

ков взаимного положения звеньев;  $f(Q)$  — функция, определяющая взаимосвязь обобщенных координат манипулятора и координат конечного звена.

В полуавтоматическом режиме оператор задает только траекторию движения схвата, не заботясь о движении приводов манипулятора. Полуавтоматический режим также может быть использован при управлении манипулятором для решения большинства задач, которые могут возникнуть при использовании МРК и в то же время позволяет существенно снизить загруженность оператора.

Супервизорный режим управления, в отличие от полуавтоматического, не предполагает использования труда оператора для задания траектории движения схвата в реальном времени, а лишь указание оператором целей, что позволяет существенно повысить скорость выполнения операций.

Для осуществления супервизорного режима управления необходима трехмерная модель среды, в которой работает робот, и трехмерные модели объектов, с которыми непосредственно работает манипулятор, так как необходимо обеспечить распознавание целей, задаваемых оператором, а также обеспечить безопасность работы МРК в окружающей среде. Для построения трехмерных моделей среды и объектов может быть использован лазерный дальномер, а поиск и распознавание целей, заданных оператором, предполагается осуществить с использованием алгоритмов, позволяющих распознавать и находить различные объекты на трехмерных моделях.

### Выводы

Система управления манипуляторами должна обеспечивать их безопасную совместную работу,

выдавать оператору необходимую телеметрическую информацию и уменьшать загруженность оператора, осуществляя предварительную обработку информации и выдавая ее оператору в наиболее приемлемом для него виде.

В системе управления МРК предлагается использовать командный, полуавтоматический и супервизорный режим управления, так как в этом случае может быть обеспечен широкий круг задач, решаемых с помощью МРК, и вместе с тем при применении супервизорного и полуавтоматического режимов может быть уменьшено время выполнения значительной части задач, решаемых МРК.

Полуавтоматический режим управления манипуляторами предполагается осуществить на основе анализа кинематики манипулятора с использованием линеаризованного алгоритма управления по положению.

Супервизорный режим управления манипуляторами предлагается реализовать с использованием алгоритмов, позволяющих распознавать и находить различные объекты на трехмерных моделях, что необходимо для поиска и распознавания целей, задаваемых оператором.

### Список литературы

1. Воробьев, Е.И. Промышленные роботы агрегатно-модульного типа / Е.И. Воробьев, Ю.Г. Козырев, В.И. Царенко; под общ. ред. Е.П. Попова. — М.: Машиностроение, 1988. — 240 с.
2. Проектирование и разработка промышленных роботов / С.С. Аншин [и др.]; под общ. ред. Я.А. Шифрина, П.Н. Белянина. — М.: Машиностроение, 1989. — 272 с.
3. Детали и механизмы роботов: Основы расчета, конструирования и технологии производства: учеб. пособие / Р.С. Веселков [и др.]; под ред. Б.Б. Самотокина. — Киев: Выща шк., 1990. — 344 с.

УДК 656.027.4

*Н.В. Алдошин, доктор техн. наук*

Московский государственный агроинженерный университет имени В.П. Горячкина

*А.С. Пехутов, канд. техн. наук*

Бурятская государственная сельскохозяйственная академия имени В.Р. Филиппова

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ПЕРЕВОЗОК ГРУЗОВ

**П**овышение эффективности перевозок грузов в сельском хозяйстве связано не только с техническим совершенствованием подвижного состава, технологических и погрузочно-разгрузочных машин, но и внедрением прогрессивной технологии перевозки грузов. Основной задачей технологии является снижение продолжительности и трудоемкости перевозок за счет сокращения чис-

ла выполняемых операций и этапов процесса перевозки [1].

Под *технологией процесса перевозки грузов* понимается способ реализации конкретного перевозочного процесса путем расчленения его на систему последовательных взаимосвязанных этапов и операций. Сущностью технологии перевозки грузов является два основных понятия — этап и операция.

*Операция* — это однородная, логически неделимая часть процесса перевозки, направленная на достижение определенной цели, выполняемая одним или несколькими исполнителями. *Этапом* является набор операций, с помощью которых осуществляется тот или иной процесс.

