

АГРОИНЖЕНЕРИЯ И ПИЩЕВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

AGRO-ENGINEERING AND FOOD TECHNOLOGIES

Научная статья
УДК 631.17:004
EDN KNULBK

Реализация имитационной модели загрузки машинно-тракторного парка

Анна Александровна Алетдинова¹, Борис Дмитриевич Докин²

¹ Российский государственный университет нефти и газа (национальный исследовательский университет) имени И. М. Губкина, Москва, Россия

¹ Новосибирский государственный аграрный университет
Новосибирская область, Новосибирск, Россия

² Сибирский федеральный научный центр агробиотехнологий Российской академии наук
Новосибирская область, Краснообск, Россия

¹ aletdinova@ngs.ru, ² dokin38@mail.ru

Аннотация. Цель исследования состоит в проведении серии имитационных экспериментов по варьированию параметров загрузки машинно-тракторного парка сельскохозяйственного предприятия. Для этого решены следующие задачи: обосновать особенности построенной имитационной модели загрузки машинно-тракторного парка; провести варьирование агрегатов на примере реализации различных технологий возделывания и уборки пшеницы на пару; оценить технические и экономические показатели различных технологий возделывания и уборки пшеницы на пару. В основу имитационной модели положен метод сквозного просмотра вариантов годовых комплексов работ. В ходе экспериментов варьировались параметры: коэффициент скорости созревания полей, урожайность культур, набор агрегатов, коэффициент надежности технических средств для разных типов технологий и природных зон. В качестве примера приведены оценки на основе технологических карт возделывания и уборки пшеницы на пару для лесостепной зоны Новосибирской области. Рассчитаны выполненные объемы работ, загрузка техники, длительность операций, расход топлива, затраты на горюче-смазочные материалы. Оценка экономических показателей технологий показала, что интенсивная технология – наиболее затратная, но более эффективная, хотя на примере производства одной культуры различия в показателях небольшие. При рассмотрении всего производства растениеводства сельскохозяйственного предприятия затраты и прибыль существенно вырастают, а интенсивная технология так и остается наиболее эффективной.

Ключевые слова: загрузка машинно-тракторного парка, имитационная модель, варьирование параметров, критерий, технические и экономические показатели технологий, учет рисков

Для цитирования: Алетдинова А. А., Докин Б. Д. Реализация имитационной модели загрузки машинно-тракторного парка // Дальневосточный аграрный вестник. 2023. Том 17. № 4. С. 122–135.

Original article

Implementation of simulation model of machine and tractor fleet loading

Anna A. Aletdinova¹, Boris D. Dokin²

¹ Gubkin Russian State University of Oil and Gas (National Research University)
Moscow, Russia

¹ Novosibirsk State Agricultural University, Novosibirsk region, Novosibirsk, Russia

² Siberian Federal Research Centre of Agro-Biotechnologies
of the Russian Academy of Sciences, Novosibirsk region, Krasnoobsk, Russia

¹ aletdinova@ngs.ru, ² dokin38@mail.ru

Abstract. This is a study that aims to conduct a set of simulation experiments on varying the loading parameters of the machine and tractor fleet of an agricultural enterprise. The following objectives are set: to substantiate the features of constructed simulation model of loading machine and tractor fleet; to vary the units using the example of implementing various technologies for cultivation and harvesting of wheat after fallow; to evaluate the technical and economic indicators of various technologies for cultivation and harvesting of wheat after fallow. The simulation model is based on end-to-end viewing method of annual work package options. During the experiments, the parameters of the field ripening coefficient, crop yield, set of units and average technical reliability coefficient are varied for different types of technologies and natural areas. As an example, estimates based on technological maps of steam cultivation and harvesting of wheat for the forest-steppe zone of the Novosibirsk region are given. The completed volumes of work, equipment loading, duration of operations, fuel consumption, fuel and lubricants costs are calculated. An assessment of the economic indicators of technologies has shown that intensive is the most expensive, but more effective, although there are small differences in indicators on the example of one crop production. When considering the entire crop production of an agricultural enterprise, costs and profits increase significantly, and intensive technology remains the most effective.

Keywords: machine and tractor fleet loading, simulation model, variation of parameters, criteria, technical and economic indicators of technologies, risk accounting

For citation: Aletdinova A. A., Dokin B. D. Implementation of simulation model of machine and tractor fleet loading. *Dal'nevostochnyj agrarnyj vestnik*, 2023;17;4:122–135 (in Russ.).

Введение. Расчет оптимизации машинно-тракторного парка (МТП) чаще всего не используется в хозяйствах; планирование производства базируется на имеющихся ресурсах, в том числе и агрегатах. Имеющиеся ресурсы определяют, какой тип технологий (экстенсивный, нормальный, интенсивный) выбрать. Часто используемые технологии нельзя отнести ни к какому типу. Таким образом, не применяется научный подход, что приводит к низкой урожайности культур или потере валового сбора.

Задача создания имитационной модели загрузки МТП базируется на оптимизационных задачах, чаще всего линейного программирования [1]. Она реализована в работах С. П. Исаковой, Е. А. Лапченко (реализуется минимум прямых затрат, по количеству механизаторов) [2], И. П. Батаевой (с расчетом минимума приведенных затрат) [3], А. А. Ефремова (с выделением нелинейных зависимостей и наличием разрывов в целевой функции) [4], А. В. Ленского, Е. М. Иванова, Е. Е. Каждан (с минимизацией эксплуатационных затрат) [5] и других.

Имитационное моделирование позволяет варьировать различные параметры, следовательно, проигрывать разные производственные сценарии. Примером его реализации применительно к загрузке МТП можно назвать работу В. А. Завора и В. И. Толокольниковой, в которой они объединили математическую модель оптимизации технологии и систему массового обслуживания, что позволило использовать вероятностные величины [6].

Известный факт, что ведение сельского хозяйства – это управление процессом производства с учетом естественных природных процессов и особенностей климатической зоны, в которой ведется хозяйство. Тот же Сибирский регион относится к зоне рискованного земледелия. Значит, для обеспечения урожайности культур (в том числе конечных объемов произведенной продукции, издержек, прибыли и рентабельности) следует уделять особое внимание погодным рискам.

