

М178255
Министерство высшего и среднего специального образования СССР

Московское
ордена Ленина и ордена Трудового Красного Знамени
высшее техническое училище им. Н. Э. Баумана

ТИТАРЧУК Анатолий Александрович

ИССЛЕДОВАНИЕ СПОСОБОВ ПОВЫШЕНИЯ
РАВНОМЕРНОСТИ ХОДА МАШИННОГО АГРЕГАТА

(05.021 Теория механизмов, машин и автоматических линий) -

Диссертация написана на русском языке

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

НА ДОК
НЕ ВЫДАЕТСЯ

Работа выполнена в МВТУ им. Н. Э. Баумана.

Научный руководитель —
заслуженный деятель науки и техники РСФСР,
профессор, доктор технических наук Гавриленко В. А.

Официальные оппоненты:
проф., доктор технических наук Юдин В. А.,
доктор технических наук Крейнин Г. В.,

ведущее предприятие — Всесоюзный научно-исследователь-
ский и экспериментально-конструкторский институт продо-
вольственного машиностроения (ВНИЭКИПРОДМАШ).

Автореферат разослан « . . . » 1973 г.

Защита диссертации состоится « . . . » 1973 г.

на заседании С этого факуль-
тета МВТУ Бауман-
ская ул., ...

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке МВТУ
им. Н. Э. Баумана.

Ваши замечания и предложения просим направлять по адресу (заве-
ренных по му адресу.

Ученый секретарь
к. т. н. Бов Л. Н.

М/78 255

В директивах XXIV съезда КПСС по пятилетнему плану развития народного хозяйства СССР на 1971-1975 годы отмечается, что материальной основой технического перевооружения всего народного хозяйства является машиностроение; его главная задача — обеспечить все отрасли высокoeffективными машинами и оборудованием.

Задача создания новых высокoeffективных машин с повышенными силовыми и скоростными характеристиками требует от ученых и инженеров применения все более глубоких методов расчета машин, что приводит к дальнейшему развитию динамики машин и теории колебаний в машинах.

Наиболее распространенным видом колебаний в механических системах машин являются вынужденные колебания, вызываемые периодическими внешними силами. Регулирование таких колебаний осуществляется, главным образом, установкой на ведущий (или другой) вал весьма больших дополнительных масс — маховиков. Однако и такое регулирование в ряде машин по конструктивным соображениям нередко не выполняется. Поэтому изыскание новых возможных способов уменьшения вынужденных колебаний с целью повышения равномерности хода машин имеет большое практическое значение.

Проведенные в данной работе исследования направлены на рассмотрение способов повышения равномерности хода машинного агрегата (рассматриваемого в виде сочетаний твердых тел), отличающихся от способа увеличения момента инерции (установки маховика).

Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав и заключения.

В первой главе дан обзор исследований по динамике машин с жесткими звеньями, приведены и коротко охарактеризованы основные работы ведущих специалистов в данной области И.И. Артоболевского, С.Н. Кожевникова, Вяч.А. Зиновьева, М.А. Скуридина, А.П. Бессонова, Б.И. Бать, С.Г. Кислицина, В.Л. Вейца, В.Л. Доброславского и др.

Проведенный обзор позволил выявить из исследований уравнения движения машинного агрегата, выполненных академиком И.И. Артоболевским, что создание устойчивого режима установившегося движения машины может быть выполнено не только регулированием момента сил движущих и момента сил сопротивления или установкой значительных маховых масс, но и соответствующим подбором закона

НТБ МГТУ им. Н.Э. Баумана



1178255

Титарчук А.А. Исследования

изменения приведенного момента инерции.

Данные положения показывают возможность регулирования равномерности хода машины способами, отличными от установки маховика. Очевидно, для их практической реализации должна быть найдена на исследуемом интервале зависимость закона изменения угловой скорости ведущего вала машины от сил движущих с одной стороны, сил сопротивления и приведенного момента инерции с другой, что и оставило основную задачу наших исследований.

Поставленная задача неизбежно приводит к необходимости выполнения анализа возможности применения существующих методов решения уравнения движения машинного агрегата.

