

УДК 631.675.001.2:338.43

С. М. Васильев, А. В. Акопян, В. В. Слабунов

Российский научно-исследовательский институт проблем мелиорации, Новочеркасск,
Российская Федерация

ЭКОНОМИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ЦЕЛЕСООБРАЗНОСТИ ОРОШЕНИЯ КУЛЬТУР И ИХ ОРОСИТЕЛЬНЫХ НОРМ С ПОМОЩЬЮ СЦЕНАРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Цель работы заключалась в определении экономически оптимальной оросительной нормы с учетом максимума прибыли (минимума убытков). Была поставлена задача найти величину оросительной нормы, позволяющую получить максимальную прибыль на мелиорируемых землях с учетом затрат на орошение. Т. е. предельная урожайность в экономическом оптимуме должна быть равна отношению дополнительных удельных затрат на единицу используемого ресурса (себестоимости воды) к дополнительному доходу от реализации единицы выпускаемого продукта (закупочной цене). В результате выполненных вычислений были сделаны следующие выводы: оптимальная площадь всегда соответствует доступному для освоения ирригационному фонду; постоянные затраты и издержки, не зависящие от оросительной нормы, не влияют на выбор экономически оптимальной оросительной нормы; экономически оптимальная оросительная норма повышается с ростом закупочной цены и падает с ростом себестоимости оросительной воды; существует оросительная норма, ниже которой прибыль переходит в убытки. Для определения экономически обоснованных оросительных и поливных норм, соответствующих минимальному снижению чистого дохода при поливах уменьшенными нормами, предложена система сценарных исследований, в которой в качестве параметра управления определен объем водозабора в распределительном канале. Построена производственная функция участка, которая представляет собой отражение роста чистого дохода в зависимости от водозабора в распределительный канал и в дальнейшем используется как исходная информация для решения задачи оптимального распределения водозабора в оросительную систему между участками, подвешенными к распределительным каналам, исходя из требования максимизации суммарного по участкам чистого дохода.

Ключевые слова: оросительная норма, чистый доход, производственная функция, сценарные исследования, анализ устойчивости решений, оросительная система, объем водозабора.

S. M. Vasilyev, A. V. Akopyan, V. V. Slabunov

Russian Research Institute of Land Improvement Problems, Novocherkassk,
Russian Federation

ECONOMICAL SUBSTANTIATION OF REASONABILITY FOR CROP IRRIGATION AND THEIR IRRIGATION REQUIREMENTS USING SCENARIO STUDY

The objective of the work is to determine economically optimal irrigation requirement assuming the profit maximum (minimum loss). The task was to find the value of irrigation requirement which enables to get maximal profit at irrigative lands taking into account the costs of irrigation. In other words maximum yield within economical optimum has to be equal the ratio of additional costs per the unit of resource used (cost of water) to the additional income

from sale of the product unit (purchase price). As a result of calculation following conclusions were made: optimal area always corresponds to the available irrigation fund; fixed costs and the costs which do not depend on irrigation requirements have no impact on the choice of economically optimal irrigation requirement; economically optimal irrigation requirement increases together with the growth of purchase price and falls down with the growth of prime cost of irrigation water; there is such an irrigation requirement below which the profit turns into loss. To determine economically substantiated irrigation requirement and rates which correspond to the minimal decrease of net profit under the reduced irrigation rates, the system of scenario study was proposed where as a managing parameter was the volume of water intake in distributor canal. Production function of the site is built which is a reflection of the net profit growth depending on water intake in distributor canal. It can further be used as initial information for solving the problem of optimal distribution of water intake to the irrigation system between sites hanged to the distributor canals assuming the requirement of maximum summary net profit from sites.

Keywords: irrigation requirement, net profit, production function, scenario study, analysis of solution stability, irrigation system, volume of water intake.

В советский период государство брало на себя все капитальные затраты, а также эксплуатационные издержки по транспортировке и подаче воды и в то же время устанавливало планы на максимальную урожайность. В этих условиях сельскохозяйственные предприятия организовали режим орошения, близкий к биологически оптимальному, обеспечивающему получение максимально возможной урожайности в конкретных природно-климатических условиях.