Во многих регионах России колебания урожайности достигают 30–50 % от среднегодового уровня, а 2–3 года из каж-

дых десяти бывают неурожайными [7]. Погодные явления, которые не вписываются в климатическую норму, наносят колоссальный ущерб сельскохозяйственному производству, поэтому требуют постоянного оперативного управления и использования страхования. Но уже на уровне планирования этого процесса необходимо просчитывать все варианты, включая загрузку машинно-тракторного парка.

Особенности природно-климатических зон накладывают ограничения на сроки, длительность и последовательность выполнения технологических операций, а также формируют дополнительные требования к биологическим характеристикам сортов. На аграрный сектор накладывается такая особенность как территориальная протяженность производства. Незапланированные изменения в последовательности технологических операций приводят к риску потери сельскохозяйственной продукции, низкой урожайности, а, следовательно, убыткам.

Разные источники рисков в сельскохозяйственном производстве в совокупности могут оказывать значительное влияние на результаты деятельности, особенно при неблагоприятном стечении случайных обстоятельств. При этом рисками можно управлять как непосредственно в хозяйстве путем внедрения и апробации новых подходов и технологий, так и при помощи различных программ страхования посевов.

Цель исследования – провести эксперимент по варьированию параметров модели загрузки машинно-тракторного парка и проанализировать полученные результаты. Задачи исследований: обосновать особенности построенной имитационной модели загрузки машинно-тракторного парка; провести варьирование агрегатов на примере реализации различных технологий возделывания и уборки пшеницы на пару; оценить технические и экономические показатели различных технологий возделывания и уборки пшеницы на пару.

Материалы и методы исследования. Построение модели загрузки машинно-тракторного парка требует определения набора основных параметров (переменных), их свойств и принципов

взаимодействия между ними. В качестве основы взаимодействия переменных использованы некоторые положения метода сквозного просмотра вариантов годовых комплексов работ (при определении загрузки и сроков проведения сельскохозяйственных работ). Более подробно методика описана в работе [8].

Для корректного включения в модель переменной, характеризующей объема работ в условных эталонных гектарах, воспользуемся следующим выражением:

$$P_{jt} = V_j \times K_{y.э} \quad (1)$$

где P_{jt} – объем работы j в условных эталонных гектарах, выполняемой в период t ;
 V_j – объем работы j в физических единицах;
 $K_{y.э}$ – коэффициент перевода в условные эталонные гектары.

Для определения доли выработки по операции агрегатом до прогона модели используем выражение (2):

$$L_{jts} = \frac{P_{jt}}{W_{jts}}, (j = 1, 2 \dots Z; t = 1, 2 \dots T; s = 1, 2 \dots S) \quad (2)$$

где L_{jts} – доля выработки от максимально возможной при выполнении заданного объема работ P_{jt} в период t ;
 W_{jts} – производительность на работе j в период ts -го машинно-тракторного агрегата в условных эталонных гектарах (у. э. га) за период.

Для перевода производительности агрегата, которая указывается в физических единицах, нами была использована формула (3):

$$W_{jts} = W_{js} \times K_{y.э} \times T_t \quad (3)$$

где W_{js} – производительность на работе js -го машинно-тракторного агрегата в физических единицах, которыми могут выступать ч, га/ч, т/ч, м/ч и т. д.

Также в модели используются данные по резерву рабочего времени, который представляет собой максимально возможную величину часовой загрузки одной энерго-машины в указанный период. Он определяется выражением (4):

$$T_t = T_{см} \times K_{смjt} \times D_t(K_{jt} \pm \Delta K_{jt})\eta\chi \quad (4)$$

где T_t – резерв рабочего времени в часах для одной энергомашины в период t ;
 T – длительность смены в часах;
 $K_{смjt}^{см}$ – коэффициент сменности при выполнении работы j в период t ;
 D – длительность периода t , дней;
 $(K_{jt}^i \pm \Delta K_{jt}^i)$ – среднестатистическая величина коэффициента погодных условий за ряд лет при выполнении работы в период t ;
 η – коэффициент готовности машинно-тракторного парка к выполнению работ;
 χ – коэффициент надежности технических средств.

Для определения нормы времени обработки агрегатом операции был использован подход, основанный на экономически целесообразном сроке проведения полевых работ. Данные сроки не являются нормированными из-за запаздывания проведения полевых работ, приводящих к потерям урожая, а также из-за затрат, обусловленных техническим обеспечением этих сроков. При этом также учитывается, что сроки созревания для культур различны и могут варьироваться в пределах некоторых диапазонов.

Существующая функция совокупных затрат для сельхозпредприятия в зависимости от продолжительности выполнения технологической операции позволяет путем проведения дифференцирования выразить аналитически целесообразные сроки проведения полевых работ сельскохозяйственным агрегатом [9].

Функция совокупных затрат для сельхозпредприятия в зависимости от продолжительности выполнения технологической операции имеет вид:

$$f(D_p) = \frac{\alpha_T \times B_T \times \gamma_T^i \times \gamma_{cos}^i}{D_p} + \frac{\alpha_{ПК} \times B_{ПК} \times \gamma_{ПК}^i \times \gamma_{cos}^i}{D_p} + K_{сн} \times U \times C \times W_{сут} \times D_p + C \quad (5)$$

где D_p – продолжительность проведения технологической операции, дней;

$B_T, B_{ПК}$ – балансовая стоимость трактора, посевного комплекса;

$\alpha_T, \alpha_{ПК}$ – норма отчислений на реновацию трактора и посевного комплекса;

$\gamma_T^i, \gamma_{ПК}^i$ – часть удельных отчислений на реновацию трактора и посевного комплек-

са в зависимости от того, какие работы выполняют трактор и посевной комплекс (для простоты взят удельный вес этой работы в годовом объеме работ, выполняемых трактором и посевным комплексом);
 $K_{сн}$ – средний коэффициент потерь урожая в зависимости от продолжительности работ, часть/день;
 U – урожайность культуры, т/га;
 C – цена реализации;
 $W_{сут}$ – суточная производительность машинно-тракторного агрегата, га/сут;
 C – затраты на техобслуживание и ремонт техники, ГСМ, зарплату и другие, которые не зависят от продолжительности проведения технологической операции, руб./га.