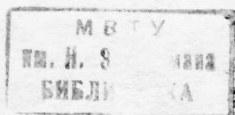
Такой анализ показывает, что применение графических и графо-аналитических методов нерационально, так как требуемое соотношение реализуется в виде отрезков прямых, кривых, углов наклона касательных к ним и в виде площадей фигур. При качественной оценке такого соотношения обычно требуется выполнить переход к числовым значениям через применяемые масштабы физических величин и очевидно, графический способ решения не может обеспечить высокой степени точности.

При исследовании современных, сложных технологических машин-автоматов исходные данные: приведенный момент сил сопротивления и приведенный момент инерции - сложные периодические зависимости, заданные в виде таблиц или графиков. Точное аналитическое интерполирование их (приближенное интерполирование по методу наименьших квадратов Гаусса приведет к искажению интересующих нас зависимостей) приводит к необходимости оперировать сложными полиномами в степени на единицу меньше числа исходных точек и точное аналитическое решение оказывается практически невозможным. Формулы приближенных аналитических методов решения очень сложны и не находят инженерного применения.

Применяемые методы численного интегрирования так же имеют ряд недостатков: периодическое решение наступает после 2-3 циклов интегрирования; применение формулы Эйлера дает лишь некоторое представление о поведении исследуемой функции; вычислительные формулы, рекомендуемых в настоящее время методов численного интегрирования Адамса-Крылова и Милна, не позволяют раскрыть интересующих нас зависимостей.

На основе выполненного анализа существующих методов решения, применения и некоторого дальнейшего развития их положений

ФУНДАМЕНТАЛЬНАЯ



разработан метод численного решения уравнения движения машинного агрегата, по расчетным формулам которого найдена зависимость угловой скорости звена приведения от действующих сил масс. Описание этого метода приведено во второй главе.

Запишем в координатах ω, φ уравнение движения машинного агрегата в форме уравнения моментов

$$J_n \omega \frac{d\omega}{d\varphi} - \frac{\omega^2}{2} \cdot \frac{dJ_n}{d\varphi} = M_\partial(\varphi, \omega, t) - M_c(\varphi, \omega, t), \quad (1)$$

где J_n - приведенный момент инерции,

$M_\partial(\varphi, \omega, t), M_c(\varphi, \omega, t)$ - приведенные моменты сил движущих и сил сопротивления, зависящие от положения, скорости и времени. После преобразований уравнение (1) может быть приведено к виду

$$\frac{d\omega}{\omega} = \frac{1}{2} \left(\frac{dE}{E} - \frac{dJ_n}{J_n} \right)$$

и далее

$$\ln \omega = 0,5 (\ln E - \ln J_n + \ln 2), \quad (2)$$

где E - кинетическая энергия звена приведения.

Предположив, что угловая скорость звена приведения в i -том положении известна, запишем уравнение (2) для $i+1$ -го положения

$$\ln \omega_{i+1} = 0,5 (\ln E_{i+1} - \ln J_{n_{i+1}} + \ln 2). \quad (3)$$

Заменим

$$\omega_{i+1} = \omega_i + \Delta \omega,$$

$$E_{i+1} = E_i + \int_{\varphi_i}^{\varphi_{i+1}} [M_\partial(\varphi, \omega, t) - M_c(\varphi, \omega, t)] d\varphi = E_i + \Delta E$$

и преобразуем уравнение (3) к виду

$$\ln \left(1 + \frac{\Delta \omega}{\omega_i} \right) = \frac{1}{2} \left[\ln \left(1 + \frac{\Delta E}{E_i} \right) - \ln \left(1 + \frac{\Delta J}{J_{n_i}} \right) \right], \quad (4)$$

где $\Delta J = J_{n_{i+1}} - J_{n_i}$.

Функцию вида $\ln(1 + \frac{\Delta X}{X})$ разложим в ряд Тейлора и воспользуемся первым членом ряда, т.е.

$$\ln(1 + \frac{\Delta X}{X}) \approx \frac{\Delta X}{X}. \quad (5)$$

Воспользовавшись соотношением (5) для преобразований уравнения (4), получим

$$\frac{\Delta \omega}{\omega_i} = \frac{1}{2} \left(\frac{\Delta E}{E_i} - \frac{\Delta J}{J_n} \right). \quad (6)$$

Предположим далее, что угловая скорость в $i+1$ -ом положении звена приведения определена и имеет приближенное значение ω_{i+1}^1 .

