,14	15,4	98	45	5,4	0,028	0,96	3,9	0,0	90	194	190
9	29.апр	9	13,3	1,14	15,2	113	40	5,8	0,028	0,83	3,6	0,0	86	190	186
10	30.апр	10	14,0	1,14	16,0	129	50	5,0	0,028	0,83	3,0	0,0	83	186	183
11	01.май	11	16,6	1,28	21,2	150	48	6,7	0,028	0,83	3,9	0,0	80	183	179
12	02.май	12	13,5	1,28	17,3	168	63	4,0	0,028	0,83	2,2	1,0	77	179	178
13	03.май	13	10,2	1,28	13,1	181	37	5,5	0,028	0,83	3,0	0,0	75	178	175
14	04.май	14	10,5	1,28	13,4	194	38	5,5	0,028	0,83	2,9	0,0	73	175	172
15	05.май	15	11,0	1,28	14,1	208	47	4,9	0,028	0,64	1,9	0,0	70	172	170
16	06.май	16	13,1	1,28	16,8	225	44	5,9	0,028	0,64	2,2	0,0	68	170	168
17	07.май	17	14,7	1,28	18,8	244	50	5,8	0,028	0,64	2,0	0,0	66	168	166
18	08.май	18	15,6	1,28	20,0	264	49	6,2	0,028	0,64	2,1	1,1	64	166	165
19	09.май	19	14,2	1,28	18,2	282	60	4,5	0,028	0,64	1,5	0,0	63	165	164
20	10.май	20	13,8	1,28	17,7	300	53	5,1	0,028	0,67	1,7	0,0	62	164	162

Рис. 3. Алгоритм программы в среде MS Excel

- 1) дата;
- 2) среднесуточная температура воздуха, в °С;
- 3) поправка на длину светового дня, назначается в зависимости от месяца и широты местности;

- 4) относительная влажность воздуха, в %;
- 5)  $\beta$  – коэффициент, определяющий состояние деятельной поверхности и биологические особенности растения, назначался в зависимости от фазы вегетации культуры;
- 6)  $A_n$  – коэффициент, определяющий состояние деятельной поверхности и биологические особенности растения, определяется в зависимости от суммы среднесуточных температур;
- 7) осадки, мм.

Для работы модели необходимо ввести основные параметры, необходимые для расчета режима орошения: граничные условия, которые в нашей модели заменены коэффициентами  $\tau$  (верхняя граница) и  $\sigma$  (нижняя граница), они принимаются от 0 до 1 и соответствуют граничным условиям 0-100 % НВ.

Остальные столбцы и основные показатели (водопотребление, испаряемость, норма, сроки, количество поливов) в модели рассчитываются автоматически по заданным алгоритмам. Среднесуточная температура с поправкой, °С, определяется умножением среднесуточной температуры воздуха на поправку на длину светового дня. Сумма среднесуточных температур, °С, определяется пошаговым суммированием значений среднесуточных температур с поправкой. Испаряемость (мм) определяется по формуле Н.Н. Иванова (1).

Относительные продуктивные влагозапасы, %, определяются из зависимости:

$$\bar{W} = \frac{W_i - W_{вз}}{W_{нв} - W_{вз}}, \quad (9)$$

где  $W_i$  – фактическая влажность, мм;  $W_{нв}$ ,  $W_{вз}$  – нижний порог влажности и влажность завядания соответственно, мм, почв принимаются в зависимости от расчетного слоя почвы.

Водопотребление в модели определяется по формуле Затинацкого С.В. [10]:

$$E = \frac{0,85 \cdot E_0 \cdot A_n}{1 + 10^{\gamma + \beta \cdot W}}, \quad (10)$$

где  $E_0$  – испаряемость, м<sup>3</sup>/га;  $A_n$ ,  $\gamma$ ,  $\beta$  – коэффициенты уравнения регрессии, определяющие состояние деятельной поверхности и биологические особенности растения по фазам вегетации.