После взятия производной и приведения полученного выражения к нулю, оптимальная продолжительность проведения полевых работ равна (6):

$$D_p^{opt} = \sqrt{\frac{\alpha_T \times B_T \times \gamma_T^i \times \gamma_{cos}^i + \alpha_{ПК} \times B_{ПК} \times \gamma_{ПК}^i \times \gamma_{cos}^i}{K_{сн} \times U \times C \times W_{сут}}} \quad (6)$$

Пусть на обработку машинно-тракторным агрегатом (трактор совместно с посевным комплексом) поступают некоторые технологические операции (это могут быть как доли в условных гектарах, так и просто заявки на сельскохозяйственные работы). Выполнение операций должно быть произведено в соответствии с оптимальными продолжительностями проведения полевых работ. При этом, пока не выполнена одна операция-заявка, следующая выполняться не может.

Таким образом, на основе модели возможно определить количество выполненных агрегатом работ, время работы, загруженность и вероятность выполнения операции (с учетом ситуации перегруженности агрегата) [7].

Построенная в программном комплексе AnyLogic 8.2.3 Learning Edition имитационная модель объединяет системную динамику, агентное моделирование и элементы дискретно-событийного моделирования. Значения переменных приняты, исходя из типа агрегата и особенностей сельскохозяйственных операций. Описание модели подробно приведено в работе [8].

Для работы модели требуется учитывать географические и природные условия. Так, Новосибирская область имеет свои проблемы для развития сельскохозяйственного производства. Это связано, прежде всего, с почвенно-ландшафтными особенностями: прохладный, переувлажненный болотный массив на севере, засушливые степи на юге области. Также дополнительной «отрицательной» особенностью является засоленность почвенного покрова. Причем, в комплексе с зональными почвами, она создает мозаичность покрова, что существенно затрудняет обработку и использование [10].

Таким образом, для обеспечения адекватности имитационной модели, были использованы данные из руководства, подготовленного Сибирским федеральным научным центром агробиотехнологий РАН по системам земледелия и агротехнологиям [7].

Далее представлена урожайность пшеницы на разных уровнях интенсификации по основным подзонам Новосибирской области (табл. 1).

Для работы имитационной модели также требуются данные по составу МТП, информация по выполняемым работам и стоимости техники (табл. 2).

Балансовые стоимости агрегатов получены в результате агрегации информации с Интернет-ресурса АГРОСЕРВЕР.ru

(российский агропромышленный сервер), платформы «Agriaffaires».

С моделью производились эксперименты «Варьирование параметров» для определения того, как будет изменяться количество обработанных операций, среднее время, вероятность, среднее количество выполненных операций, коэффициент загрузки агрегата и норма времени на выполнение операции выбранного типа.

Для расчета заработной платы и затрат на социальные отчисления воспользуемся формулой (7):

$$Z_n = \frac{(K_{TP} \times 1,5 \times f_{TP} + K_{BP} \times 1,3 \times f_{BP})}{W_{CM}} \quad (7)$$

где Z_n – заработная плата механизаторов и вспомогательных рабочих с отчислениями, руб./га;

W_{CM} – производительность агрегата за смену, га/ч;

K_{TP} , K_{BP} – число трактористов и вспомогательных рабочих, обслуживающих агрегат, чел.;

f_{TP} , f_{BP} – тарифные ставки механизаторов и вспомогательных рабочих, руб.

Результаты исследования и их обсуждение. В настройках эксперимента были заданы значения параметров и выбраны те из них, которые должны изменяться в ходе прогона модели. В дан-

Таблица 1 – Урожайность для культуры пшеница на пару
Table 1 – Yield for wheat after fallow

В тоннах на гектар (in tons per hectare)

Показатель по подзонам	Южно-таежно-лесная	Северо-лесостепная	Центрально-лесостепная	Южно-лесостепная	Северо-степная
Нормальная технология					
Средняя урожайность	3,5	3,3	3,1	3,0	2,5
Интенсивная технология					
Средняя урожайность	4,6	4,6	4,4	4,0	–
Экстенсивная технология					
Средняя урожайность	3,0	3,0	2,5	2,3	1,8

Таблица 2 – Производственные и технические показатели посевных комплексов и агрегатов по операциям

Table 2 – Production and technical indicators of sowing complexes and units according operations

Наименование операции	Наименование агрегата	Производительность, га/час	Расход ГСМ, кг/га
Культивация	John Deere + TopDown 600	5,5	10
Опрыскивание	MTЗ + ОП-2000	12,5	0,8
	MTЗ + HARDI Navigator	24	1,0
	К-700 + Amazone UX 5200	62,4	1,2
	John Deere 4730	31	1,2
Вспашка	John Deere + + Kverneland RX 100	3	16
Безотвальная обработка почвы	John Deere + John Deer 2410	13	15
Ранневесеннее боронование	John Deere + + БЗГТ-25 Победа	35	1,9
	MTЗ + СГ-21 + 12БСС-1,0	5,6	2,0
	К-700 + БЗГ-24-021	19,2	1,9
	MTЗ + СГ-21 + 12БЗС-1,0	6,3	1,7
	John Deere + Degelman-24 м	35	1,8
	MTЗ + Штригель-12 м	16,8	1,5/2,3
Посев	John Deere + John Deere 730 + + John Deere 1910	11,7	5,9
	MTЗ + СПЗ-3,6	2,2	3,9
	John Deere + John Deere 1895 + + John Deere 1910	13	6,2
	New Holland + Salford	5	6,0
	John Deere + DMC 602	9,1	5,9
	К-700 + Optima	4,1	3,8
Подбор валков и прямая уборка	Комбайн John Deere	10,27	3,0
	Комбайн Claas Lexion 570С	10,8	4,0
	Комбайн Claas Mega 370	7,2	2,8
	Комбайн New Holland	9,2	3,0
Прессование	MTЗ + Rollant-240	2	1,2
	MTЗ + Rollant-340	2	1,2
	MTЗ + New Holland	3,3	1,7
Сгребание и ворошение травяной массы	Liner 1550	3,2	1,5
Скашивание	MacDon M-155	15,6	2,5
	MTЗ + КДН-210	2,85	2,0
	John Deere + Taarup 5090	5,9	5,4
Уборка кормов	Комбайн Claas Jaguar 850	4,5	3,0

ном случае в качестве таких параметров выбраны: коэффициент скорости созреваемости полей, урожайность культуры и коэффициент надежности технических средств.