Для оценки погрешностей вычислений воспользуемся уравнением движения машинного агрегата в форме уравнения кинетических энергий

$$\frac{J_{n_{i+1}} (\omega_{i+1}^1)^2}{2} - \left[\frac{J_{n_i} \omega_i^2}{2} + \int_{\varphi_i}^{\varphi_{i+1}} (M_d - M_c) d\varphi \right] = \epsilon E. \quad (7)$$

Для определения значений угловой скорости во втором и т.д. приближениях, обозначим

$$\begin{aligned} \omega_{i+1}^* &= \omega_{i+1}^1 + \Delta \omega^*, \\ E_{i+1}^* &= E_{i+1}^1 + \Delta E^*, \end{aligned}$$

где $E_{i+1}^1 = E_i + \int_{\varphi_i}^{\varphi_{i+1}} (M_d - M_c) d\varphi,$

$\omega_{i+1}^*, E_{i+1}^*, \Delta \omega^*, \Delta E^*$ - угловая скорость, кинетическая энергия и их приращения, определяемые во втором и т.д. приближениях, соответственно.

Запишем уравнение (2) в виде

$$\ln(\omega_{i+1}^1 + \Delta \omega^*) = 0,5 [\ln(E_{i+1}^1 + \Delta E^*) - \ln J_{n_{i+1}} + \ln 2].$$

Выполнив преобразования данного уравнения аналогично проведенным относительно уравнения (4), получим

$$\frac{\Delta \omega^*}{\omega_{i+1}^1} = \frac{1}{2} \left(\frac{\Delta E^*}{E_{i+1}^1} - \frac{\epsilon E}{E_{i+1}^1} \right). \quad (8)$$

Уравнения (6) и (8) являются исходными при выводе расчетных формул для случаев :

1. $M_d = M_d(\omega) = a - b\omega, M_c = M_c(\varphi), J_n = J_n(\varphi).$

2. С учетом динамической характеристики приводного двигателя, описываемой линейным дифференциальным уравнением

$$\frac{dM_d}{d\varphi} + \frac{1}{T_d\omega} (M_d - a) = - \frac{b}{T_d}, \quad (9)$$

$$M_c = M_c(\varphi), J_n = J_n(\varphi),$$

где a, b - параметры статической характеристики, T_d - электромагнитная постоянная времени

3. Зависимость $M_d = M_d(\omega)$ задана в виде графика,

$$M_c = M_c(\omega), J_n = J_n(\varphi).$$

$$4. M_d = M_d(\omega), M_c = M_c(\varphi) + M_c(\omega), J_n = J_n(\varphi).$$

$$5. M_d = M_d(\omega), M_c = M_c(\varphi) + M_c(t), J_n = J_n(\varphi).$$

При выводе соответствующих формул приращения кинетических энергий $\Delta E, \Delta E^*$ на рассматриваемых отрезках $[\varphi_i, \varphi_{i+1}]$ определялись, где это возможно, интегрированием соответствующих зависимостей, а где это невозможно, площади, ограниченные кривыми, приближенно заменялись площадями трапеций (может быть применена и формула Симпсона).

Например, для описанного выше первого случая

$$\begin{aligned} \Delta E &= \int_{\varphi_i}^{\varphi_{i+1}} M_d \cdot d\varphi - \int_{\varphi_i}^{\varphi_{i+1}} M_c(\varphi) d\varphi \approx \frac{M_{di} + M_{di+1}}{2} \Delta\varphi - \Delta A_c \approx \\ &\approx \Delta A_d(\omega_i) - \Delta A_c - \frac{b\Delta\omega'}{2} \Delta\varphi, \quad (10) \end{aligned}$$

где

$$\Delta A_c = \int_{\varphi_i}^{\varphi_{i+1}} M_c(\varphi) d\varphi, \quad \Delta A_d(\omega_i) = (a - b\omega_i) \Delta\varphi.$$

