

МОРФОЛОГИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ И ОЦЕНКА КОМПЛЕКСА МАШИН ПО РЕАЛИЗАЦИИ ТЕХНОЛОГИИ ВОЗДЕЛЫВАНИЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ КУЛЬТУРЫ

Б. Л. ОХОТНИКОВ,
доктор технических наук, профессор,
А. Л. ОБУХОВ,
аспирант,
М. В. ХОЛМАНСКИХ,
аспирант,
Уральский государственный аграрный университет
(620075, г. Екатеринбург, ул. К. Либкнехта, д. 42; тел.: 8 (343) 295-61-49)

Ключевые слова: анализ системы, комплекс машин, тракторный агрегат, картофель, уплотнение почвы, дерево событий, производительность, трудоемкость, эксплуатационные затраты.

Возделывание картофеля – сложная система, включающая десятки составляющих, отличающихся величиной эксплуатационных затрат. Разработка всех составляющих требует выполнения колоссального объема работ, затрат времени и средств. Морфологический метод анализа предполагает выделение в исследуемом объекте группы основных признаков, которые более всего способны влиять на экономию ресурсов. Управляемыми элементами в проводимом исследовании являются состав агрегата, режимы работы МТА, сроки работ и др. Представленная модель «черного ящика» отражает внутренний состав системы, в которой входные управляющие сигналы представляют собой количественный и качественный состав комплекса, режимы работы и др. Внешние возмущающие сигналы – это почвенные разности, климатические и погодные условия, параметры полей и др. Задачей разработки морфологической схемы системы выступает установление независимых переменных исследуемой системы и варьирование их значениями для достижения цели. Предмет исследований – комплексные затраты на обеспечение технологического процесса. Использование метода дерева событий в соединении с экспертными процедурами – один из основных способов организации схем декомпозиции. Место экспертных субъективных вероятностей занимают математические модели и оценки, полученные на основе формализованных методов анализа. Согласно дереву событий комплексные затраты, входящие в критерий прибыли, включают: эксплуатационные затраты на агрегаты по видам работ, затраты на оплату труда, на материалы, услуги и обслуживание налогообложения. По величине эксплуатационных затрат установлена необходимость первоочередного совершенствования следующих элементов системы: ручные погрузочно-разгрузочные работы, посадка, уборка, заготовка и внесение органических удобрений, междурядная обработка.

MORPHOLOGICAL ANALYSIS AND EVALUATION OF MACHINES COMPLEX ON IMPLEMENTATION OF THE TECHNOLOGY OF CROP CULTIVATION

В. Л. ОКНОТНИКОВ,
doctor of technical sciences, professor,
А. Л. ОБУКHOV,
graduate student,
М. V. KHOLMANSKIKH,
graduate student,
Urals State Agrarian University
(42 K. Liebknechta Str., 620075, Ekaterinburg; tel.: +7 (343) 295-61-49)

Keywords: system analysis, complex machines, tractor unit, potatoes, soil consolidation, tree of events, performance, labourousness, operating costs.

The cultivation of potato is a complex system, includes dozens of components, which differ on value of operating costs. The development of all components requires an enormous amount of work, time and cost. Morphological analysis method suggests allocating to the group of main features of the prototype system, which can most affect the economy of resources. The control elements in the research are part of the unit, operating modes MTA, timing to the work and other. Presented in the work model of «black box» reflects the internal part of system in which the input control signals represent the quantitative and qualitative composition of the complex modes of operation, etc. External disturbing signals are difference of soils, climate and weather conditions, the margin settings, and others. The aim of the development of the morphological system scheme is the establishment of the independent variables investigated system and the variation of their values to achieve the goal. The subject of research is the component costs of complex production process. Using the event tree method in conjunction with the of export procedures – one of the main ways of organizing decomposition schemes. Place of expert subjective probabilities occupy mathematical models and estimates obtained on the basis of formalized methods of analysis. According to the event tree complex costs entered in the profit criterion include: operating costs for units by type of activity, the cost of labor, materials, services and taxation services. The magnitude of the operating costs of priority research identified the need to improve following elements of the system: manual handling, planting, harvesting, preparation and application of organic fertilizers, inter-row cultivation.

Положительная рецензия представлена Е. Е. Баженовым, доктором технических наук, профессором, заведующим кафедрой автомобилестроения, директором института автомобильного транспорта и технологических систем Уральского государственного лесотехнического университета.

Цель и методика исследований. Реализация технологии возделывания картофеля – сложная система, включающая десятки составляющих, отличающихся по величине эксплуатационных затрат. Разрабатывать все составляющие практически невозможно из-за колоссального объема работ, затрат времени и средств. Морфологический метод анализа предполагает выделить в исследуемом объекте группу основных признаков, которые более всего способны повлиять на экономию ресурсов. Для выделенных операций необходимо выбрать альтернативные варианты из существующих средств механизации (энергетических и рабочих машин) или разработать новые варианты, улучшающие показатели заменяемых. Управляемыми элементами в проводимом исследовании являются: состав агрегата, режимы работы МТА, сроки работ.

Приведенная модель отражает внутренний состав системы. Последнее можно описать, используя модель «черного ящика» (рис. 1).