Перевозки в сельском хозяйстве обладают специфическими особенностями в технологии, а составляющие их элементы характеризуются закономерностями, присущими условиям только этих перевозок. Операции, из которых складывается процесс перевозки, неоднородны и отличаются своей продолжительностью. Некоторые операции, объединяясь, создают определенные этапы этого процесса, каждый из которых выполняет свои задачи. Отдельные операции и этапы процесса находятся в определенной зависимости друг от друга (например, прежде чем транспортировать груз, его надо погрузить и т. д.). Таким образом, данный процесс является многоэтапным и многооперационным, с большой технологической и экономической разнородностью операций. Кроме того, он имеет циклический характер. Это значит, что перемещение грузов совершается повторяющимися производственными циклами, следующими один за другим. Ритм этих циклов определяется их частотой, которая, в свою очередь, зависит от средней продолжительности одного цикла. Циклы отдельных процессов перевозки колеблются во времени. Однако они всегда имеют начало и конец. Каждый повторяющийся цикл перевозки складывается из многих отдельных этапов, находящихся в тесной взаимосвязи и имеющих определенный вектор направленности, так как их конечная цель — достичь пространственной смены положения грузов. Комплекс этих циклов создает перевозочный процесс.

Все составляющие перевозочного процесса характеризуются временем их выполнения  $T$ .

Классическая теория автомобильных перевозок грузов [2, 3] при определении выходных показателей работы транспортных средств базируется на формулах часовой производительности транспортного средства, предложенных С.Р. Лейдерманом [1]:

$$W_Q^q = \frac{q_n \gamma_d \beta v_T}{l_T + \beta v_T t_{пр}}, T; \\ W_P^q = \frac{q_n \gamma_d \beta v_T l_T}{l_T + \beta v_T t_{пр}}, \text{ ткм.} \quad (1)$$

По этим выражениям невозможно с первого взгляда говорить об эффективности технологического процесса. Определение потерь конкретных технологий осуществляется с помощью сложных математических расчетов.

Задачи рационального использования подвижного состава на транс-

портно-технологических перевозках грузов при производстве сельскохозяйственной продукции предполагают необходимость разработки системы показателей, характеризующих эффективность использования транспортных средств именно в конкретных технологических условиях перевозок. Они позволяют выявить, в каких местах происходят наибольшие потери производительности на транспортных операциях и определить резервы повышения эффективности использования подвижного состава. Необходима также графическая объемная визуализация процесса перевозок, где реально отражаются все потери рассматриваемой технологии.

Впервые в этом направлении была сделана попытка визуализации транспортной работы в статье сборника научных трудов [4], однако теоретические положения там не полностью соответствовали классической теории.

Транспортная работа согласно источникам [4, 5], что не противоречит классической физике, представляет собой произведение массы груза, скорости движения и времени работы транспортного средства:

$$A_p = qvT, \text{ ткм.} \quad (2)$$

Графическая объемная модель выражения (2) приведена на рис. 1. По оси  $x$  откладывается грузоподъемность  $q$ , по оси  $y$  — время  $T$  и по оси  $z$  — скорость  $v$ .

Как известно, на производстве учитываются не только номинальные величины показателей, но и фактические их значения.

Номинальная величина транспортной работы за сутки такова, ткм:

$$A_{Pн} = q_n v_n T_c, \quad (3)$$

где  $q_n$  — номинальная масса груза перевозимая транспортной машиной;  $v_n$  — номинальная скорость движения транспортной машины;  $T_c$  — суточное время.

Фактическая величина транспортной работы за то же время, ткм:

$$A_{Pф} = q_{ф} v_{ф} T_{см}, \quad (4)$$

где  $q_{ф}$  — фактическая или действительная масса груза, перевозимая транспортной машиной;  $v_{ф}$  — фактическая скорость движения транспортной машины;  $T_{см}$  — сменное время.

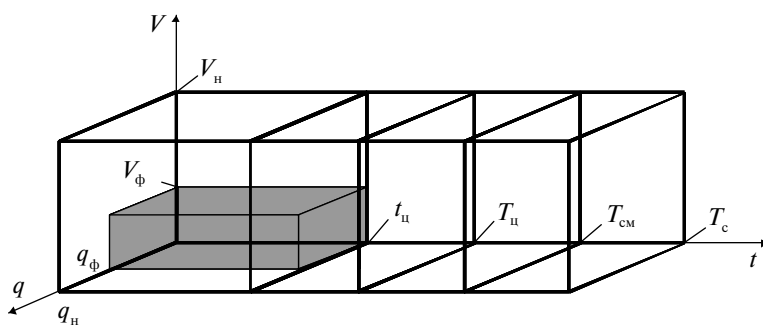


Рис. 1. Графическая объемная модель транспортной работы

Технологический коэффициент использования номинальной транспортной работы

$$K_p = \frac{q_\phi v_\phi T_{cm}}{q_n v_n T_c} \quad (5)$$

Фактическая величина транспортной работы с учетом коэффициента использования номинальной транспортной работы, ткм:

$$A_{p\phi} = P_n K_p, \quad (6)$$

$$K_p = \frac{q_\phi v_\phi T_\Gamma}{q_n v_n T_c} = K_p K_v K_t; \quad (7)$$

$$K_p = \frac{q_\phi}{q_n}; K_v = \frac{v_\Gamma}{v_n}; K_t = \frac{T_\Gamma}{T_c}; \quad (8)$$

где  $K_p$  — коэффициент использования номинальной грузоподъемности;  $K_v$  — коэффициент использования номинальной скорости движения;  $K_t$  — коэффициент использования суточного времени.