Модельные параметры: объемы работ 250 га. Тип культуры: пшеница на пару. Тип технологии: экстенсивная, нормальная, интенсивная. Время: стандартное, моделируемое.

Результаты моделирования выполненных объемов работ в условно эталонных гектарах по типам агрегатов представлены на рисунке 1.

Результаты моделирования загрузки агрегатов для двух экспериментов представлены на рисунке 2.

Анализ результатов моделирования показал, что в случае применения стандартных нормативов на выполнение операций суммарно по всем агрегатам и операциям, не будут выполнены 473 у. э. га. При этом в случае расчетов норм выполнений с учетом используемого агрегата (на основе экономически целесообразных сроков проведения работ) 340 у. э. га. Таким образом, учет особенностей агрегатов на 28,11 % сокращает потери в объемах выполненных работ, а также показывает на 6,12 % вероятности выполнения всего объема операций, подаваемых на вход модели, что говорит о лучшей результативности в целом.

Далее произведем расчеты для этой же культуры, но с учетом изменения типа технологии (интенсивная и экстенсивная) возделывания культур (рис. 3, 4). Интенсивная технология обработки обеспечивает максимальную загрузку агрегатов, на второй позиции находится нормальная технология и на последней – экстенсивная. При определении оптимальной продолжительности выполнения операции получены аналогичные результаты с точки зрения вероятности выполнения операции. Интенсивная технология, суммарно по всем агрегатам, демонстрирует лучшие результаты, чем нормальная (на 0,44 %) и экстенсивная технологии (на 0,93 %).

Это не противоречит теоретическим и статистическим положениям об эффективности данных технологий [11, 12]. Интенсивная технология рекомендована к

применению в условиях Новосибирской области.

На основе полученных в ходе прогона имитационной модели данных можно рассчитать следующие показатели, влияющие на экономическую эффективность:

- 1) расход топлива;
- 2) затраты средств на горюче-смазочные материалы (ГСМ).

Для расчетов расхода топлива используем полученные в ходе прогона модели данные по выполненным объемам работ и расходам ГСМ (кг/га) для каждого из агрегатов (табл. 3).

Если рассматривать расход горюче-смазочных материалов с учетом использованного типа технологий, то в сумме по всем агрегатам мы получим, что наиболее затратной является интенсивная технология, наименее затратной – экстенсивная (рис. 5).

Исходя из средних цен на дизельное топливо по Новосибирской области, рассчитаем расход на топливо в денежном эквиваленте для всех типов технологий.

Так, для интенсивной технологии суммарный расход на топливо наибольший и составляет 817 889,40 рублей, для нормальной технологии результат ниже и составил 811 979,60 рублей; наименьший расход для экстенсивной технологии (806 069,90 руб.).

Таким образом, интенсивная технология является наиболее затратной по расходу топлива. Однако, поскольку разница между затратами по экстенсивной технологии и нормальной соответствует 1,01 % и 1,00 %, а также эффективность с точки зрения выполненных объемов работ у интенсивной технологии выше соответственно на 1,02 % и 1,01 %, то приоритет применения на стороне интенсивной технологии.

Поскольку в исходных данных есть возможность выбора альтернативного набора агрегатов по ряду операций, рассчитаем расходы ГСМ по технологиям, для:

- 1) самого малозатратного по расходу топлива набора агрегатов;
- 2) самого производительного набора агрегатов.

Результаты представлены в таблице 4.

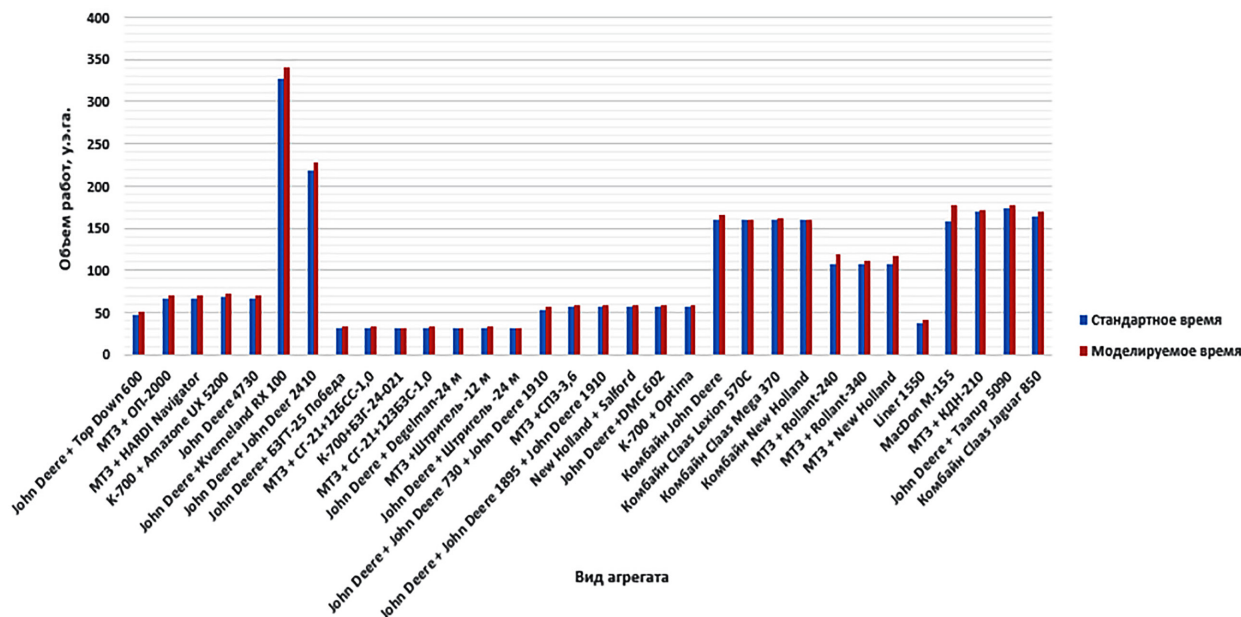


Рисунок 1 – Выполненные объемы работ для нормальной технологии
 Figure 1 – Completed volumes of work for normal technology

