

УДК 631.31:631.51:631.587:631.67:62-51

Машины и технологии капитальной планировки рисовых чеков

Machines and technologies of entire lands levelling for paddy field

А. Н. ЕФРЕМОВ¹, канд. техн. наук
С. Ю. НАСОНОВ², инж.

¹ ОАО "Инженерный центр "Луч", Москва,
Россия, icluch@yandex.ru

² Российский государственный аграрный
университет — МСХА имени К. А. Тимирязева,
Москва, Россия, serj.nasonow@yandex.ru

A. N. EFREMOV¹, PhD in Engineering
S. Yu. NASONOV², Engineer

¹ Luch Engineering Center, PLC, Moscow, Russia,
icluch@yandex.ru

² Russian State Agrarian University — Moscow
K. A. Timiryazev Agricultural Academy, Moscow,
Russia, serj.nasonow@yandex.ru

Капитальная планировка рисовых чеков с точностью ± 3 см обеспечивает высокие и стабильные урожаи риса и экономию поливной воды. Цель статьи — определение технических и экономических показателей различных машин и технологий планировки рисовых чеков и оценка эффективности их применения. В начале планировки проводят исполнительную съемку чека с использованием лазерного передатчика и автонивелира. По записанным данным съемки на компьютере со специальным программным обеспечением составляют проект планировочных работ. Капитальную планировку проводят с применением различных машин: скрепера, планировщика, клин-планировщика, скрепер-планировщика. Существует четыре основных варианта технологии. В первом и втором вариантах используют скрепер и планировщик, в третьем — клин-планировщик, скрепер и планировщик, в четвертом — скрепер-планировщик. Каждая машина оснащается лазерным передатчиком, лазерно-приемным устройством и гидроблоком, что обеспечивает точность планировки $\pm 2-3$ см. После окончания планировки по аналогии с исполнительной съемкой проводят контрольную съемку и по составленной картограмме оценивают точность спланированной поверхности чека. В статье приведены технические характеристики автоматизированных машин. На основе анализа работы машин различных типов установлено, что скрепер-планировщик имеет значительные преимущества за счет большего объема перевозки грунта в режиме скрепера и увеличенной толщины среза грунта по сравнению с планировщиком. Это повышает производительность скрепера-планировщика и снижает число его проходов. Он также применим на доводочной (чистой) планировке в режиме работы планировщика. Даны расчетные зависимости для определения эксплуатационной производительности различных машин, занятых на планировке, и формулы для подсчета ее стоимости и экономической эффективности для основных вариантов технологий. На основе показателей эксплуатационных характеристик машин и расчетных данных экономической эффективности определены технико-экономические показатели капитальной планировки рисовых чеков для условий Краснодарского края. Наименьшая стоимость планировочных работ и максимальный экономический эффект соответствуют варианту технологии с использованием одного универсального короткобазового скрепера-планировщика.

Ключевые слова: капитальная планировка; чек; урожай; рис; экономия; поливная вода; съемка; проектирование; машина; скрепер; планировщик; клин-планировщик; скрепер-планировщик; лазерный передатчик; лазерно-приемное устройство; гидроблок; технологии; преимущества; расчет; производительность; стоимость; технико-экономические показатели; эффективность.

The entire lands levelling for paddy field with the precision of ± 3 cm provides heavy and stable rice crop and irrigation water saving. The purpose of the article is the determination of technical and economic indicators of various machines and technologies of levelling for paddy field and the estimation of efficiency of their use. At the beginning of levelling, executive survey of the check should be performed with application of the laser transmitter and automatic level. Based on the recorded survey data, the plan of levelling operations is made on computer with special software. Entire lands levelling requires the use of various machines: the scraper, the land leveller, the V-type leveller, the ejector scraper. Four main variants of technology are used. In the first and second variants of technology, the scraper and land leveller are used; in the third one there are V-type leveller, scraper and land leveller; in the fourth one the ejector scraper is in use. Each machine is equipped with the laser transmitter, laser receiving device and hydraulic unit, which provides levelling precision of $\pm 2-3$ cm. After the levelling by analogy with executive survey, the control one is performed and according to the constructed cartogram, the precision of the levelled surface of the check is estimated. The technical characteristics of the automated machines are presented. Based on the analysis of performance of various types of machines, it is established that the ejector scraper has significant advantages due to the increased volume of soil transportation in scraper mode and the increased thickness of soil cutting in comparison with the land leveller. All of this improves performance of the ejector scraper and reduces number of its passes. The ejector scraper also is applicable in finishing levelling in operating mode of land leveller. The calculated dependences for determination of process capacity of various machines used in the levelling are given. The formulas for calculation of its cost and economic efficiency for the main variants of technology are also given. On the basis of indicators of operational characteristics of machines and calculated data of economic efficiency, the technical and economic indicators of entire lands levelling for paddy field in conditions