С учетом этого выражения фактическая транспортная работа определится по формуле

$$A_{p\phi} = P_n K_p K_v K_t \text{ ткм.} \quad (9)$$

В соответствии с рисунком возможная (номинальная) транспортная работа за сутки  $A_{pн}$  заключена в объеме параллелепипеда, определяемого произведением величин  $q_n, v_n, T_c$ , т. е.  $A_{pн} = q_n v_n T_c$  согласно выражению (3). За время работы транспортного средства за смену  $T_{cm}$  транспортная работа определится из выражения  $A_{pн} = q_n v_n T_{cm}$ , за время одного цикла  $A_{pн} = q_n v_n t_{ц}$  и за несколько циклов за смену  $A_{pн} = q_n v_n T_{ц}$ .

Фактическая транспортная работа  $A_{p\phi}$  меньше возможной из-за потерь недоиспользования номинальной грузоподъемности  $q_n$ , цикловых потерь скорости движения  $V_n$  и потерь времени за сутки. Фактическая транспортная работа за цикл в течение суток показана в виде затемненного параллелепипеда. Светлые объемы большого параллелепипеда относятся к потерям.

Боковая грань параллелепипеда в координатах  $qV$  представляет собой прямоугольник с определенной площадью.

Транспортная мощность  $P$  — это величина транспортной работы  $A_p$ , выполняемой в единицу времени:

$$P = \frac{A_p}{t}, \text{ ткм/ч.} \quad (10)$$

В числителе транспортная работа выразится так:

$$A_p = ql_\Gamma = qvt_\Gamma, \text{ ткм.} \quad (11)$$

С учетом выражения (10) транспортная мощность определится следующим образом:

$$P = \frac{A_p}{t_\Gamma} = \frac{qvt_\Gamma}{t_\Gamma} = qv, \text{ ткм/ч.} \quad (12)$$

Формула (11) показывает, что транспортная мощность представляет собой произведение сторон прямоугольника  $q$  и  $v$ , т. е. площадь боковой грани параллелепипеда (см. рис. 1).

Номинальная величина транспортной мощности

$$P_n = q_n v_n, \text{ ткм/ч.} \quad (13)$$

Фактическая величина транспортной мощности

$$P_\phi = q_\phi v_\phi, \text{ ткм/ч.} \quad (14)$$

В соответствии с рис. 2 площадь затемненного прямоугольника  $P_\phi$  равна произведению  $q_\phi$  на  $v_\phi$ , что составляет фактическую транспортную мощность. Площадь большего прямоугольника  $P_n$ , равная произведению  $q_n$  и  $v_n$ , составляет номинальную транспортную мощность.

Таким образом, получены результаты в виде показателей (7). Это коэффициенты использования грузоподъемности  $K_c$ , использования скорости движения  $K_v$ , использования суточного времени  $K_t$ . Они характеризуют степень использования транспортной мощности во времени суток. Кроме того, получен обобщенный показатель  $K_p$ , отражающий эффективность использования номинальной транспортной работы. Он является коэффициентом эффективности транспортной работы.

Зная коэффициент использования (эффективности), можно определить общие потери по транспортной работе. Он рассчитывается следующим образом:

$$A_{p\text{пот.}} = A_{pн}(1 - K_p), \text{ ткм.} \quad (15)$$

Потери только по коэффициенту использования грузоподъемности

$$A_{p\text{пот}} = A_{pн}(1 - K_p)K_v K_t, \text{ ткм.} \quad (16)$$

Потери по коэффициенту использования скорости движения

$$A_{p\text{пот}} = A_{pн}(1 - K_v)K_p K_t, \text{ ткм.} \quad (17)$$

Потери по коэффициенту использования времени суток

$$A_{p\text{пот}} = A_{pн}(1 - K_t)K_p K_v, \text{ ткм.} \quad (18)$$

Предложенная система показателей позволяет не только определять общие потери выполненной работы транспортных машин, но и дает возможность разработать на ее основе формулы для

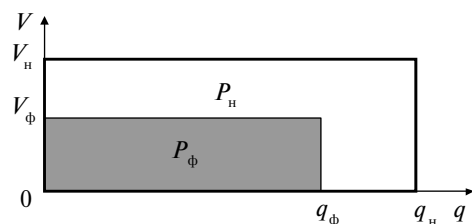


Рис. 2. Графическое изображение транспортной мощности

расчета потерь по конкретным этапам и операциям технологии перевозочного процесса при производстве сельскохозяйственной продукции.