Управляющий сигнал $X(t)$, включающий элементарные сигналы $X_1(t), X_2(t), X_3(t) \dots X_n(t)$, поступает в систему, состоящую из n элементов. На систему воздействует и внешний возмущающий сигнал в виде совокупности элементарных сигналов $P_1(t), P_2(t) \dots P_n(t)$. Система реагирует на поступающие сигналы появлением реакций $Y_1(t), Y_2(t) \dots Y_n(t)$.

Входные управляющие сигналы представляют количественный и качественный состав комплекса, режимы работы и др. Внешние возмущающие сигналы – почвенные разности, климатические и погодные условия и др.

Задача разработки морфологической схемы системы: установление независимых переменных исследуемой системы и пути достижения цели варьированием их значений (рис. 2).

Представленная схема показывает, что значение главного критерия исследуемой системы зависит от многочисленных переменных факторов (элементов). Выходные сигналы проявляются в виде затрат энер-

гии, труда и средств на выполнение операций, производительность агрегатов и т. д. Требуется определять их с учетом известных параметров технологии возделывания, почвенно-климатических условий и технического совершенства машин.

На схеме (рис. 2) приведены составляющие положительного или отрицательного взаимного влияния. Среди других показано влияние профиля клубненесущего слоя на технологические аспекты. Влияние это выражается через уплотнение части клубненесущего слоя ходовым аппаратом агрегатов, участвующих в выполнении операций по уходу за посадками картофеля. Уплотнение почвы приводит к снижению урожайности [1, 3, 4, 5], увеличению доли мелких, нетоварных клубней и росту потерь при уборке.

Зависимость уплотнения почвы от конструктивных особенностей машинно-тракторных агрегатов приводится во многих литературных источниках [9, 10 и др.]. Здесь большое значение имеют совмещение технологических операций, применение комбинированных рабочих машин и агрегатов. Такие средства механизации приводят к сокращению проходов МТА по полю, уменьшению уплотнения почвы, сокращению затрат энергии, повышению производительности, снижению затрат на единицу площади и продукции, сохранению структуры почвы и др.

Технологическое обслуживание машинно-тракторных агрегатов оказывает значительное влияние на производительность агрегатов, в том числе транспортных. Особое место занимают погрузочно-разгрузочные работы, степень их механизации [9, 10]. Для погрузки картофеля в транспортные средства рекомендуется использовать контейнеры, позволяющие механизировать процесс, повысить производительность транспортных средств, снизить затраты ручного труда и средств. Для предприятий с ограниченным наличием трудовых ресурсов на первое место в оценке производства ставят затраты труда на объем работ и единицу продукции.

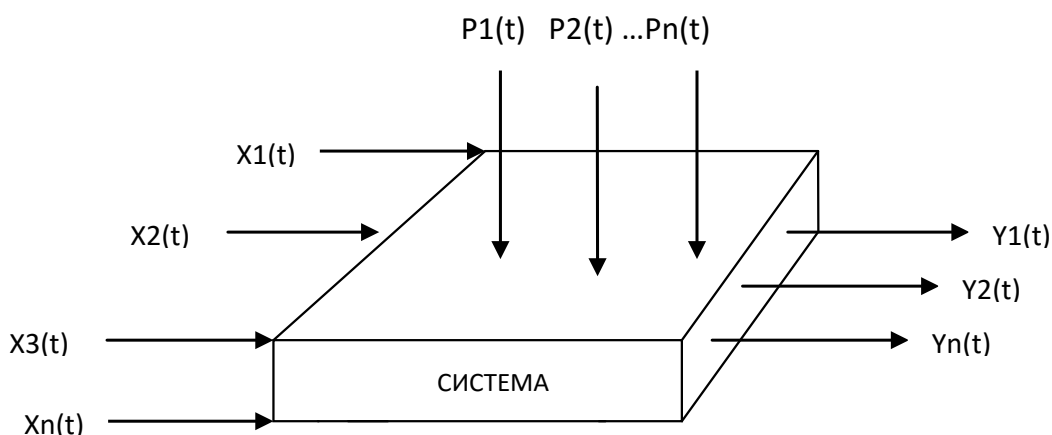


Рис. 1. Схема воздействий $[X_i(t), P_i(t)]$ на систему и ее реакции $[Y_i(t)]$
 Fig. 1. Scheme of effects $[X_i(t), P_i(t)]$ to the system and its reaction $[Y_i(t)]$