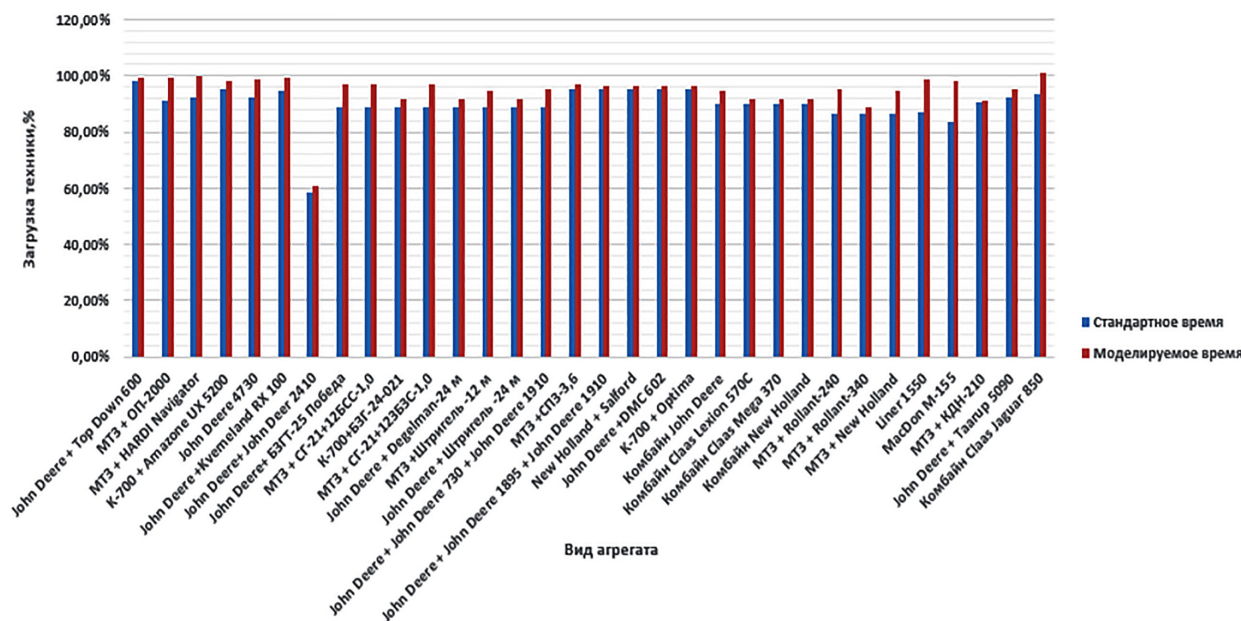


Рисунок 2 – Загрузка техники в зависимости от варьирования времени
 Figure 2 – Equipment loading depending on time variations

При этом согласно результатам прогона модели вариант 2) с точки зрения выполненных объемов операций демонстрирует лучшие результаты (табл. 5).

Таким образом, возникает стандартная проблема выбора – чему отдать предпочтение: меньшим затратам или более высоким результатам. Ответом является расчет рентабельности производства.

Для этого обычно применяется отношение прибыли к себестоимости производства. В нашей ситуации для расчета прибыли будем отталкиваться от биржевой цены за пшеницу, равной 11 500 руб. за одну тонну).

В себестоимость производства включаем затраты на ГСМ, затраты на заработную плату и социальные отчисления

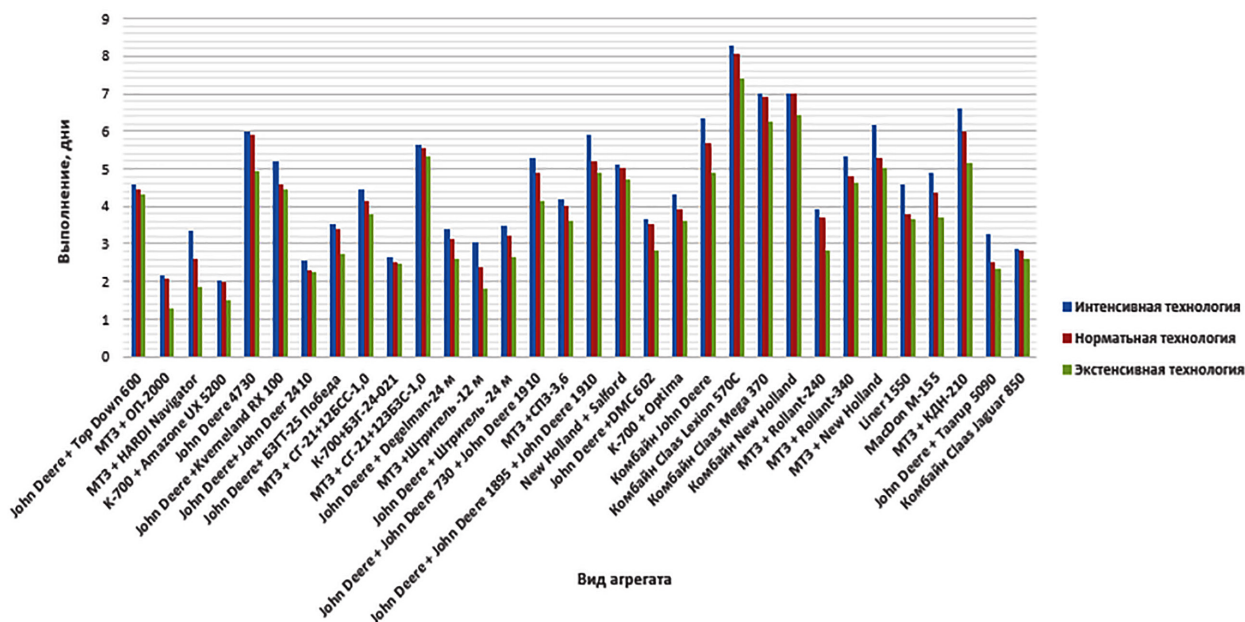


Рисунок 3 – Количество дней на выполнение операций
Figure 3 – Number of days to complete operations