Аналогично

$$\Delta E^* = -\Delta\omega^* \frac{b\Delta\varphi}{2} \quad (11)$$

Подставив уравнения (10) и (11) в (6) и (8) и решив последние относительно $\Delta\omega, \Delta\omega^*$ получим, соответственно

$$\left. \begin{aligned} \Delta \omega' &= \frac{2 \Delta A_{\theta}(\omega_i) - 2 \Delta A_c \cdot \omega_i^2 \Delta J}{2 J_{n_i} \omega_i + \theta \Delta \varphi} \\ \omega'_{i+1} &= \omega_i + \Delta \omega' \end{aligned} \right\} (12)$$

$$\left. \begin{aligned} \Delta \omega^* &= \frac{2 E E' \cdot \omega'_{i+1}}{4 E'_{i+1} + \theta \Delta \varphi \omega'_{i+1}} \\ \omega^*_{i+1} &= \omega'_{i+1} + \Delta \omega^* \end{aligned} \right\} (13)$$

Запишем известную формулу определения момента инерции маховика по методу проф. Н.И. Мерцалова, решенную относительно коэффициента нервномерности движения δ , и преобразуем ее

$$\delta = \frac{\Delta E}{J_{01} \omega_{cp}^2}; \quad \delta = \frac{\omega_{\max} - \omega_{\min}}{\omega_{cp}} = \frac{\Delta \omega}{\omega_{cp}}; \quad \Delta \omega = \frac{\Delta E}{J_{01} \omega_{cp}} \quad (14)$$

Анализ зависимости между приращением угловой скорости, приведенными силами и приведенным моментом инерции по системе уравнений (I2) не противоречит аналогичному анализу по формуле (I4), а дополняет последний зависимостью приращения угловой скорости от параметра θ , характеризующего жесткость механической характеристики приводного двигателя и от величины изменения приведенного момента инерции $-\Delta J$.

Для оценки степени точности вычислений по рекуррентным формулам, полученным из исходного уравнения (6), использовано уравнение остаточного члена в форме Лагранжа. Исследования показывают, что при изменении на шаге вычислений кинетической энергии в соотношении $\Delta E/E_i = 0,1$ относительная погрешность вычислений равна 4,92%. Уточняя значения угловой скорости по итерационным формулам, её можно вычислить с любой требуемой степенью точности. В этом случае погрешность вычислений будет определяться только заменой площади, ограниченной кривой, площадью трапеции, уменьшая шаг вычислений, эту погрешность можно сделать сколь угодно малой. Очевидно, степень точности вычислений не должна превосходить погрешностей, вносимых исходными данными. Для их оценки, воспользовавшись формулами теории приближенных вычислений, для наиболее важного, в практическом отношении, случая $M_d = M_d(\omega)$, $M_c = M_c(\varphi)$, $J_n = J_n(\varphi)$ получено выражение

$$\delta_{\omega} \approx \frac{|\Delta A_{csp}|}{2 E_{cp}} (|\delta_{M_d}| + |\delta_{A_c}| + |\frac{\delta_J}{2}|), \quad (15)$$

где $\Delta A_{\text{ср}}$, $E_{\text{ср}}$ — средние значения работы сил сопротивления и кинетической энергии на принятом шаге интегрирования ;

δ_{ω} , δ_{M} , δ_{A_e} , δ_J — относительные погрешности вычисляемого значения угловой скорости и исходных данных: уравнения механической характеристики приводного двигателя, работы сил сопротивления, приведенного момента инерции.

Проведенные исследования по определению начальной точки вычисления показывают, что при принятой начальной угловой скорости, расположенной в пределах истинных значений, нахождение периодического решения достигается после небольшого объема дополнительных исследований.

Используя свойство машинного агрегата, в состав которого входит асинхронный электродвигатель, к саморегулированию и предположив, что изменение угловой скорости от принятого к истинному значению происходит равноприближенно, в работе выведена формула определения угла ψ , после поворота на который наступает установившееся движение

$$\psi \approx 2 \frac{J_{\text{нач}} \omega_{\text{ср}}}{\beta}, \quad (16)$$

где β — коэффициент, характеризующий жесткость механической характеристики приводного двигателя.

Физическое толкование формулы показывает, что ошибки при определении угловых скоростей по изложенному методу не накапливаются в зависимости от числа шагов вычислений.

Действительно, при сообщении звену приведения дополнительной кинетической энергии после поворота на угол ψ наступает установившееся движение. При вычислениях, например, по системе уравнений (12) ошибки в определении угловой скорости всегда будут иметь место, т.к. уравнения являются приближенными, но если угол поворота ψ , определяемый уравнением (16), меньше угла шага вычислений то накопления ошибок в зависимости от числа шагов вычислений происходить не будет. Последнее обстоятельство накладывает ограничение на выбор угла шага вычислений.