of Krasnodar Krai are determined. The lowest cost of levelling operations and the maximum economic benefit corresponds to the variant of technology using one multi-purpose ejector scraper with short base.

Keywords: entire lands levelling; check; crop; rice; economy; irrigation water; survey; projecting; machine; scraper; land leveler; V-type leveler; ejector scraper; laser transmitter; laser receiving device; hydraulic unit; technology; advantage; calculation; performance; technical and economic indicators; efficiency.

Введение

Основное мелиоративное мероприятие, обеспечивающее высокие и стабильные урожаи риса и экономию поливной воды, — капитальная планировка рисовых чеков с точностью ± 3 см. Хозяйства Краснодарского края проводят такую планировку каждые 5—8 лет. Применение в этот период эксплуатационной (ежегодно) и ремонтной (раз в 3 года) планировок сокращает потери урожайности риса на 20—30 % [1].

Цель исследования

Цель исследования — определение технических и экономических показателей различных машин и технологий планировки рисовых чеков и оценка эффективности их применения.

Анализ состояния планировки рисовых чеков

Капитальная планировка включает следующие виды работ:

- подготовку почвы;
- исполнительную вертикальную съемку поверхности чека;
- составление по данным съемки проекта планировочных работ;
- планировку чека по составленному проекту;
- контрольную съемку с оценкой точности работ.

Подготовка почвы предусматривает вспашку и дискование. Съемку проводят с применением лазерного передатчика типа Rugby 810 и автонивелира АН-3, смонтированного на транспортном средстве (тракторе, самоходном шасси, автомобиле). Передатчик, установленный на чеке, служит для формирования путем кругового вращения лазерного луча опорной плоскости, относительно которой производится отсчет проектных отметок поверхности земли. В процессе движения по чеку автонивелир записывает и хранит данные съемки.

Затем эти данные вводят в компьютер с программным обеспечением ПО "ЧЕК" и составляют проект планировочных работ в виде картограммы чека и схемы возки грунта. Проект планировки чека служит оптимальным маршрутом движения машин. После окончания планировки по аналогии с исполнительной съемкой проводят контрольную съемку и по составленной картограмме оценивают точность спланированной поверхности чека.

Капитальную планировку рисовых чеков выполняют с применением различных отечественных мелиоративных и других машин, к числу которых относятся скреперы ДЗ-87 и ДЗ-77, короткобазовые планировщики с бездонным ковшем ПАУ-4,2 и ПАУ-3,6, клин-планировщики КП-719, КПУ-4,5 и скрепер-планировщик СП-4,2. Каждая машина оснащается лазерно-приемным устройством ОКО-30 и гидроблоком ГБ-УК, что обеспечивает автоматическое поддержание рабочего органа машины на проектной глубине копания, параллельной лазерной опорной плоскости, формируемой передатчи-

ком типа Rugby 100. Планировщики, скрепер-планировщик и лазерная аппаратура разработаны ОАО "Инженерный центр "Луч". Используют также короткобазовые планировщики типа Мара (Италия) с лазерным управлением.

Применение того или иного типа машин во многом зависит от принятой технологии планировки рисовых чеков. На сегодняшний день известны четыре основных варианта технологий (Т-1, Т-2, Т-3, Т-4).

В классическом виде технология планировочных работ по варианту Т-1 включает два этапа. На первом этапе скрепером (рис. а) производится срезка грунта на повышениях чека и его развозка в понижения, на втором — доводочная (чистовая) планировка короткобазовым планировщиком (рис. б) на всей площади чека в два следа.

При работе машин с лазерным управлением сначала на чеке устанавливают лазерный передатчик, затем находят по ранее составленной картограмме место на поверхности чека с проектной отметкой, опускают на это место рабочий орган машины и настраивают центр приемника на лазерную плоскость. Потом, руководствуясь маршрутом перевозки грунта на проекте, производят автоматическую планировку чека с точностью ± 2 —3 см.