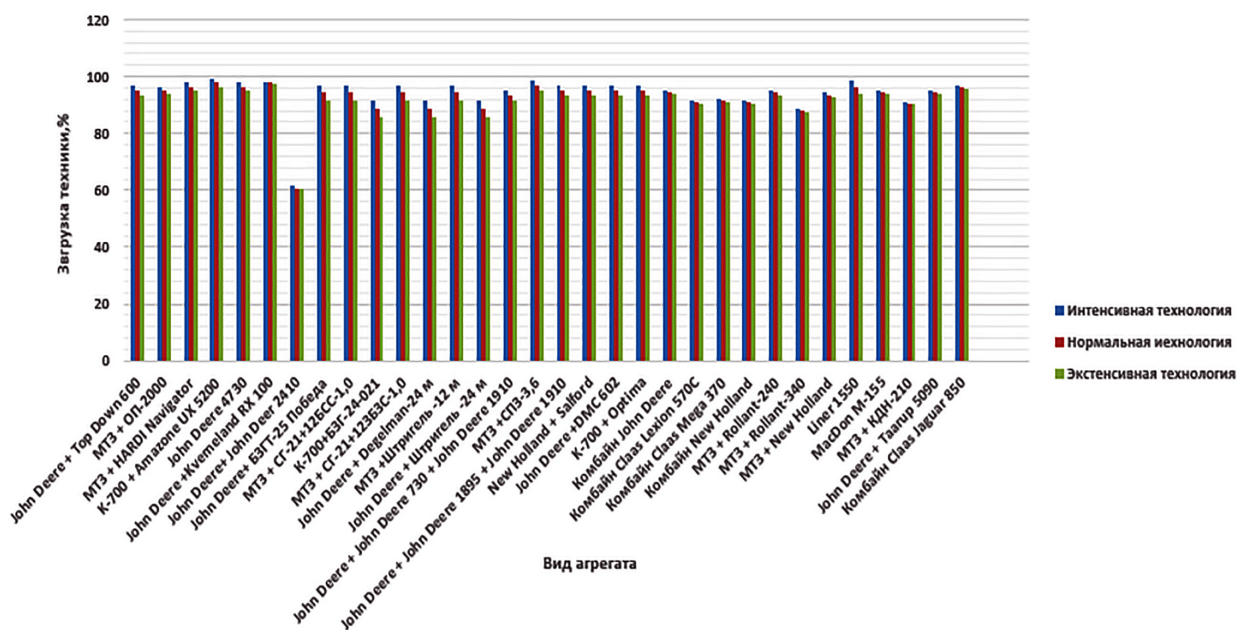


Рисунок 4 – Загрузка техники в зависимости от технологий возделывания
Figure 4 – Equipment loading depending on cultivation technologies

(количество механизаторов, включенных в работу, примем равным 22).

Полученные экономические результаты представлены в таблице 6.

Вариант с использованием набора машин по максимальной производительности показывает лучшие результаты рентабельности производства, что связано с более низкими затратами на трудовые

ресурсы в процессе производства и более высокой результативностью как по количеству обработанных гектаров, так и по урожайности. При этом следует учитывать тот факт, что при условии дозакупки агрегатов следование данному варианту представляется более затратным, однако в долгосрочной перспективе он более предпочтителен.

Таблица 3 – Расход ГСМ по итогам прогона имитационной модели

Table 3 – Fuel and lubricants consumption based on results of test-running of simulation model

Наименование агрегата	Расход ГСМ, кг/га	Расход по экстенсивной технологии, кг/га	Расход по нормальной технологии, кг/га	Расход по интенсивной технологии, кг/га
John Deere + Top Down 600	10	490	500	510
MTЗ + ОП-2000	0,8	54,4	55,2	56
MTЗ + HARDI Navigator	1,0	69	70	71
К-700 + Amazone UX 5200	1,2	84	85,2	86,4
John Deere 4730	1,2	82,8	84	85,2
John Deere + Kverneland RX 100	16	5 424	5 440	5 456
John Deere + John Deer 2410	15	3 390	3 405	3 420
John Deere + БЗГТ-25 Победа	1,9	60,8	62,7	64,6
MTЗ + СГ-21 + 12БСС-1,0	2,0	64	66	68
К-700 + БЗГ-24-021	1,9	57	58,9	60,8
MTЗ + СГ-21 + 123БЗС-1,0	1,7	54,4	56,1	57,8
John Deere + Degelman-24 м	1,8	54	55,8	57,6
MTЗ + Штригель-12 м	1,5/2,3	67,2	69,3	71,4
John Deere + Штригель-24 м	2,0	60	62	64
John Deere + John Deere 730 + + John Deere 1910	5,9	324,5	330,4	336,3
MTЗ + СПЗ-3,6	3,9	222,3	226,2	230,1
John Deere + John Deere 1895 + + John Deere 1910	6,2	347,2	353,4	359,6
New Holland + Salford	6,0	336	342	348
John Deere + DMC 602	5,9	330,4	336,3	342,2
К-700 + Optima	3,8	212,8	216,6	220,4
Комбайн John Deere	3,0	492	495	498
Комбайн Claas Lexion 570С	4,0	632	636	640
Комбайн Claas Mega 370	2,8	445,2	448	450,8
Комбайн New Holland	3,0	474	477	480
MTЗ + Rollant-240	1,2	140,4	141,6	142,8
MTЗ + Rollant-340	1,2	130,8	132	133,2
MTЗ + New Holland	1,7	197,2	198,9	200,6
Liner 1550	1,5	60	61,5	63
MacDon M-155	2,5	440	442,5	445
MTЗ + КДН-210	2,0	338	340	342
John Deere + Тааруп 5090	5,4	950,4	955,8	961,2
Комбайн Claas Jaguar 850	3,0	501	504	507