Сейчас рыночная экономика полностью или частично перекладывает затратную часть на плечи хозяйств [1, 2]. Поэтому возникла необходимость поиска экономически оптимальной оросительной нормы с учетом максимума прибыли (минимума убытков). Это достаточно сложная проблема, для решения которой в рамках имитационного моделирования можно получить принципиальные закономерности, которые затем необходимо уточнять в реальной деятельности [3].

Задача состоит в том, чтобы, учитывая затраты, связанные с орошением, найти величину оросительной нормы, которая обеспечивала бы максимальную прибыль на мелиорируемых землях:

$$\Pi(Z) = B(Z) - C(Z),$$

где Z – величина оросительной нормы, м³/га;

$B(Z)$ – выручка от реализации продукции, получаемой с орошаемого массива (без НДС). Выручка зависит от достигнутой урожайности, которая в свою очередь зависит от величины оросительной нормы Z , руб.;

$C(Z)$ – валовые издержки, которые также зависят от оросительной нормы через себестоимость оросительной воды, руб.·га/м³.

Согласно условию максимизации прибыли масштаб производства и, соответственно, роста потребления ресурсов определяются соотношением предельного дохода (MR) и предельных издержек (MC), т. е. пока прирост дохода превышает прирост издержек, потребление дополнительного ресурса (в данном случае оросительной воды) оправдано:

$$MR=MC.$$

Следовательно, нужно найти такую оросительную норму, которая позволяла бы получить равенство правой и левой частей этого уравнения.

Известно, что предельный доход и предельные издержки вычисляются как производные функций соответственно дохода $B(Z)$ и издержек $C(Z)$:

$$MR = \frac{dB(Z)}{dZ} = B'(Z),$$

$$MC = \frac{dC(Z)}{dZ} = C'(Z).$$

Валовой доход $B(Z)$ в зависимости от урожайности, площади и закупочной цены можно вычислить как:

$$B(Z) = X(Z) \cdot P_3 = Y(Z) \cdot S \cdot P_3,$$

где $X(Z)$ – валовой сбор урожая рассматриваемой сельскохозяйственной культуры, который может быть получен в хозяйстве, т;

P_3 – закупочная цена сельскохозяйственной продукции, руб./т (без НДС);

$Y(Z)$ – урожайность, т/га;

S – площадь участка, га.

Издержки можно представить как сумму трех составляющих:

$$C(Z) = TFC + C_A + C_M(Z),$$

где TFC – постоянные издержки: содержание основных фондов сельскохозяйственного производства, зарплата управленческого персонала, фиксированные налоговые платежи и другие обязательства предприятия, руб.;

C_A – агротехнические издержки, определяемые пропорционально площади сельхозпроизводства и зависящие от выращиваемых культур и удельных на один гектар сельскохозяйственных затрат:

$$C_A = a \cdot S,$$

где a – норматив удельных сельскохозяйственных затрат на мелиорируемых землях, руб./га (пока представим, что они – постоянная величина, хотя они растут при увеличении оросительной нормы);

S – площадь (мелиоративный фонд хозяйства или отведенная под данную культуру площадь), га;

$C_M(Z)$ – мелиоративные затраты, пропорциональные объему забранной воды (затраты на электроэнергию, обслуживание оросительной сети, насосных станций (НС), дождевальной техники и т. д.):

$$C_M(Z) = P_B \cdot V,$$

где P_B – себестоимость 1 м³ воды, руб./м³;

V – объем забранной воды, м³.

$$C_M = P_B \cdot V = P_B \cdot Z \cdot S.$$

Запишем теперь выражения для предельного дохода и предельных издержек, приравняем их друг к другу и произведем их сравнение:

$$B'(Z) = Y'(Z) \cdot P_3 \cdot S,$$

$$C'(Z) = [TFC + a \cdot S + Pa' \cdot Z \cdot S]'_Z = Pa' \cdot S,$$

$$B'(Z) = C'(Z),$$

$$Y'(Z) \cdot P_3 \cdot S = Pa' \cdot S.$$

Приравняв предельный доход к предельным издержкам, получим ус-

ловие (уравнение) для определения экономически оптимальной оросительной нормы, соответствующей максимуму прибыли при данной закупочной цене и уровне мелиоративных затрат:

$$Y'(Z) = \frac{Pa'}{P_3}. \quad (1)$$

Т. е. предельная урожайность в экономическом оптимуме должна быть равна отношению дополнительных удельных затрат на единицу используемого ресурса (себестоимости воды) к дополнительному доходу от реализации единицы выпускаемого продукта (закупочной цене).