Вариант Т-2 технологии планировки включает также два этапа. На первом этапе одновременно заняты две машины. Короткобазовым планировщиком срезают грунт на повышенных местах. При полном наборе грунта ковш приподнимают для разгрузки, оставляя на чеке земляной отвал, который скрепер забирает в свой ковш, отвозит и отсыпает в пониженные места. После завершения первого этапа выполняют доводочную планировку этим же планировщиком диагонально-перекрестными проходами.

Технология планировки чеков по варианту Т-3 также состоит из двух этапов. На первом этапе клин-планировщик (рис. в) срезает грунт в зонах повышений и одновременно формирует по обеим сторонам клиновидного рабочего органа насыпные валики. После нескольких проходов клин-планировщика скрепер собирает грунт в ковш и транспортирует его в зоны отсыпки. Клин-планировщик и скрепер работают практически параллельно. На втором этапе работ короткобазовый планировщик осуществляет доводочную планировку.

В случае использования скрепера-планировщика [2, 3] с короткой базой (рис. г) технология планировки (вариант Т-4) аналогична варианту Т-1, в отличие от которого используется одна машина, работающая в режимах скрепера и планировщика. Сначала скрепер-планировщик поочередно срезает грунт на повышениях и развозит его в понижения, затем проводит доводочную планировку за два прохода.

Краткое описание конструкций машин и лазерных систем дано в работах [1, 2], а их основные технические характеристики представлены в табл. 1.



а)



б)



в)



г)

Машины для планировки рисовых чеков с лазерным управлением:

а — прицепной скрепер ДЗ-77; б — короткобазовый планировщик ПАУ-4,2; в — прицепной клин-планировщик КП-719; г — короткобазовый скрепер-планировщик СП-4,2

Таблица 1

Технические характеристики машин для капитальной планировки рисовых чеков

Основные технические характеристики	Скрепер ДЗ-77	Планировщик ПАУ-4,2	Клин-планировщик КП-719	Скрепер-планировщик СП-4,2
Тип трактора	К-701			
Мощность двигателя, л.с./кВт	300/224 (для ЯМЗ-240Б)			
Ширина захвата, м	2,7	4,2	5	4,2
Вместимость ковша, м ³	8,8	3,5	—	до 7
Скорости, км/ч:				
рабочие	4—7	4—7	4—7	4—7
транспортные	до 10,5	до 35	до 25	до 35
Дорожный просвет, м	0,4	0,36	0,45	0,69
Габаритные размеры, м (длина×ширина×высота)	9,98×3,15×2,75	6,75×4,38×1,95	14,66×4,59×2,43	7,8×4,4×3,2
Радиус поворота, м	10	8	15	8
Масса, кг	10 150	3200	6500	6100
Состав лазерной системы	Лазерный нивелир типа Rugby 810, лазерно-приемное устройство ОКО-30 и гидроблок ГБ-УК			
Обслуживающий персонал, чел.	1			
Точность планировки с лазерным управлением, см	±3—5	±2—3	±3—5	±2—3

Анализ работы машин при планировке рисовых чеков

В табл. 2 представлено сравнение эксплуатационных показателей машин различных типов, используемых в рисосеящих хозяйствах при планировке рисовых чеков.

Кроме преимуществ, перечисленных в табл. 2, короткобазовые планировщики также выгодно отличаются от других машин тем, что имеют меньший вес и стоимость, высокую маневренность и проходимость, хороший обзор процесса наполнения и разгрузки ковша, что улучшает условия их эксплуатации.

Анализ работы машин различных типов, представленный в табл. 2, показывает, что наиболее перспективно применение универсальной короткобазовой машины — скрепера-планировщика [2], обладающего значительными преимуществами по сравнению с другими машинами.