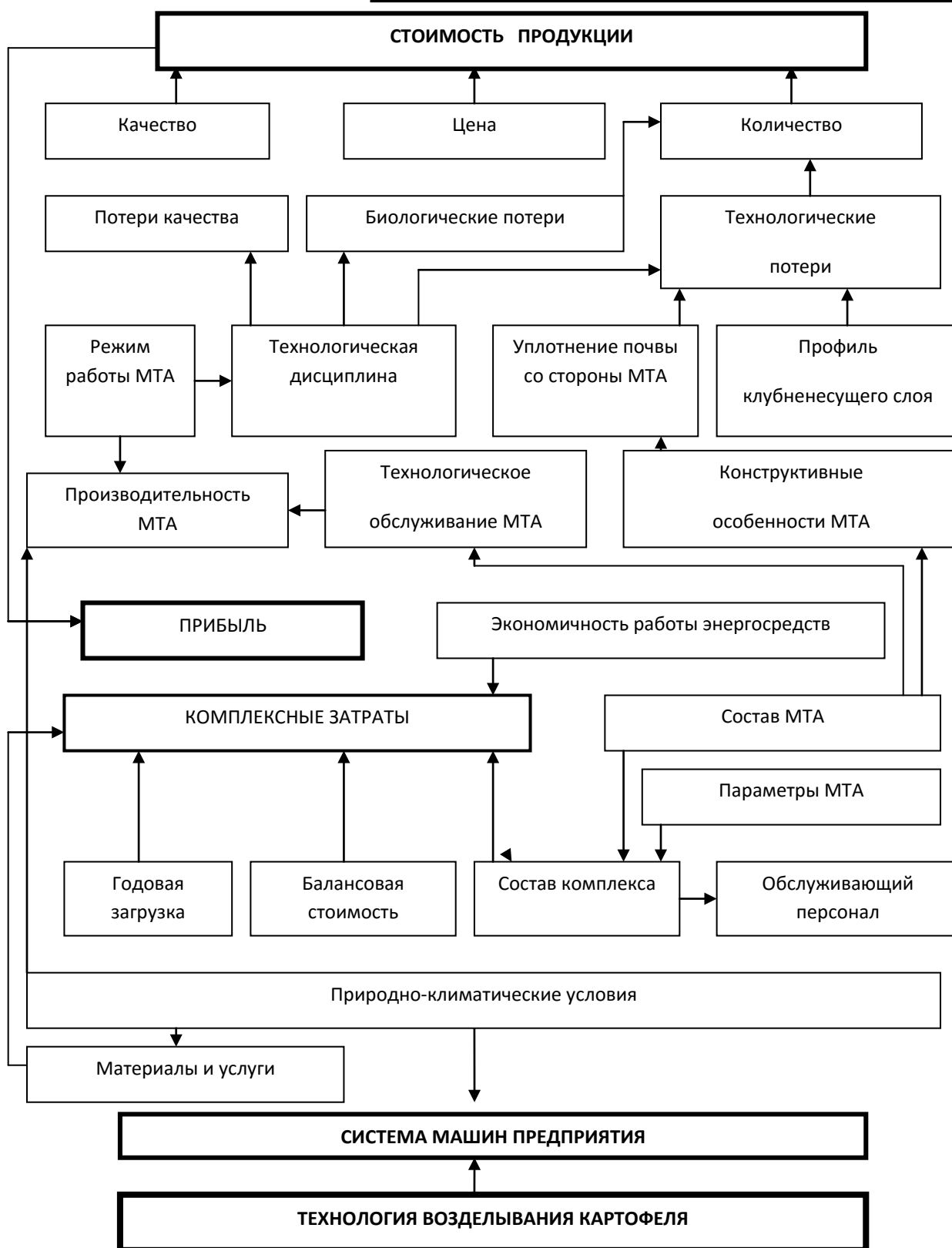


Рис. 2. Морфологическая схема системы

Прибыль является одним из важных обобщающих показателей эффективности производства продукции, которая отражает основные стороны производства, в том числе производительность труда, себестоимость, качество продукции и др. (рис. 2).

Прибыль определяется как разность между выручкой и полной себестоимостью продукции и выполненных работ (комплексные затраты).

Критерий прибыли при этом имеет вид:

$$\Pi = C_n - K_z \rightarrow \max, \quad (1)$$

где C_n – стоимость произведенной работы или продукции (выручка от реализации), руб.; K_z – комплексные затраты на обеспечение технологического процесса.

Предметом исследований является составляющая комплексных затрат на обеспечение технологического процесса. Эти затраты включают ряд раз-