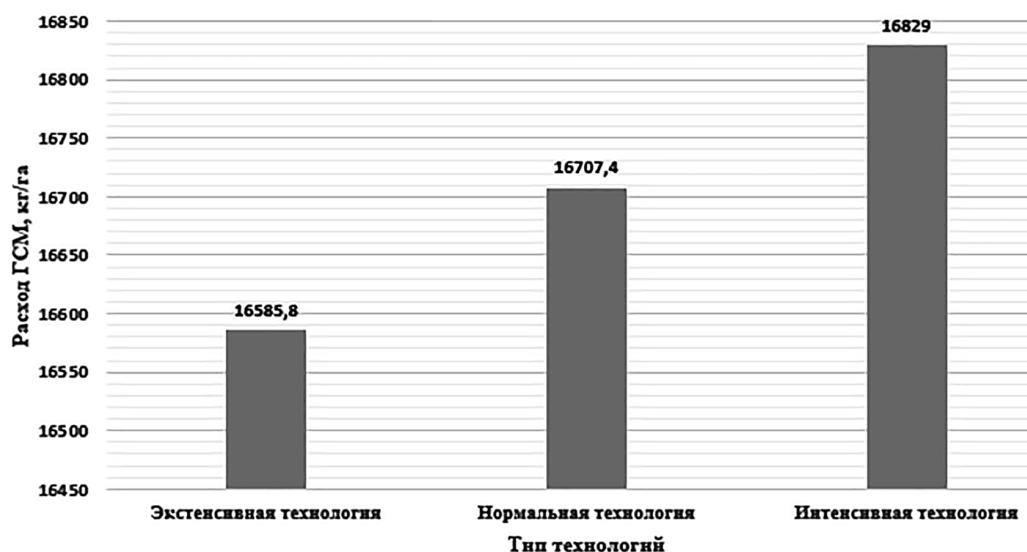


Рисунок 5 – Общий расход топлива по технологиям
Figure 5 – Total fuel consumption according technologies

Таблица 4 – Расходы ГСМ по двум вариантам набора агрегатов

Table 4 – Fuel and lubricant consumption according two options for a set of units

Варианты	Экстенсивная технология	Нормальная технология	Интенсивная технология
	Расходы в кг/га		
1)	11 110,20	11 168,00	11 225,80
2)	11 619,40	11 682,30	11 745,20
Расходы, руб.			
1)	539 955,72	542 764,80	545 573,88
2)	564 702,84	567 759,78	570 816,72

Таблица 5 – Выполненные объемы по двум вариантам набора агрегатов

Table 5 – Completed volumes according two options for a set of units

Варианты	Экстенсивная технология	Нормальная технология	Интенсивная технология
	Объемы, у. э. га		
1)	1 422	1 433	1 444
2)	1 427	1 438	1 449

Заключение. В результате прогона имитационной модели нами были оценены длительности работ по операциям, с учетом особенностей работающих агрегатов; загруженности агрегатов; варьирования созреваемости, потерь урожая и надежности технических средств. При этом были произведены расчеты по разным типам технологий возделывания культур (нормальная, экстенсивная и интенсивная).

Основная рекомендация по выбору типа технологии возделывания для сельскохозяйственного производителя в условиях Новосибирской области (с учетом показателей урожайности, эффективной загруженности и длительности работ) для представленного в работе набора операций и агрегатов состоит в выборе интенсивной технологии, как показавшей лучшие результаты по рентабельности производства.

Таблица 6 – Прибыль, себестоимость и рентабельность производства по двум вариантам

Table 6 – Profit, cost and profitability of production according two options

Варианты	Экстенсивная технология	Нормальная технология	Интенсивная технология
Прибыль, руб.			
1)	24 709 560	39 756 860	62 066 400
2)	30 354 460	39 933 960	62 319 400
Себестоимость, руб.			
1)	4 273 152,66	4 837 994,29	5 480 557,6
2)	4 288 177,81	4 854 874,94	5 499 534,6
Рентабельность, %			
1)	5,78	8,21	11,32
2)	7,07	8,22	11,33

Список источников

1. Определение состава машинно-тракторного парка с использованием математического программирования : материалы выездного пленума отделения механизации и электрификации сельского хозяйства ВАСХНИЛ в 1964 г. М. : Колос, 1966. 199 с.
2. Исакова С. П., Лапченко Е. А. Web-комплекс на базе математической модели формирования оптимального машинно-тракторного парка // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. 2016. № 5. С. 76–82.
3. Батаева И. П. Применение экономико-математической модели при формировании оптимального состава машинно-тракторного парка предприятия // Человек, общество и государство в современном мире : материалы междунар. науч.-практ. конф. Пенза : Пензенский государственный технический университет, 2016. С. 95–99.
4. Ефремов А. А. Формирование и использование машинно-тракторного парка сельскохозяйственных организаций на основе двухуровневого комплекса моделей оптимизации : автореф. дисс. ... канд. эконом. наук. Минск, 2019. 27 с.
5. Ленский А. В., Иванов Е. М., Каждан Е. Е. Методические аспекты оптимизации парка технических средств для растениеводства // Вестник Национальной академии наук Беларуси. Серия аграрные науки. 2015. № 2. С. 102–111.
6. Агзамов М. С. Имитационное моделирование технологических процессов в сельскохозяйственном производстве // Механизация и электрификация сельского хозяйства. 2022. № 1 (93). С. 120–138. DOI: <https://doi.org/10.37884/1-2022/15>.
7. Системы земледелия и агротехнологии в Новосибирской области : руководство. Новосибирск : Сибирский федеральный научный центр агробиотехнологий РАН, 2016. 232 с.
8. Dokin B. D., Aletdinova A. A., Tsibina Ya. S. Simulation model of loading of the machine and tractor fleet based on the prediction method of the variants of annual field work complexes // AIP Conference Proceedings. 2021. Vol. 2442. DOI:10.1063/5.0075573.
9. Докин Б. Д., Ёлкин О. В., Лапченко Е. А., Исакова С. П. Техническое обеспечение сроков проведения полевых работ в условиях Сибири // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. 2014. № 2. С. 60–64.
10. Быкова О. Г. Оценка территориальных особенностей функционирования агроландшафтов Новосибирской области // Вестник Сибирского государственного университета геосистем и технологий. 2012. № 2 (18). С. 51–56.