Оптимальная оросительная норма может быть получена из уравнения (1). Его решение выполним графически: представим на одном чертеже графики левой и правой частей равенства (1) и найдем точку пересечения кривых. Она и будет соответствовать экономически оптимальной оросительной норме $Z^* = Z_о$ (где $Z_о < Z_о$), которая дает максимум прибыли хозяйству при данном уровне цен и издержек. Заштрихованная площадь на чертеже пропорциональна величине прибыли (рисунок 1).

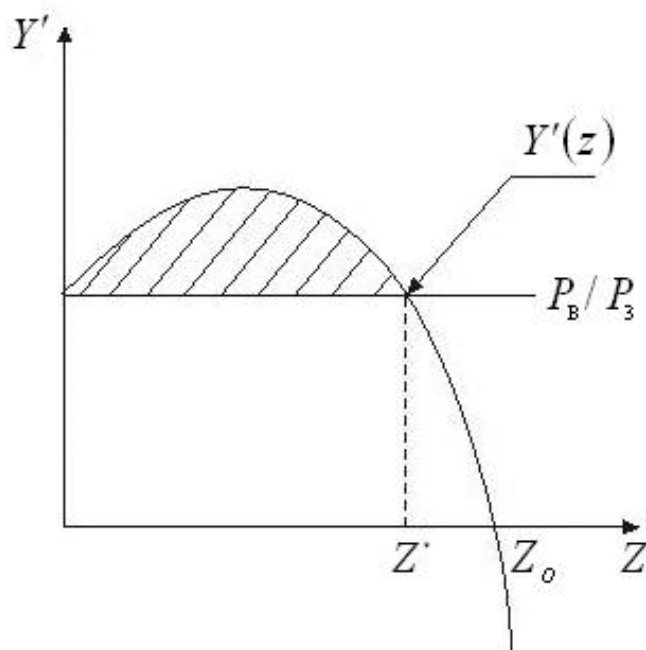


Рисунок 1 – Графоаналитический метод решения уравнения (1) для определения экономически оптимальной оросительной нормы

Таким образом, можно сделать вывод, что биологический оптимум соответствует $Y'(Z)=0$ (максимуму урожайности), а экономический оптимум – $Y'(Z)=P_B/P_3$ (максимуму прибыли).

На рисунке 1 производная урожайности по оросительной норме (приростная или, как говорят, предельная урожайность) может быть вычислена как

$$Y'(Z)=2\alpha Y_0(Z_0-Z)\cdot e^{-\alpha(Z_0-Z)^2}$$

или по-другому:

$$Y'(Z)=2\alpha(Z_0-Z)\cdot Y(Z).$$

Вычисленная вторая производная урожайности

$$Y''(Z)=2\alpha\cdot Y(Z)\cdot(2\alpha\cdot(Z_0-Z)^2-1)$$

характеризует изменение темпа прироста урожайности. Если при увеличении оросительной нормы вторая производная урожайности остается положительной, то темп прироста урожайности увеличивается, если меньше нуля, то темп прироста урожайности падает.

Равенство нулю второй производной урожайности (переход от ее положительных значений к отрицательным) характеризует наличие точки перегиба кривой урожайности на участке ее роста. Данное свойство отражает типичный характер проявления фундаментального закона убывающей отдачи факторов производства (продуктивности сельскохозяйственного земельного участка при воздействии факторов интенсификации).

Анализ выполненных вычислений позволяет сделать следующие выводы:

- оптимальная площадь всегда соответствует доступному для освоения ирригационному фонду S ;

- постоянные затраты и затраты, не зависящие от оросительной нормы Z , не влияют на выбор экономически оптимальной оросительной нормы;

- экономически оптимальная оросительная норма всегда меньше (либо равна) Z_0 ; она повышается с ростом закупочной цены и падает с ростом себестоимости оросительной воды;

- существует оросительная норма $Z_{\text{предельн.}}$, ниже которой прибыль переходит в убытки.

Система сценарных исследований предполагает численную реализацию и анализ комплекса моделей, формализующих функционирование оросительной системы (ОС) при изменяющихся условиях внешней среды, с целью получения формализованного образа ресурсосберегающей ОС.