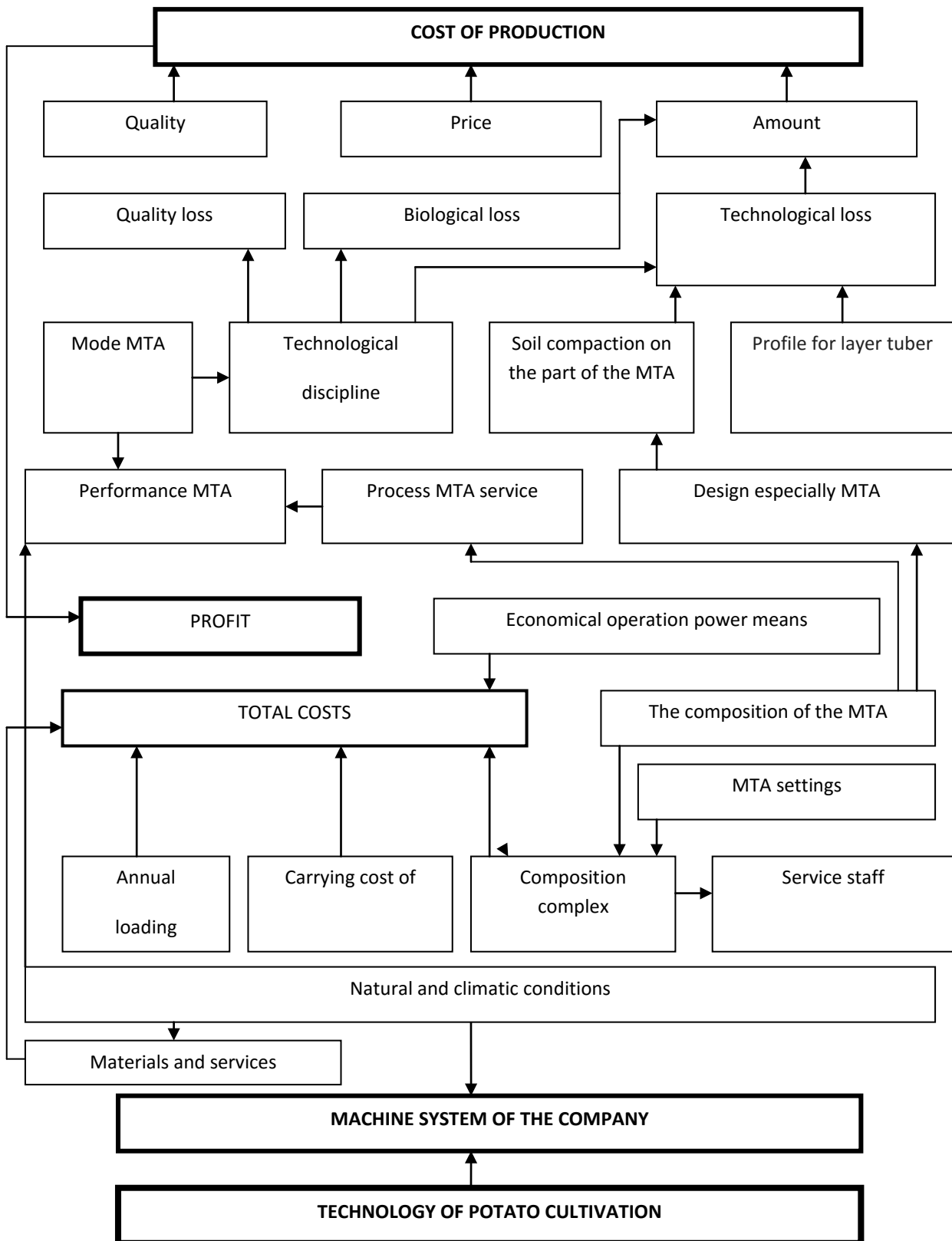


Fig. 2. Morphological scheme of the system

народных составляющих, меняющихся при воздействии многих факторов. При этом затраты должны быть минимизированы, т. е.:

$$\int_0^T F(x, u, t) dt \rightarrow \min.$$

В связи с тем, что динамический процесс анализа включает затраты труда и средств, между ними может наблюдаться конфликтная ситуация с соответствующими управлениями [7].

Управления будут выбираться из условий вида:

$$\int_0^C F_1(x, u) dc \rightarrow \min, \int_0^H F_2(x, u) dh \rightarrow \min. \quad (2)$$

Каждое из них отражает важность и первоочередность реализации составляющих системы. При этом предпочтение того или другого управления не может быть формализовано на данный момент. Решение вопроса должно основываться на результатах экспертизы и увязываться с интересами потребителя.

Для обеспечения надежной оценки действия экспертизы должны быть специальным образом организованы. Проблема должна быть разбита на отдельные простые действия, доступные экспертизе.

Один из примеров декомпозиции – метод дерева событий. В этом случае событие должно быть расчленено в виде дерева элементарных событий.

Событие (S) является заключительным. Требуется перечислить события S_1, S_2, \dots, S_k , от выполнения которых зависит свершение или несвершение события S. Событие S_1 может выражать эксплуатационные затраты, событие S_2 – затраты на материалы, S_3 – услуги сторонних организаций (подразделений).

Тогда событие S^f определится как $S^f = f(S_1, S_2, \dots, S_k)$, где f – некоторая логическая функция от переменных S_i . В простейшем случае f образована с помощью одних только операций конъюнкции, т. е. событие S^f состоит в одновременном появлении собы-

тий S_1, S_2, \dots, S_k . Применительно к возделыванию картофеля функция f имеет более сложную структуру.

Основная задача экспертизы состоит в том, чтобы определить условное значение события S в результате наступления события S^f .

В результате экспертизы состава отдельных технологических операций получим функцию $C_{(i)}$:

$$S(c) = \sum_0^N C_i. \quad (3)$$

Если событие $C_{(i)}$ достаточно сложно, то необходимо перейти к следующему шагу. Он состоит в том, чтобы для этого события C_i указать события (C_{ij}), от наступления которых зависит значение события C_i ; затем ввести событие S^f , состоящее в наступлении событий S_{ij} .

Если экспертиза не может оценить очередное событие, то следует продолжать процесс расчленения. В результате получаем некоторое дерево событий (рис. 3).

Такой подход позволит добраться до слоя с простыми событиями, доступными для экспертизы.