Для проверки правильности выведенных зависимостей выполнены вычисления по определению закона движения машинного агрегата поперечно-строгального станка (при статической характеристике электродвигателя) по исходным данным и начальным условиям известной работы проф. М.А. Скуридина. Полное совпадение результатов вычислений подтверждает правильность разработанного метода.

Правильность результатов вычислений при учете динамической характеристики электродвигателя ($T_d=0,05$ сек), по тем же исходным данным, подтвердил анализ исходного уравнения (9).

Анализ выполненных вычислений по выведенным зависимостям показал:

а) для нахождения периодического решения потребовалась небольшая дополнительная работа ;

б) точность вычислений по рекуррентным уравнениям, вывод которых основан на применении соотношения (6), при уменьшении шага вычислений на участках переходных процессов достаточна для практических потребностей инженерных расчетов ;

в) процесс вычислений по уравнениям, вывод которых основан на применении соотношения (8) - итерационен ;

г) разработанный метод применим и для исследований процессов разгона и выбега машинного агрегата ;

д) рекуррентные уравнения могут быть использованы для графического решения уравнения движения машинного агрегата ;

е) Схема вычислений по разработанному методу удобна для программирования и применения электронно-счетных машин.

Далее были проведены исследования по сравнению трудоемкости вычислений по описываемому методу и по наиболее сходным по технике вычислений методам численного интегрирования уравнения движения машинного агрегата проф. Г.Г. Баранова, Адамса-Крылова и Милна. Преимущества разработанного метода, состоящие в меньшем требуемом объеме вычислительных работ при одинаковой степени точности, позволяют рекомендовать его для применения при выполнении инженерных расчетов по динамике машин.

В третьей главе рассмотрены условия, при выполнении которых возможно движение ведущего вала машины с постоянной угловой скоростью.

Высокая степень точности рекуррентной формулы

$$\Delta \omega_1 = \frac{2 \Delta A_0(\omega_1) - 2 \Delta A_c - \omega_1^2 \Delta J}{2 J_{\eta_1} \omega_1 + b \Delta \varphi} \quad (17)$$

из системы уравнений (12) позволяет использовать её для анализа зависимости угловой скорости от действующих сил и масс и далее перейти к решению практических вопросов по повышению равномерности хода машин.

Анализ ее числителя показывает, что при приращении угла $\Delta\varphi$ звено приведения будет вращаться с постоянной угловой скоростью:

а) при постоянном приведенном моменте сил сопротивления и постоянном приведенном моменте инерции,

б) когда изменение кинетической энергии звена приведения от изменения приведенного момента инерции равно по величине разности работ от приведенных движущих сил и сил сопротивления.

При исследовании реальных машин данные положения могут быть реализованы за счет повышения равномерности рабочих процессов и построения циклограммы работы машины с учетом динамики её машинного агрегата.

В работе показано, что такое построение сводится к построению с минимальными отклонениями от среднего значения функции

$$\sum_{j=1}^{j=k} M_c^* = \sum_{j=1}^{j=k} M_c^*(k), \quad (18)$$

где k - число исполнительных органов (и.о.) машины

$M_c^* = M_c + 0,5\omega \frac{2 dJ}{d\varphi}$ - функция влияния отдельного исполнительного органа (и.о.) на работу машины.

Анализ знаменателя рекуррентной формулы показывает также, что увеличение равномерности хода машины может быть достигнуто увеличением приведенного момента инерции, угловой скорости (т.е. запаса кинетической энергии - способ установки маховика) и увеличением жесткости механической характеристики приводного двигателя, например, применением синхронного электродвигателя. Однако величина знаменателя не может быть доведена до бесконечности. Поэтому, применение, где это возможно, описанных выше способов повышения равномерности хода машин / основанных на анализе числителя формулы (17)/ более эффективно.

В четвертой главе приводится описание проведенных работ по повышению равномерности хода этикетировочного автомата ВЭМ, серийно выпускаемого Черкасским машиностроительным заводом им.Г.И.Петровского.