Поле условий представляет собой совокупность экзогенных и эндогенных факторов. Экзогенно задаются климатические факторы, показатели внешней экономической среды: цены на продукцию, спрос, налоговые ставки, условия внешнего финансирования развития, объем госзаказа и другие. Эндогенно задаются технико-технологические и экономические параметры ОС: техническая и производственная структура (площади орошения, парк поливной и дождевальнoй техники и др.); технические показатели ОС (КПД сети, режимы эксплуатации и др.); экономические показатели функционирования ОС (составляющие затратной части, чистый доход (ЧД) и др.). Из поля условий выбираются фактор или факторы, позволяющие реализовать системную цель.

Возвратимся к цели системы сценарных исследований, а именно к определению экономически обоснованных оросительных и поливных норм, соответствующих минимальному снижению ЧД при поливах уменьшенными нормами. Примем в качестве параметра управления объем водозабора в распределительном канале W . Тогда, изменяя численное значение параметра W от нижней границы \underline{W} с некоторым шагом Δ до верхней границы \overline{W} , можно получить производственную функцию участка,

решая для каждого значения параметра $W^{(s)}$ задачу оптимизации структуры орошения в сочетании с богарой (задача 1).

В соответствии с постановкой задачи 1, производственная функция (ПФ), представленная в таблице 1, – это зависимость ЧД от объема водозабора в распределительный канал, к которому подвешен участок. Выбор объема водозабора в качестве параметра задачи линейного программирования (модель 1) обусловлен следующими соображениями. Объем водозабора в голове канала определяет верхнюю границу максимальной ординаты укомплектованного графика гидромодуля, что в свою очередь оказывает влияние на выбор режима орошения – полив полными или уменьшенными поливными нормами. Режим полива определяет показатели урожайности сельскохозяйственных культур, урожайность влияет на спрос, спрос – на цену реализации. Таким образом, при выборе в качестве параметра управления объема водозабора в голове канала последующая идентификация сценария и системы сценариев представляется обоснованной с точки зрения системного подхода.

Таблица 1 – Производственная функция

Номер значения параметра S	Значение параметра $W^{(s)}$	Значение показателя эффективности функционирования ОС $F(X^{(s)}, W^{(s)})$
1	\underline{W}	$F(X^{(1)}, W^{(1)})$
2	$\overline{W} + \Delta$	$F(X^{(2)}, W^{(2)})$
...
S'	$\underline{W} + (S' - 1)\Delta$	$F(X^{(S')}, W^{(S')})$
...
$S-1$	$\overline{W} - \Delta$	$F(X^{(S-1)}, W^{(S-1)})$
\overline{S}	\overline{W}	$F(X^{(S)}, W^{(S)})$

Экономическими исследованиями доказано, что производственная функция любой производственной системы с достаточной степенью точности аппроксимируется кривой второго порядка. На рисунке 2 представлен общий вид производственной функции участка, подвешенного к распределительному каналу.