Расчет производительности машин

По данным [4], эксплуатационная производительность, га/смен, скрепера $P_{СК}$ при срезке и развозке грун-

та и планировщика $P_{ПЛ}$ на доводочной планировке определяются по формулам:

$$P_{СК} = K_{СВ} K_{МН} Q_{СК} V_{МН} T_{СМ} / 2(L_{СВ} + \pi R_{СК}) W_{ЧК}; \quad (1)$$

$$P_{ПЛ} = K_{СВ} K_{МН} (B_{ПЛ} - \Delta_{ПЛ}) V_{МН} T_{СМ} / 10\,000 N_{МН}, \quad (2)$$

где $K_{СВ}$ — коэффициент использования сменного времени; $K_{МН}$ — коэффициент снижения производительности машины за счет повторных проходов в местах значительных срезок или повышенной плотности грунта; $Q_{СК}$ — рабочий объем грунта в ковше скрепера, м³; $V_{МН}$ — средняя скорость движения машины, м/ч; $T_{СМ}$ — сменное время работы, ч; $L_{СВ}$, $W_{ЧК}$ — соответственно средневзвешенная дальность возки грунта, м, и объем земляных работ на чеке, м³/га, определяемые по схеме возки грунта и картограмме из проекта планировки чека; $R_{СК}$ — радиус разворота скрепера, м; $B_{ПЛ}$ — ширина захвата ковша планировщика, м; $\Delta_{ПЛ}$ — перекрытие следа ковша планировщика при параллельных проходах, м; $N_{МН}$ — число проходов машины, определяемое в зависимости от принятой технологии и выбранной схемы планировки чека.

Производительность скрепера-планировщика в режиме работы скрепера рассчитывается по формуле (1),

Таблица 2

Сравнение показателей работы различных типов машин

Машина	Преимущества	Недостатки
Скрепер	<ul style="list-style-type: none"> — Наибольший объем перевозки грунта в ковше, что повышает производительность машины. — Снижение тяговых сопротивлений при транспортировке грунта в поднятом ковше, что обеспечивает экономию горючесмазочных материалов. — Наибольшая толщина срезки грунта ковшом под собственным весом и наибольший объем его перевозки, что снижает число проходов машины. 	<ul style="list-style-type: none"> — Невозможность применения на доводочной (чистовой) планировке. — Недостаточное заполнение ковша грунтом при мелких срезках, что приводит к снижению производительности машины. — Большая металлоемкость и высокая стоимость, повышенные энергозатраты на передвижение машины. — Плохой обзор процесса наполнения и разгрузки ковша, что ухудшает условия работы.
Короткобазовый планировщик	<ul style="list-style-type: none"> — Доводочная (чистовая) планировка за счет образования призмы волочения грунта в ковше. — Наличие рыхлителя позволяет работать в более плотных грунтах по сравнению с планировщиком Мага (Италия). — Наименьшая металлоемкость и стоимость машины. 	<ul style="list-style-type: none"> — Малая толщина срезки грунта ковшом под собственным весом, что увеличивает число проходов на чеках с большими неровностями.
Клин-планировщик	<ul style="list-style-type: none"> — Наименьшая энергоемкость процесса резания грунта за счет непрерывного схода грунта с отвалов клиновидного рабочего органа. — Наибольшая производительность машины. 	<ul style="list-style-type: none"> — Ограничение применения машины только на срезке повышенный чека. — Наибольший радиус разворота, снижающий производительность машины.
Короткобазовый скрепер-планировщик	<ul style="list-style-type: none"> — Большой объем перевозки грунта в режиме скрепера за счет наполнения ковша и образования перед ним призмы волочения по сравнению с планировщиком, что повышает производительность машины. — Увеличенная толщина срезки грунта ковшом под собственным весом по сравнению с планировщиком, что снижает число проходов машины. — Доводочная (чистовая) планировка в режиме работы планировщика. 	<ul style="list-style-type: none"> — Увеличенная металлоемкость и стоимость, повышенные энергозатраты на передвижение машины по сравнению с планировщиком.

а в режиме работы планировщика — по формуле (2). Производительность клин-планировщика вычисляется по формуле (2) с учетом ширины захвата $B_{кп}$ и дополнительной ширины двух насыпных валков $2\Delta_{кп}$. В этом случае расстояние ($B_{пл} - \Delta_{пл}$) в формуле (2) заменяется на $(B_{кп} + 2\Delta_{кп})$.

Ниже приведены эксплуатационные показатели различных машин, полученные на основании проведенных в хозяйствах Краснодарского края хронометражных наблюдений и инструментальных замеров.