Начальная влажность  $W_{нач}$ , мм, определяется путем умножения влажности, соответствующей нижнему порогу, на коэффициент верхних граничных условий  $\tau$ . Предполивная влажность  $W_{пол}$ , мм рассчитывается как умножение влажности, соответствующей нижнему порогу на коэффициент принятых нижних граничных условий  $\sigma$ . Начальная влажность  $W_n$ , мм в первый день равна  $W_{нв}$ , а в последующие дни принимается равной конечной влажности  $W_k$  за предыдущий день.  $W_k$  – конечная влажность, в мм, рассчитывается по уравнению (16) водного баланса, при этом для определения сроков полива при расчете  $W_n$  нами был заложен алгоритм, который самостоятельно при снижении влажности до заданной нижней границы прибавляет величину  $m$  (поливная норма). Так же для наглядности было применено цветовое форматирование – при снижении влажности цвет становится темнее, а когда осуществляется полив, цвет снова становится светлым.

$$W_k = W_n - E + O, \quad (11)$$

если  $W_k < W_{пол}$ , то  $W_k = W_n - E + O + m$ .

Величина поливной нормы  $m$ , в мм, зависит от выбранных нами граничных условий и определяется как:

$$m = W_{\text{нач}} - W_{\text{пол}} \quad (12)$$

Количество поливов программа считает автоматически.

Оросительная норма за вегетационный период определяется как, мм:

$$M = m \cdot n, \quad (13)$$

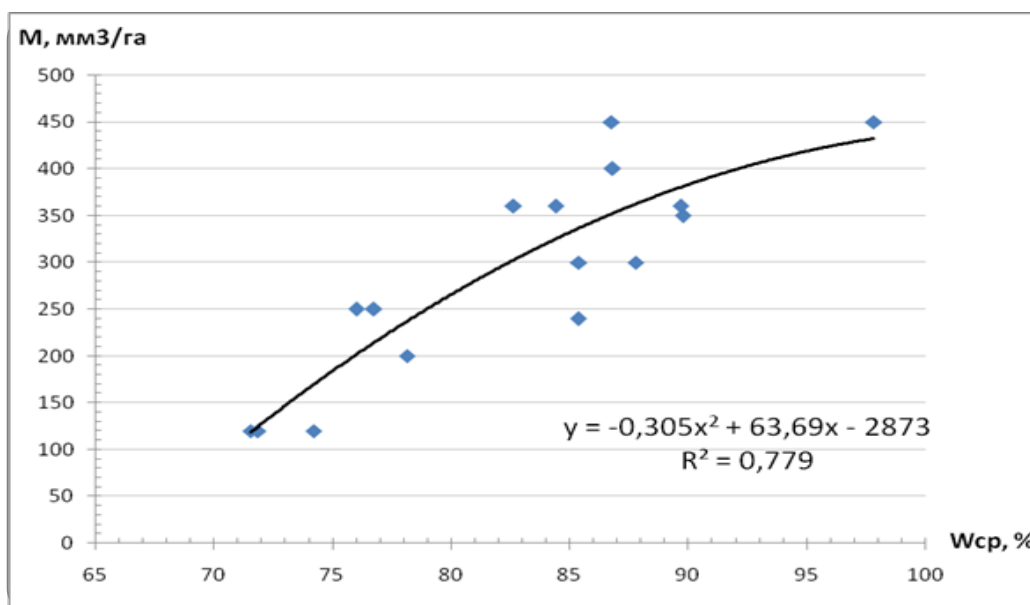
где  $m$  – поливная норма, мм,  $n$  – количество поливов.

Средняя влажность почвы за вегетационный период определяется как, % от НВ:

$$W_{\text{ср}} = \Sigma W_{\text{н}} / W_{\text{нв}} \cdot 100 \quad (14)$$

Суммарное водопотребление (мм) равно сумме  $E_i$ .

Для подтверждения прямой пропорциональности между величиной оросительных норм и влажностью почвы, был построен график зависимости этих параметров (рисунок 4).