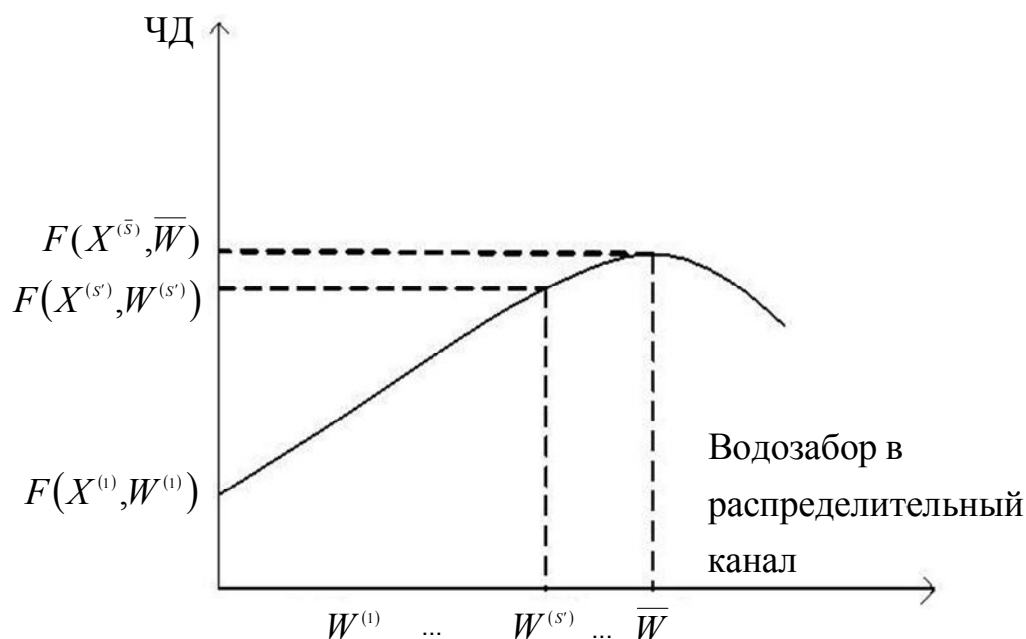


Рисунок 2 – Общий вид производственной функции участка

В соответствии с постановкой задачи 1, при каждом значении параметра $W^{(s)}$ (водозабора в распределительный канал), происходит оптимизация структуры орошаемых севооборотов. В зависимости от степени дефицита оросительной воды можно выделить три характерных участка ПФ:

- дефицит водоподачи жесткий: орошаемая площадь сокращена; рост ЧД происходит за счет размера площади орошения при увеличении объема водоподачи и оптимизации состава и площадей культур в севооборотах;

- дефицит водоподачи умеренный: площадь орошения равна фактически существующей; рост ЧД происходит за счет оптимизации состава и площадей культур в севооборотах;

- дефицита водоподачи нет – увеличение ЧД отсутствует.

Восходящая часть кривой иллюстрирует рост эффекта производства – ЧД участка, который происходит вследствие увеличения объема дефицитного ресурса – водозабора в распределительный канал (значение параметра). Точка $F(X^{(1)}, W^{(1)})$ соответствует нулевому значению водозабора, т. е. это ЧД на богаре. Нисходящая часть кривой иллюстрирует падение эффекта – ЧД участка. Снижение эффекта происходит в ситуации, когда ре-

курс не дефицитен, а объем ресурса увеличивается и затраты на его пополнение производятся, т. е. объем водозабора в распределительный канал превышает потребность в оросительной воде. Высшая точка кривой производственной функции соответствует верхней границе потребления ресурса и предельному значению эффекта, т. е. верхней границе водозабора в распределительный канал и максимально возможному значению ЧД участка \bar{F} :

$$\bar{F} = F(X^{(\bar{S})}, \bar{W}),$$

где $\bar{W} = \operatorname{argmax} F(X^{(S)}, W^{(S)})$.

Значение верхней границы водозабора в распределительный канал определяется следующим образом. На каждом шаге S по параметру $W^{(S)}$ проверяется наличие в оптимальном плане $X^{(S)}$ – переменной, которая интерпретируется как недоиспользование водозабора в распределительный канал. Шаг S по параметру, на котором недоиспользование появилось в оптимальном плане, фиксируется как последний шаг построения ПФ \bar{S} . Значение параметра $W^{(S)}$ уменьшается на величину недоиспользования ресурса, это верхняя граница водозабора в распределительный канал \bar{W} . Чистый доход участка, вычисленный при водозаборе \bar{W} , соответствует предельному значению ЧД.

Значение нижней границы водозабора в распределительный канал соответствует моменту, с которого дефицит водоподдачи станет умеренным, т. е. вся орошаемая площадь поливается в соответствии с заданным планом сценария технологий полива. Значение шага по параметру \underline{S} , при котором это произойдет, определяется по отсутствию в оптимальном плане $X^{(S)}$ переменной, интерпретируемой как недоиспользование площади орошения. Значение производственной функции $W^{(S)}$ – это нижняя граница параметра \underline{W} .

Производственная функция участка может быть использована в двух направлениях:

- как отражение динамики роста ЧД в зависимости от водозабора в распределительный канал;

- как исходная информация для решений задачи оптимального распределения водозабора в ОС между участками, подвешенными к распределительным каналам, – задача динамического программирования – задача оптимального распределения объема головного водозабора по водозаборам $P - r$, $r = \overline{1, R}$, исходя из требования максимизации суммарного по участкам чистого дохода.