В качестве оценок могут быть показатели стоимости, надежности и др. В качестве критериев оценки технологических операций и технических

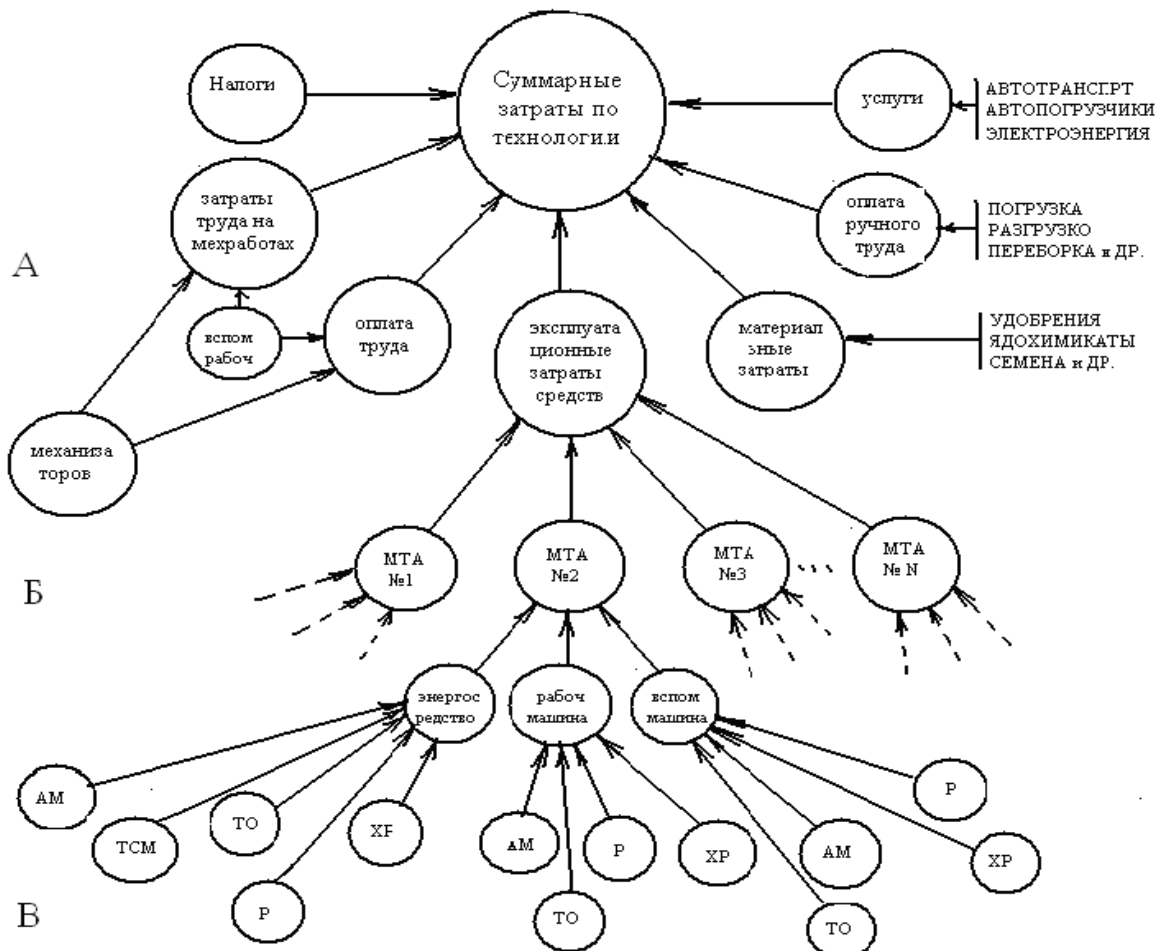


Рис. 3. Дерево событий производства картофеля: А – уровень затрат по категориям; Б – суммарные эксплуатационные затраты по агрегатам; В – эксплуатационные затраты по отдельным техническим средствам

средств для потребителей чаще всего выступают затраты труда и средств.

Использование метода дерева событий в соединении с экспертными процедурами – один из основных способов организации схем декомпозиции.

Место экспертных субъективных вероятностей могут занимать математические модели и оценки, полученные на основе формализованных методов анализа.

Разделение проблемы определяется природой задачи и квалификацией лиц для проведения анализа. При этом разделение сложной задачи на цепочку более простых задач является некоторой эвристической процедурой.

Согласно дереву событий комплексные затраты, входящие в критерий прибыли (1), включают:

- эксплуатационные затраты на агрегаты по видам работ;
- затраты на оплату труда механизаторов, вспомогательных рабочих на агрегате и на выполнение ручных работ;

– затраты на материалы, услуги и обслуживание налогообложения.

Применительно к решаемой проблеме зависимость (3) будет выглядеть так:

$$K_3 = \sum C_{ikt} + \sum C_{opt} + \sum C_y + \sum M_3 + H, \quad (4)$$

где C_{ikt} – затраты на i -й агрегат при выполнении k -й работы в период t ; C_{opt} – затраты на оплату ручного труда; C_y – оплата услуг; H – налоги на землю, имущество и др.

В связи со сложностью составляющих зависимости (4) необходимо разложить их на составляющие следующего уровня.