Примерные эксплуатационные характеристики машин

Скрепер ДЗ-77

$Q_{ск}$, м ³	5,5—6,5
$V_{ск}$, м/ч	3700
$L_{св}$, м	100
$R_{ск}$, м	10

Планировщик ПАУ-4,2

$B_{пл}$, м	4,2
$\Delta_{пл}$, м	0,15
$V_{пл}$, м/ч:	
— при Т-1, Т-3 и $N_{пл} = 2$	6000
— при Т-2 и $N_{пл} = 1$	4900

Клин-планировщик КП-719

$B_{кп}$, м	5
$2\Delta_{кп}$, м	1
$V_{кп}$, м/ч	4730
$N_{кп}$	1

Скрепер-планировщик СП-4,2

$Q_{ск}$, м ³	6
$V_{сп}$, м/ч:	
— в режиме скрепера	4900
— в режиме планировщика	6000
$L_{св}$, м	100
$R_{сп}$, м	8

Общие данные

$W_{чк}$, м ³ /га	150
$T_{см}$, ч	8
$K_{св}$	0,75
$K_{мн}$:	
— для ДЗ-77, СП-4,2 в режиме планировщика	0,95
— для КП-719, СП-4,2 в режиме скрепера	0,9
— для ПАУ-4,2	0,85

Расчет экономической эффективности планировки рисовых чеков

Стоимость планировки $C_{п}$, руб/га, в отличие от [1] определим по преобразованному выражению:

$$C_{п} = C_{а} + C_{т} + C_{з}; \quad (3)$$

$$C_{а} = \Sigma[(1 + K_{т} + K_{р})(C_{м} + C_{л} + K_{и}C_{б})/T_{с}P_{м}T_{г}]; \quad (4)$$

$$C_{т} = \Sigma[P_{г}C_{г}/P_{м}]; \quad (5)$$

$$C_{з} = \Sigma[(1 + K_{з} + K_{н} + K_{п})Z_{р}/P_{м}], \quad (6)$$

где $C_{а}$, $C_{т}$, $C_{з}$ — затраты на амортизацию оборудования, топливо и заработную плату; Σ — сумма затрат в технологиях с учетом работы различных машин; $K_{т}$ — коэффициент транспортных расходов по доставке техники; $K_{р}$ — коэффициент затрат на текущий ремонт; $C_{м}$, $C_{л}$, $C_{б}$ — стоимость машины (19,3 %), лазерного оборудования (4,7 %) и трактора (76 %), руб.; $T_{с}$ — амортизационный срок службы машин и оборудования, лет; $P_{м}$ — производительность машины, га/смен; $T_{г}$ — количество смен работы машины в году, смен/год; $P_{г}$, $C_{г}$ — расход топлива, кг/смен, и его стоимость, руб/кг; $K_{з}$, $K_{н}$, $K_{п}$ — коэффициенты начислений на заработную плату, накладные расходы и сметную прибыль; $Z_{р}$ — сменная заработная плата оператора, руб/смен; $K_{и}$ — коэффициент использования трактора на планировке.

$$K_{и} = T_{г}/T_{д}, \quad (7)$$

где $T_{д}$ — количество рабочих дней в году.

Экономическую эффективность планировки рисовых чеков [1], руб/га, найдем по развернутой формуле:

$$\Xi_{п} = [C_{р}\Delta_{р} - (C_{п} + C_{в} + C_{д} + C_{с} + C_{к})]K_{у}, \quad (8)$$

где $C_{р}$ — закупочная стоимость риса-сырца, руб/ц; $\Delta_{р}$ — прибавка урожайности риса после проведения точной планировки, ц/га; $C_{в}$, $C_{д}$ — стоимость вспашки и дискования, руб/га; $C_{с}$ — стоимость исходной съемки и проектирования планировки, руб/га; $C_{к}$ — стоимость контрольной съемки и оценки точности работ, руб/га; $K_{у}$ — коэффициент, учитывающий влияние микрорельефа на урожайность риса.

Ниже приведены значения коэффициентов, стоимости машин, лазерного оборудования и подготовительных работ, а также информационные, нормативные материалы и другие данные.