**Рис. 4.** Зависимость оросительной нормы люцерны от средней за вегетационный период влажности (в % от НВ)

С помощью линии тренда была получена регрессионная зависимость между средней влажностью почвы и величиной оросительной нормы культуры. Полученная зависимость описывается уравнением аппроксимирующей кривой, полиномом второй степени:

$$M = - 0,305W_{\text{ср}}^2 + 63,69W_{\text{ср}} - 2873 \quad (15)$$

Величина достоверности аппроксимации составила  $R^2 = 0,779$ , это говорит о значимой корреляционной зависимости между величинами.

### Выводы

Методика расчета [16] может быть применена для проведения численных экспериментов для определения основных параметров нормирования орошения сельскохозяйственных культур.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Методические подходы реализации принципов технического регулирования в дорожном хозяйстве / Кокодеева Н.Е., Кочетков А.В., Янковский Л.В. Транспорт. Транспортные сооружения. Экология. 2011. № 1. С. 44-56.
2. Методологические основы оценки технических рисков в дорожном хозяйстве / Кокодеева Н.Е., Талалай В.В., Кочетков А.В., Янковский Л.В., Аржанухина С.П. // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Прикладная экология. Урбанистика. 2011. № 3. С. 38-49
3. Методологические основы оценки технических рисков / Кокодеева Н.Е., Талалай В.В., Кочетков А.В., Аржанухина С.П., Янковский Л.В. // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2012. № 28. С. 126-134.
4. Моделирование мотивационных экономических механизмов инновационного развития дорожного предприятия // Зайцева Е.Ю., Кочетков А.В., Сухов А.А. Интернет-журнал Науковедение. 2012. № 3(12). С. 5.
5. Нормативное и технологическое развитие инновационной деятельности дорожного хозяйства / Аржанухина С.П., Кочетков А.В., Козин А.С., Стрижевский Д.А. Интернет-журнал Науковедение. 2012. № 4 (13). С. 69.
6. Васильченко Т. А., Затиначий С. В. Обоснование необходимости комплексных мелиораций с учетом возможного изменения климата в условиях Нижнего Поволжья // Вестник СГАУ имени Н. И. Вавилова. 2008. № 3. С. 60-62.
7. Затиначий С. В., Панкова Т. А. Исследование водного режима темно-каштановой почвы на посевах люцерны // Материалы международной научно-практической конференции 25-26 ноября 2010 г., том 3. 2010. С. 339-340.
8. Затиначий С. В., Панкова Т. А. Моделирование режима орошения// Материалы докладов II Международной научно-практической конференции «Фундаментальные и прикладные науки сегодня». 2013. С.115-118.
9. Затиначий С. В., Панкова Т. А. Ресурсосберегающая математическая модель нормирования орошения// Научное обозрение. 2013. № 11. С. 10-13.
10. Затиначий, С. В. Режим орошения сои в условиях Саратовского Заволжья // Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук. - М.: 1989. 18 с.
11. Иванов, Н. Н. Об определении величин испаряемости / Н. Н. Иванов. – М.: Изв. ГГО, 1954. С. 189 – 196.
12. Панкова Т. А. К вопросу изучения динамики влагозапасов темно-каштановой почвы Саратовского Заволжья // Научный журнал «Научная жизнь». 2014. № 1. - С. 19-22.
13. Панкова Т. А. Результаты моделирования нормирования орошения сельскохозяйственных культур для условий Саратовского Заволжья // Научное обозрение. – 2014. № 1. С.17–21.
14. *Панкова Т. А. Ресурсосберегающее нормирование орошения // Вавиловские чтения 2013: Сборник статей научно-практической конференции, посвященной 126-й годовщине со дня рождения академика Н. И. Вавилова и 100-летию Саратовского ГАУ (25-27 ноября 2013 г).* 2013. С. 206-207.