### Выводы

1. Разработана система показателей для оценки эффективности технологического процесса перевозок грузов.

2. С помощью этих показателей можно определить потери выходных показателей работы транспорта на различных этапах и операциях технологического процесса перевозки грузов при производстве сельскохозяйственной продукции.

3. Объемная модель позволяет наглядно визуализировать потери транспортного процесса.

### Список литературы

1. Лейдерман, С.Е. Эксплуатация грузовых автомобилей / С.Е. Лейдерман. — М.: Транспорт, 1966. — 152 с.
2. Афанасьев, Л.Л. Единая транспортная система и автомобильные перевозки: учебник для студентов вузов / Л.Л. Афанасьев, Н.Б. Островский, С.М. Цукерберг. — 2-е изд., перераб. и доп. — М.: Транспорт, 1984. — 334 с.
3. Майборода, М.Е. Грузовые автомобильные перевозки: учебник / М.Е. Майборода, В.В. Беднарский. — Ростов н/Д: Феникс, 2007. — 442 с.
4. Степанов, А.Е. Показатели эффективности использования автомобиля / А.Е. Степанов // Повышение эффективности и качества автотранспортного обслуживания: сб. науч. тр. — М.: МАДИ, 1989. — С. 38–42.
5. Квитко, Х.Д. Эффективность использования грузовых автомобилей / Х.Д. Квитко; под ред. А.Н. Малышева. — М.: Транспорт, 1979. — 174 с.

УДК 631.3:628.8/9

*С.А. Андреев, канд. техн. наук*

*Н.И. Гурецкий*

*И.В. Белоусова*

Московский государственный агроинженерный университет имени В.П. Горячкина

## АДСОРБЦИОННАЯ СУШКА ТВЕРДОГО ВЕЩЕСТВА В ОЗОНОВОЗДУШНОЙ СРЕДЕ

С проблемой сушки твердого вещества приходится сталкиваться при осушении воздуха на объектах АПК посредством взаимодействия влажного воздуха с твердым (порошкообразным) адсорбирующим веществом и последующем удалении поглощенной влаги. Обычно на этапе регенерации используют сухой воздух, прокачиваемый через слой адсорбирующего вещества при температуре 120...150 °С. При этом в качестве адсорбирующего вещества успешно применяется силикагель. Силикагель помещается в специальную емкость, которая приводится в медленное вращение, обеспечивающее непрерывность процесса за счет периодического перемещения вещества через зоны поглощения и удаления влаги. На этом принципе основано действие многочисленных промышленных осушителей, используемых в складских, производственных и жилых помещениях [1].

При всей несложности технической реализации способа приходится признавать его высокую энергоемкость. Действительно, при осушении воздуха необходимо затрачивать энергию на осуществление четырех операций: подачу осушаемого воздуха, вращение емкости с адсорбирующим веществом, нагрев воздуха в рециркуляционном плече и его подачу. При этом наибольшие затраты энергии приходятся на нагрев воздуха в рециркуляционном плече. Известно, что объем прокачиваемого

сухого воздуха в зоне регенерации должен составлять примерно треть от объема воздуха, подаваемого в зону осушения. Используя это соотношение, можно легко оценить энергозатраты на нагрев. Так, например, при осушении воздуха в объекте, имеющего площадь 400 м<sup>2</sup> и высоту 4 м, потребуются энергозатраты на нагрев регенерационного воздуха с начальной температурой 20 °С в следующем объеме:

$$Q = Cm(T_{\text{кон}} - T_{\text{нач}}),$$

где  $C$  — теплоемкость воздуха,  $C = 1$  кДж/кг·град;  $m$  — масса воздуха,  $m = 1,29 \cdot 400 \cdot 4 \cdot 0,3 = 619,2$  кг;  $T_{\text{кон}}$  и  $T_{\text{нач}}$  — конечная и начальная температуры воздуха в рециркуляционном плече соответственно;  $T_{\text{кон}} = 150$  °С,  $T_{\text{нач}} = 20$  °С.

$$Q = 1 \cdot 2064 \cdot (150 - 20) = 89\,440 \text{ кДж.}$$

С целью уменьшения энергоемкости способа необходимо заменить нагрев регенерационного воздуха на иной прием интенсификации сушки адсорбирующего вещества. При этом определенные перспективы могут быть связаны с применением озона. Уже сегодня озоновоздушная смесь успешно применяется при сушке зерна [2]. Однако зерно по своим свойствам не эквивалентно силикагелю, а кроме того, оно является объектом биологического происхождения, при сушке которого могут проявляться специфические явления [3].