11. Власенко А. Н., Шоба В. Н., Шарков И. Н., Иодко Л. Н. Продуктивность яровой пшеницы по пару при различных технологиях в лесостепи Западной Сибири // Земледелие. 2014. № 5. С. 26–28.

12. Кучер А. В., Кривуца З. Ф., Щитов С. В., Кузнецов Е. Е., Решетник Е. Ф., Двойнова Н. Ф. Повышение эффективности использования энергетических средств в технологии возделывания сельскохозяйственных культур при различных температурных режимах // Дальневосточный аграрный вестник. 2021. № 3 (59). С. 86–92.

References

1. Determination of the composition of the machine and tractor fleet using mathematical programming. Proceedings from *Vyezdnoy plenium otdeleniya mekhanizatsii i elektrifikatsii sel'skogo khozyaistva VASKhNIL v 1964 g.* Moscow, Kolos, 1966. 199 p. (in Russ.).

2. Isakova S. P., Lapchenko E. A. Web complex based on mathematical model to form optimal machine-and-tractor fleet. *Sibirskii vestnik sel'skokhozyaistvennoi nauki*, 2016;5:76–82 (in Russ.).

3. Bataeva I. P. Features and basic directions environmental improvement activities of enterprises of agriculture. Proceedings from Man, society and the state in the modern world: *Mezhdunarodnaya nauchno-prakticheskaya konferentsiya*. (PP. 95–99), Penza, Penzenskij gosudarstvennyj tekhnicheskij universitet, 2016 (in Russ.).

4. Efremov A. A. Formation and use of machine and tractor fleet of agricultural organizations based on a two-level set of optimization models. *Extended abstract of candidate's thesis*. Minsk, 2019, 27 p. (in Russ.).

5. Lenskii A. V., Ivanov E. M., Kazhdan E. E. Methodological aspects of optimization of the tractor fleet for plant production. *Izvestiya Natsional'noi akademii nauk Belarusi. Seriya agrarnykh nauk*, 2015;2:102–111 (in Russ.).

6. Agzamov M. S. Simulation modeling of technological processes in agricultural production. *Mekhanizatsiya i elektrifikatsiya sel'skogo khozyaistva*, 2022;1(93):120–138 (in Russ.). doi: <https://doi.org/10.37884/1-2022/15>.

7. *Farming systems and agricultural technologies in Novosibirsk region: handbook*, Novosibirsk, Sibirskij federal'nyj nauchnyj centr agrobiotekhnologij RAN, 2016, 232 p. (in Russ.).

8. Dokin B. D., Aletdinova A. A., Tsibina Ya. S. Simulation model of loading of the machine and tractor fleet based on the prediction method of the variants of annual field work complexes. Proceedings from AIP Conference Proceedings, 2021;2442. DOI:10.1063/5.0075573.

9. Dokin B. D., Elkin O. V., Lapchenko E. A., Isakova S. P. Provision of technical support for timely cultivations in Siberia. *Sibirskii vestnik sel'skokhozyaistvennoi nauki*, 2014;2:60–64 (in Russ.).

10. Bykova O. G. Assessment of Novosibirsk region agrolandscapes functioning features. *Vestnik Sibirskogo gosudarstvennogo universiteta geosistem i tekhnologii*, 2012;2(18):51–56 (in Russ.).

11. Vlasenko A. N., Shoba V. N., Sharkov I. N., Iodko L. N. Productivity of spring wheat under different technologies in the central forest-steppe of Western Siberia. *Zemledelie*, 2014;(5):26–28 (in Russ.).

12. Kucher A. V., Krivutsa Z. F., Shchitov S. V., Kuznetsov E. E., Reshetnik E. F., Dvoynova N. F. Efficiency improving of energy means use in agricultural crops cultivation technology at different temperature regimes. *Dal'nevostochnyj agrarnyj vestnik*, 2021;3(59):86–92 (in Russ.).

© Алетдинова А. А., Докин Б. Д., 2023

Статья поступила в редакцию 31.08.2023; одобрена после рецензирования 25.10.2023; принята к публикации 20.11.2023.

The article was submitted 31.08.2023; approved after reviewing 25.10.2023; accepted for publication 20.11.2023.

Информация об авторах

Алетдинова Анна Александровна, доктор экономических наук, профессор, кандидат технических наук, доцент, Российский государственный университет нефти и газа (национальный исследовательский университет) имени И. М. Губкина, Новосибирский государственный аграрный университет, aletdinova@ngs.ru;

Докин Борис Дмитриевич, доктор технических наук, профессор, старший научный сотрудник, Сибирский федеральный научный центр агробиотехнологий Российской академии наук, dokin38@mail.ru

Information about authors

Anna A. Aletdinova, Doctor Economic Sciences, Professor, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Gubkin Russian State University of Oil and Gas (National Research University), Novosibirsk State Agricultural University, aletdinova@corp.nstu.ru;

Boris D. Dokin, Doctor of Technical Sciences, Professor, Senior Researcher, Siberian Federal Research Centre of Agro-Biotechnologies of the Russian Academy of Sciences, dokin38@mail.ru

Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article. The authors declare no conflicts of interests.