15. Панкова Т. А. Совершенствование энергосберегающего режима орошения с учетом изменения погодных условий // Материалы международной научно-практической конференции 25-26 ноября 2010 г., том 3. 2010. С. 338-339.
16. Панкова Т. А. Статистическая обработка результатов нормирования орошения люцерны для условий Саратовского Заволжья // Международный научно-исследовательский журнал = Research Journal of International Studies. 2014. № 2. С. 111–112.
17. Панкова Т. А., Руковичникова А. Н. Определение влажности почвы для регулирования режима орошения сельскохозяйственных культур в условиях Саратовского Заволжья // Научная жизнь. 2013. № 4. С.17-24.
18. Панкова Т. А., Руковичникова А. Н. Определение суммарного водопотребления люцерны // Научная жизнь. 2013. № 5. С. 9–12.

**Рецензент:** Кокодеева Н. Е., д.т.н., академик транспорта, профессор кафедры «Транспортное строительство» ФГБОУ ВПО «Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А.»; Ермолаева В.В., Ученый секретарь Поволжского отделения Российской академии транспорта, к.т.н., доцент СГТУ имени Гагарина Ю.А.

**Sergey Zatinatsky**

FGBOU VPO Saratov State agrarian University im. N. I. Vavilova  
Russia, Saratov  
[Zatin\\_s@mail.ru](mailto:Zatin_s@mail.ru)

**Tatiana Pankova**

FGBOU VPO Saratov State agrarian University im. N. I. Vavilova  
Russia, Saratov  
[vtanja@mail.ru](mailto:vtanja@mail.ru)

**Elvira Shmagina**

FGBOU «Saratov state technical University named after Y.A. Gagarin»  
Russia, Saratov  
[shmagina.e.yu@mail.ru](mailto:shmagina.e.yu@mail.ru)

**Andrey Kochetkov**

Perm national research polytechnical university  
Russia, Perm  
[soni.81@mail.ru](mailto:soni.81@mail.ru)

## **Validation models in technical rationing (on example of resource-saving models of water consumption)**

**Abstract.** Due to climatic changes occurring at present time in all regions of Russia, the most urgent problem for science and practice are scientific developments in field of rationing water consumption crops by predicting it with help of mathematical models of resource. Thus, article presents a mathematical calculation algorithm of resource models for alfalfa irrigation regime conditions Saratov Zavolzhja also provides a graphic of model, which is built automatically. Simulation results alfalfa irrigation regime on four options with different boundary conditions specified soil moisture. The estimated, irrigation norms for irrigation of alfalfa under Saratov Zavolzhja. Use of parameter of an evaporability at calculation of water consumption of crops demands a choice of more exact technique allowing to reflect really process of evaporation from irrigated field which spreading surface changes during the vegetative period. The model allows to make the technological decision for rationing of an irrigation of a lucerne under changing environment by carrying out simulation of various scenarios. Terms, irrigation and irrigating norms for watering of a lucerne in conditions of Saratov Zavolzhje are presented.