Исходные данные для расчета экономической эффективности

Коэффициенты

$K_{т}$	0,025
$K_{р}$	0,015
$K_{з}$	0,44
$K_{н}$	0,36
$K_{п}$	0,2
$K_{у}$	0,45

Нормативные и другие данные

$T_{с}$, лет	8
$T_{д}$, дней/год	250
$T_{г}$, смен/год	150
$P_{г}$, кг/смен	249
$\Delta_{р}$, ц/га	12,9

Стоимость оборудования, тыс. руб.

$C_{ск}$	1200
$C_{пл}$	739
$C_{кп}$	850
$C_{сп}$	891
$C_{б}$	3600
$C_{л}$	224

Технико-экономические показатели капитальной планировки рисовых чеков для условий Краснодарского края

Технология	Тип машины	Выполняемые технологические операции	Производительность машины P_m , га/смен	Стоимость планировки C_p , руб/га	Экономический эффект \mathcal{E}_p , руб/га
Т-1	Скрепер	Срезка грунта с повышений и его развозка в понижения	3,2	6289	2132
	Планировщик	Доводочная планировка	6,2		
Т-2	Планировщик	Срезка грунта с повышений и его разгрузка в отвал	10,1	7255	1697
	Скрепер	Срезка и развозка отвалов грунта в понижения	3,5		
	Планировщик	Доводочная планировка	6,2		
Т-3	Клин-планировщик	Срезка грунта с повышений с формированием двух валиков	15,3	7527	1575
	Скрепер	Срезка и развозка валиков в понижения	2,9		
	Планировщик	Доводочная планировка	6,2		
Т-4	Скрепер-планировщик	Срезка грунта с повышений и его развозка в понижения	4,2	5015	2705
		Доводочная планировка	6,9		

Стоимость работ, руб/га C_B 700 C_D 600 C_C 287 C_K 287**Удельная стоимость** C_c , руб/кг 30 \mathcal{Z}_p , руб/смен. 1429 \mathcal{I}_p , руб/ц 1000

Подставив приведенные данные в формулы (1)–(7), найдем производительность машин, стоимость планировки и экономический эффект в зависимости от применяемых машин и выбранной технологии (табл. 3). Все расчеты производились в программе Mathcad.

Выводы

Из табл. 3 видно, что в вариантах технологии Т-2 и Т-3 применяется наибольшее количество машин — три, что влечет за собой повышение стоимости планировки и снижение экономического эффекта. Наименьшая стоимость планировочных работ (5015 руб/га) и максимальный экономический эффект (2705 руб/га) соответствуют варианту технологии Т-4 с использованием одного универсального скрепера-планировщика, работающего сначала в режиме скрепера, затем в режиме планировщика.

Литература и источники

1. **Ефремов А. Н.** Планировка земель с применением лазерных систем. М.: ООО "Литера-Принт", 2014. 130 с.
2. **Ефремов А. Н.** Новая машина и усовершенствованная технология планировки земель // Мелиорация и водное хозяйство. 2015, № 2. С. 22–25.
3. **Ефремов А. Н., Ревин Ю. Г., Антонов Е. В.** и др. Планировщик-скрепер: Патент РФ на полезную модель № 105919, 2011.
4. **Ефремов А. Н.** Метод расчета эксплуатационной производительности землеройно-планировочных машин // Строительные и дорожные машины. 2015, № 5. С. 42–46.
5. **Насонов С. Ю.** Особенности работы мелиоративного клин-планировщика с удлиненной колесной базой // Строительные и дорожные машины. 2012, № 6. С. 16–20.

References

1. Efremov A. N. *Planirovka zemel' s primeneniem lazernykh sistem* [Land leveling with application of laser systems]. Litera-print Publ., LLC, Moscow, 2014, 130 p.
2. Efremov A. N. New machine and advanced technology for land leveling. *Melioratsiya i vodnoe khozyaystvo*, 2015, no. 2, pp. 22–25.
3. Efremov A. N., Revin Yu. G., Antonov E. V., Prosvirin V. A., Nasonov S. Yu. *Planirovshchik-skreper* [Leveler-scraper]. Utility model RF no. 105919, 2011.
4. Efremov A. N. The method of calculation of operational performance of levelers. *Stroitel'nye i dorozhnye mashiny*, 2015, no. 5, pp. 42–46.
5. Nasonov S. Yu. Features of operation of reclamation leveler wedge with long wheel base. *Stroitel'nye i dorozhnye mashiny*, 2012, no. 6, pp. 16–20.