Затраты, связанные с использованием i -го МТА за период t на k -й работе:

$$C_{ikt} = (\sum C_j \times N_M + C_3 + C_{TCM} + C_{PP}) \times W_{ikr} \times D, \text{ руб.}, \quad (5)$$

где C_j – затраты на ТО и ремонты по i -й машине, k -му агрегату и на r -й работе, руб./га; N_M – количество ма-

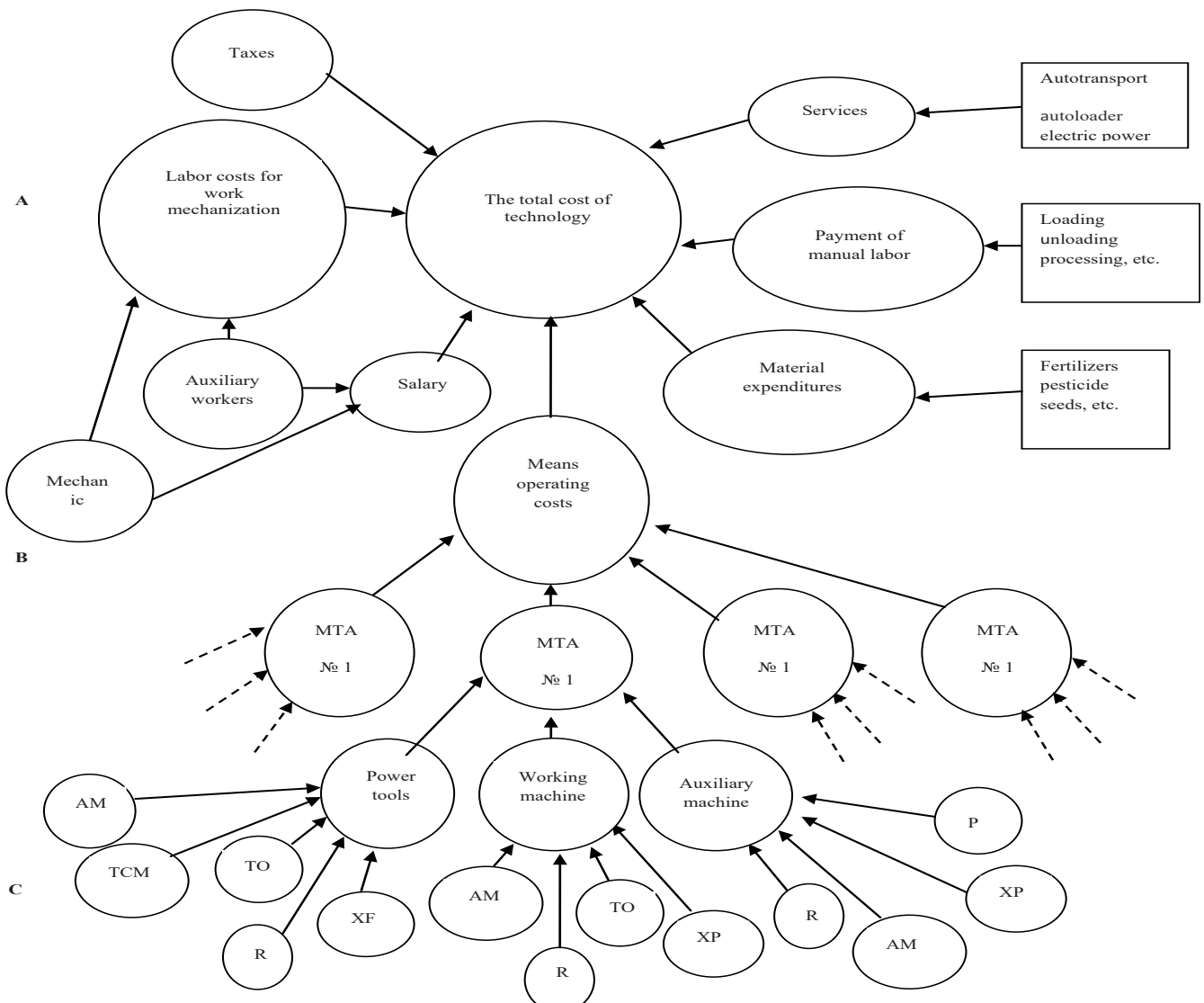


Fig. 3. Tree of events of potato production: A – the level of expenses by category; B – total operating costs for units; C – operating costs for individual technical means