**Keywords:** model; water consumption; evaporation; culture; verification; result; humidity.

## REFERENCES

1. Metodicheskie podhody realizacii principov tehničeskogo regulirovanija v dorozhnom hozjajstve / Kokodeeva N.E., Kochetkov A.V., Jankovskij L.V. *Transport. Transportnye sooruzhenija. Jekologija*. 2011. № 1. S. 44-56.
2. Metodologičeskie osnovy ocenki tehničeskikh riskov v dorozhnom hozjajstve / Kokodeeva N.E., Talalaj V.V., Kochetkov A.V., Jankovskij L.V., Arzhanuhina S.P. // *Vestnik Permskogo nacional'nogo issledovatel'skogo politehničeskogo universiteta. Prikladnaja jekologija. Urbanistika*. 2011. № 3. S. 38-49.
3. Metodologičeskie osnovy ocenki tehničeskikh riskov / Kokodeeva N.E., Talalaj V.V., Kochetkov A.V., Arzhanuhina S.P., Jankovskij L.V. // *Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Serija: Stroitel'stvo i arhitektura*. 2012. № 28. S. 126-134.
4. Modelirovanie motivacionnyh jekonomičeskikh mehanizmov innovacionnogo razvitija dorozhnogo predprijatija // Zajceva E.Ju., Kochetkov A.V., Suhov A.A. *Internet-zhurnal Naukovedenie*. 2012. № 3 (12). S. 5.
5. Normativnoe i tehnologičeskoe razvitie innovacionnoj dejatel'nosti dorozhnogo hozjajstva / Arzhanuhina S.P., Kochetkov A.V., Kozin A.S., Strizhevskij D.A. *Internet-zhurnal Naukovedenie*. 2012. № 4 (13). S. 69.
6. Vasil'chenko T. A., Zatinackij S. V. Obosnovanie neobhodimosti kompleksnyh melioracij s uchetom vozmožnogo izmenenija klimata v uslovijah Nizhnego Povolzh'ja // *Vestnik SGAU imeni N. I. Vavilova*. 2008. № 3. S. 60-62.
7. Zatinackij S. V., Pankova T. A. Issledovanie vodnogo rezhima temno-kashtanovoj pochvy na posevah ljucerny // *Materialy mezhdunarodnoj nauchno-praktičeskoj konferencii 25-26 nojabrja 2010 g., tom 3*. 2010. S. 339-340.
8. Zatinackij S. V., Pankova T. A. Modelirovanie rezhima orošenija // *Materialy dokladov II Mezhdunarodnoj nauchno-praktičeskoj konferencii «Fundamental'nye i prikladnye nauki segodnja»*. 2013. S.115-118.
9. Zatinackij S. V., Pankova T. A. Resursosberegajushhaja matematičeskaja model' normirovanija orošenija // *Nauchnoe obozrenie*. 2013. № 11. S. 10-13.
10. Zatinackij, S. V. Rezhim orošenija soi v uslovijah Saratovskogo Zavolzh'ja // *Avtoreferat dissertacii na soiskanie uchenoj stepeni kandidata tehničeskikh nauk*. - M.: 1989. 18 s.
11. Ivanov, N. N. Ob opredelenii veličin isparjaemosti / N. N. Ivanov. – M.: *Izv. GGO*, 1954. S. 189 – 196.
12. Pankova T. A. K voprosu izučeniya dinamiki vlagozapasov temno-kashtanovoj pochvy Saratovskogo Zavolzh'ja // *Nauchnyj zhurnal «Nauchnaja zhizn'»*. 2014. № 1. S. 19-22.
13. Pankova T. A. Rezul'taty modelirovanija normirovanija orošenija sel'skohozjajstvennyh kul'tur dlja uslovij Saratovskogo Zavolzh'ja // *Nauchnoe obozrenie*. 2014. № 1. S.17–21.
14. Pankova T. A. Resursosberegajushhee normirovanie orošenija // *Vavilovskie čtenija 2013: Sbornik statej nauchno-praktičeskoj konferencii, posvjashhennoj 126-j godovshhine so dnja rozhdenija akademika N. I. Vavilova i 100-letiju Saratovskogo GAU (25-27 nojabrja 2013 g.)*. –2013. S. 206-207.

15. Pankova T. A. Sovershenstvovanie jenergo-sberegajushhego rezhima oroshenija s uchetom izmenenija pogodnyh uslovij // Materialy mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoj konferencii 25-26 nojabrja 2010 g., tom 3. 2010. S. 338-339.
16. Pankova T. A. Statisticheskaja obrabotka rezul'tatov normirovanija oroshenija ljucerny dlja uslovij Saratovskogo Zavolzh'ja // Mezhdunarodnyj nauchno-issledovatel'skij zhurnal = Research Journal of International Studies. 2014. № 2. S. 111–112.
17. Pankova T. A., Rukovichnikova A. N. Opredelenie vlazhnosti pochvy dlja regulirovanija rezhima oroshenija sel'skohozjajstvennyh kul'tur v uslovijah Saratovskogo Zavolzh'ja // Nauchnaja zhizn'. 2013. № 4. S.17-24.
18. Pankova T. A., Rukovichnikova A. N. Opredelenie summarnogo vodopotreblenija ljucerny // Nauchnaja zhizn'. 2013. № 5. S. 9–12.