Полученный оптимальный план анализируется на устойчивость и корректируется с целью учета неформализуемых факторов и улучшения плана.

Анализ устойчивости решения производится на основе проверки границ устойчивости оптимального плана. Анализ и определение направлений возможного улучшения плана производятся с применением аппарата теории двойственности линейного программирования [4].

Результат:

- оптимальная структура орошаемого земледелия в сочетании с богарным, полученная исходя из оптимального водозабора в $P - r$;

- оптимальные оросительные нормы по культурам, полученные как результат сопоставления ЧД при технологиях полива $\{a; b\}$, определенных планом сценария $\{S_j^a; q_j^a\}^r$, $\{S_j^b; q_j^b\}^r$, $r = \overline{1, R}$;

- на основе оптимальных оросительных норм по культурам участков, подвешенных к распределительным каналам $\{q_j^a\}^r$, $\{q_j^b\}^r$, $r = \overline{1, R}$, формируются оптимальные режимы поливов. Для этого используется модель расчета прогнозных значений дефицита водопотребления культур. Она строится на основе уравнения водного баланса корнеобитаемого слоя с использованием прогнозных значений составляющих баланса. Расчетные прогнозные значения дефицита водопотребления корректируются по фактическим данным влагозапасов корнеобитаемого слоя и согласовываются с расчетными оптимальными поливными нормами.

Список использованных источников

1 Акопян, А. В. Экономический инструментарий реализации услуг по подаче воды для орошения в зоне действия крупных мелиоративных систем [Электронный ресурс] / А. В. Акопян, Н. И. Сафарова // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации: электрон. периодич. изд. / Рос. науч.-исслед. ин-т проблем мелиорации. – Электрон. журн. – Новочеркасск: РосНИИПМ, 2011. – № 3(03). – 12 с. – Режим доступа: <http://rosniipm-sm.ru/archive?n=37&id=45>.

2 Отечественный и зарубежный опыт ведения платного водопользования в сельском хозяйстве: науч. обзор / С. М. Васильев, А. В. Акопян, М. В. Власов, Н. И. Сафарова; ФГБНУ «РосНИИПМ». – Новочеркасск, 2012. – 27 с. – Деп. в ВИНТИ 28.05.12, № 249-В2012.

3 Акопян, А. В. Модель компоновки унифицированного прототипа конструкции оросительной системы / А. В. Акопян, В. В. Слабунов, Л. Р. Нозадзе // Научный журнал «Научное обозрение». – 2014. – № 3. – С. 27–33.

4 Васильев, Ф. П. Линейное программирование / Ф. П. Васильев, А. Ю. Иваницкий. – М.: Факториал, 1998. – 176 с.

Васильев Сергей Михайлович – доктор технических наук, доцент, заместитель директора по науке, Российский научно-исследовательский институт проблем мелиорации, Новочеркасск, Российская Федерация.

Контактный телефон: (8635) 26-51-11.

E-mail: rosniipm@yandex.ru

Vasilyev Sergey Mikhaylovich – Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Deputy Director for Science, Russian Scientific-Research Institute of Land Improvement Problems, Novochoerkassk, Russian Federation.

Contact telephone number: (8635) 26-51-11.

E-mail: rosniipm@yandex.ru

Акопян Александра Васильевна – кандидат технических наук, начальник отдела, Российский научно-исследовательский институт проблем мелиорации, Новочеркасск, Российская Федерация.

Контактный телефон: (8635) 26-65-00.

E-mail: rosniipm@yandex.ru

Akopyan Aleksandra Vasilyevna – Candidate of Technical Sciences, Head of the Department, Russian Research Institute of Land Improvement Problems, Novochoerkassk, Russian Federation.

Contact telephone number: (8635) 26-65-00.

E-mail: rosniipm@yandex.ru

Слабунов Владимир Викторович – кандидат технических наук, начальник отдела, Российский научно-исследовательский институт проблем мелиорации, Новочеркасск, Российская Федерация.

Контактный телефон: (8635) 26-65-00.

E-mail: rosniipm@yandex.ru

Slabunov Vladimir Viktorovich – Candidate of Technical Sciences, Head of the Department, Russian Research Institute of Land Improvement Problems, Novochoerkassk, Russian Federation.

Contact telephone number: (8635) 26-65-00.

E-mail: rosniipm@yandex.ru