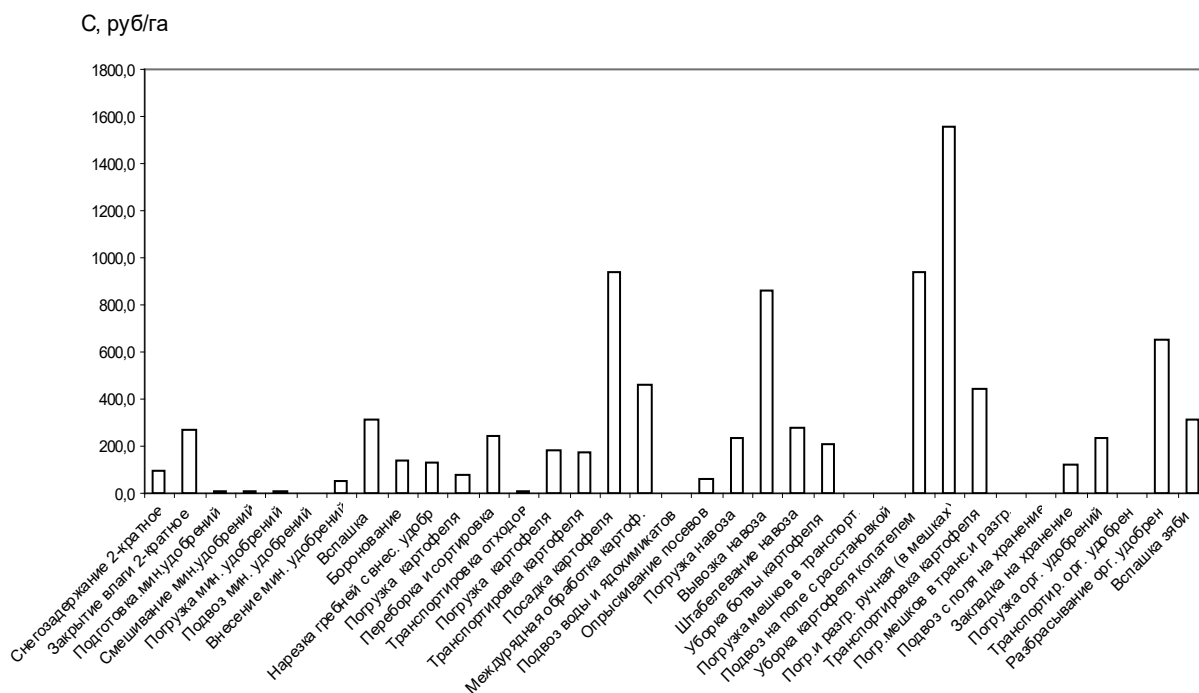


Рис. 4. Эксплуатационные затраты по отдельным технологическим операциям

Fig. 4. Operating costs for the individual processing steps:
 1 – double snow retention (100), 2 – double closing moisture (300), 3 – preparation of mineral fertilizers (10), 4 – mixing fertilizer (10), 5 – handling of fertilizers (10), 6 – deliveries of mineral fertilizers (0), 7 – adding fertilizer (50), 8 – plowing (350), 9 – harrowing (150), 10 – cutting combs with fertilizers (140), 11 – potato loading (100), 12 – potato transportation (90), 13 – planting potatoes (950), 14 – row cultivation of potatoes (450), 15 – deliveries of water and toxic chemicals (0), 16 – spraying crops (60), 17 – manure handling (300), 18 – manure removal (880), 19 – manure stamping (330), 20 – cleaning topper potatoes (200), 21 – loading bags in vehicles (0), 22 – deliveries on the field with an arrangement (0), 23 – harvesting potatoes digger (920), 24 – manual (in bags) loading and unloading (1550), 25 – potato transportation (450), 26 – loading bags into trucks and trailers (0), 27 – deliveries from the field to storage (0), 28 – stowing (110), 29 – handling of organic fertilizers (250), 30 – transport of organic fertilizers (0), 31 – spreading manure (650), 32 – fields plowing (300)

шин в агрегате; C_3 – затраты на оплату труда механизатора и вспомогательных рабочих на агрегате, руб./га; $C_{\text{тсм}}$ – затраты на топливо и смазочные материалы, руб./га; $C_{\text{пр}}$ – прочие затраты на основные и вспомогательные материалы (семена, удобрения, ядохимикаты и др.) при выполнении механизированных работ, руб./га; $W_{\text{икг}}$ – производительность i -го МТА на r -й работе, га/ч; D – затраты времени на выполнение работ, ч.

Затраты на оплату труда на единицу работы:

$$C_3 = \frac{\sum K_1 \cdot K_2 \cdot (K_{\text{нк}} \cdot M_{\text{тжк}} \cdot f_{\text{ж}} + M_{\text{эк}} \cdot f_{\text{с}})}{W_c}, \text{ руб./га, (6)}$$

где K_1, K_2 – коэффициенты начисления на зарплату; $K_{\text{нк}}$ – коэффициент, учитывающий надбавки; $M_{\text{тжк}}$, $M_{\text{эк}}$ – количество механизаторов и вспомогательных рабочих на агрегате; $f_{\text{т}}$, $f_{\text{в}}$ – сменные ставки тракториста и вспомогательных рабочих; W_c – сменная производительность МТА, га/см, n – количество агрегатов.

Затраты на топливо и смазочные материалы:

$$C_{\text{тсм}} = \sum q_k \times \Pi_k, \text{ руб./га, (7)}$$

где q_k – расход топлива на гектар, кг; Π_k – комплексная цена топлива, руб./кг.

Затраты на вспомогательные материалы в расчете на 1 га:

$$C_{\text{пр}} = \sum q_m \cdot \Pi_m, \text{ (8)}$$

где q_m – расход вспомогательных материалов на гектар; Π_m – цена материала.

Эксплуатационные затраты техники (без ТСМ):

$$C_{\Sigma 3} = C_a + C_{\text{то, тр, хр}} + C_3 + C_{\text{пр}}, \text{ (9)}$$

где C_a – амортизационные отчисления на реновацию и капитальный ремонт; $C_{\text{то, тр, хр}}$ – затраты на техническое обслуживание, ремонты и хранение; C_3 – затраты на оплату труда обслуживающего персонала (механизатор и вспомогательный рабочий); $C_{\text{пр}}$ – затраты на вспомогательные материалы.

Результаты исследований. Использование метода дерева событий в соединении с экспертными процедурами – один из основных способов организации схем декомпозиции. Место экспертных субъективных вероятностей занимают математические модели и оценки, полученные на основе формализованных методов анализа.

Согласно дереву событий комплексные затраты, входящие в критерий прибыли, включают: эксплуатационные затраты на агрегаты по видам работ, затраты на оплату труда, на материалы, услуги и налогообложение.

На рис. 4 приведены эксплуатационные затраты по операциям (второй уровень) для технологического комплекса (третий уровень).

Выводы. Рекомендации. По величине эксплуатационных затрат исследованиями установлена не-

обходимость первоочередного совершенствования и внесение органических удобрений, междурядная следующих элементов системы: ручные погрузочно-обработка. но-разгрузочные работы, посадка, уборка, заготовка

Литература

1. Ванифатьев А. Г., Дубинин В. Х. Освоение энергосберегающих технологий в картофелеводстве. М. ; Пушкино : ОНТИ ПНЦ РАН, 2001.
2. Зубарев А. А., Каргин И. Ф., Иванова Н. Н. Оптимальная обработка почвы под картофель // Картофель и овощи. 2014. № 3.
3. Елизаров В. П., Бейлис В. М. Проблемы создания инновационной системы технологий и машин для растениеводства // Тракторы и СХМ. 2014. № 1. С. 46–50.
4. Ерохин М. Н., Максимов П. Л., Дородов П. В. Повышение конструкционной надежности копателя-сборщика картофеля // Тракторы и СХМ. 2015. № 2. С. 8–12.
5. Коцарь Ю. А., Плужников С. В., Мавзовин В. С., Харитонов А. Ю., Кадухин А. И. Анализ эксплуатационных факторов, определяющих топливно-экономическую эффективность машинно-тракторного агрегата // Тракторы и СХМ. 2015. № 9. С. 46–49.
6. Лысенко Ю. Н., Лысенко Н. Ю., Баршикова Е. Г. Передовую технологию – населению // Картофель и овощи. 2015. № 6.
7. Моисеев Н. Н. Математические задачи системного анализа. М. : Наука, 1981.
8. Норчаев Д. Р. Исследование воздействия рыхлителей элеватора энергосберегающего картофелекопателя на почвенную массу // Тракторы и СХМ. 2015. № 6. С. 20–22.
9. Охотников Б. Л. Обоснование модернизации базовых технологий и средств механизации производства растениеводческой продукции (на примере возделывания картофеля) // Вестник ЧГАУ. 2004. Т. 42. С. 100–103.
10. Охотников Б. Л., Андреев В. А. Определение основных параметров агрегата для обработки посадок картофеля и формирования клубненесущего слоя // Механизация и электрификация сельского хозяйства. 2006. № 8. С. 8–9.
11. Славкин В. И., Белов М. И., Красящих К. А., Пронин В. Ю., Журавлев А. В. Экспериментальные исследования самоходного картофелеуборочного комбайна, оснащенного системой управления процессом сепарации // Тракторы и СХМ. 2016. № 2. С. 28–30.

References

1. Vanifatev A. G. Dubinin V. H. The development of energy-saving technologies in potato growing. M. ; Pushchino : ONTI PSC of RAS, 2001.
2. Zubarev A. A., Kargin J. F., Ivanova N. N. Optimum soil cultivation for potatoes // Potatoes and vegetables. 2014. № 3.
3. Elizarov V. P., Bailis V. M. Problems of creating an innovative system technology and machinery for agriculture and forestry // Tractors and agricultural vehicles. 2014. № 10. P. 46–50.
4. Erokhin M. N., Maksimov P. L., Dorodov P. V. Increasing of structural reliability digger potato-picker // Tractors and agricultural vehicles. 2015. № 2. P. 8–12.
5. Kotsar Yu. A., Pluzhnikov S. V. Mavzovin V. S., Kharitonov A. Yu. , Kaduhin A. I. Analysis of operational factors that determine the fuel and economic efficiency of the machine and tractor unit // Tractors and agricultural vehicles. 2015. № 9. P. 46–49.
6. Lysenko Yu. N., Lysenko N. Yu., Barshikova E. G. Advanced technologies to the population. // Potatoes and vegetables. 2015. № 6.
7. Moiseev N. N. Mathematical problems of system analysis. M. : Nauka, 1981.
8. Norchaev D. R. Impact study of energy-saving elevator of ripper's potato digger on the soil mass // Tractors and agricultural vehicles. 2015. № 6. P. 20–22.
9. Okhotnikov B. L. Rationale for the modernization of basic technologies and means of mechanization of crop production (potato cultivation example) // Bulletin of the Chelyabinsk State Agrarian University. 2004. Vol. 42. P. 100–103.
10. Okhotnikov B. L., Andreev V. A. Identification of the main parameters of the unit for processing of potato and layer formation tuber // Mechanization and electrification of agriculture. 2006. № 8. P. 8–9.
11. Slavkin V. I., Belov M. I., Krasyaschikh, K. A. Pronin V. Yu., Zhuravlev A. V. Experimental studies of the self-propelled potato harvester equipped with a control system of the separation process // Tractors and agricultural vehicles. 2016. № 2. P. 28–30.