Автомат ВЭМ, разработанный ВНИЭКИПРОДМАШем, относится к технологическому оборудованию для пищевой промышленности и предназначен для наклеивания одной этикетки прямоугольной формы на цилиндрическую часть бутылки и стеклянных банок с помощью

жидкого клея.

Краткая техническая характеристика автомата

Производительность	3000-6000 бутылок/час
банок стеклянных, емкостью I л	4000 шт/час
Способ переноса этикетки	посредством вакуума
Метод нанесения этикетки	накатка
Вес автомата	850 кг

Автомат ВЗМ является одним из наиболее устойчивых автоматов поточных линий розлива и укупорки пищевых жидкостей, однако его производительность не удовлетворяет растущих потребностей промышленности и низка по сравнению с производительностью аналогичных автоматов зарубежного производства (24000 и более бутылок в час).

Как показывают исследования, проведенные А.А.Бежанишвили, и опыт ряда предприятий промышленности, повышение производительности автомата за счет повышения скорости работы его исполнительных органов не дает желаемых результатов, так как происходит снижение надежности работы этикетного магазина, накатного транспортера и других и.о. из-за ухудшения динамических показателей автомата.

При исследовании, динамические параметры каждого звена - вес, положение центра тяжести и момент инерции определялись аналитически с использованием существующих справочных материалов. При вычислении приведенных моментов инерции механизмов с переменным передаточным отношением функции положений, скоростей звеньев и их центров тяжести определялись аналитически с использованием метода векторных контуров, разработанного проф. Вяч.А.Зиновьевым. Так как силы сопротивлений исследуемого автомата в основном определяются силами трения, величина которых зависит от конкретных условий эксплуатации (применяемых материалов, состояния трущихся поверхностей, условий смазки и т.д.), то в основу определения приведенного момента сил сопротивления был положен экспериментальный метод, основанный на применении тензорезисторов. В качестве усилительной аппаратуры использовался тензометрический усилитель постоянного тока ТОНАЗ-2; регистрация исследуемых процессов выполнялась с помощью осциллографа И-700.

По результатам численного решения уравнений движения машинного агрегата данного автомата был определен коэффициент

неравномерности его движения $\delta = 0,0084$ и коэффициент динамичности $\lambda = 0,0155$.

Анализ конструкции автомата, действующих в нем сил и масс, показал, что при имеющих место значительных колебаниях приведенного момента сил сопротивления и приведенного момента инерции высокие показатели равномерности его хода, обеспечиваются особенностями конструктивного решения — установкой на валу электродвигателя вариатора и применением двухступенчатой клиноременной передачи, выполняющими роль маховика.

При решении совокупности вопросов по повышению производительности, снижению металлоемкости, при одновременном улучшении показателей равномерности хода автомата, а следовательно, надежности и долговечности его работы, на основании проведенных исследований были разработаны мероприятия по снижению колебаний приведенного момента сил сопротивления и приведенного момента инерции.

С учетом этих мероприятий конструкторским бюро Черкасского машиностроительного завода, при участии автора данной работы, разработан экспериментальный образец нового этикетировочного автомата марки ВЭР.

Экспериментальная проверка подтвердила правильность разработанных мероприятий — автомат ВЭР, имея более высокую производительность (повышена в 2 раза) и меньший вес (на 29%), обладает более высокими показателями равномерности хода.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Общие выводы и результаты по выполненным в диссертационной работе исследованиям следующие:

1. На основе применения и некоторого дальнейшего развития работ Вяч.А. Зинovieва, М.А. Скуридина, Г.Г. Баранова разработан численный метод решения уравнения движения машинного агрегата.

2. Простота расчетных формул и отсутствие затруднений в выборе начальной точки вычислений позволяют рекомендовать разработанный метод для практического применения при выполнении инженерных расчетов по динамике машин.

3. На основе анализа выведенной рекуррентной формулы (для машинного агрегата, в состав которого входит асинхронный

электродвигатель) показана на шаге вычислений зависимость угловой скорости звена привода от действующих сил и масс, а также рассмотрены способы повышения равномерности хода машин.

4. Положительные результаты модернизации этикетировочного автомата ВЭМ, являющейся опытной проверкой результатов теоретических исследований, подтверждают правильность последних и показывают возможность применения рассмотренных способов повышения равномерности хода машин при проектировании и модернизации других машин.

Основные положения диссертации опубликованы в следующих работах:

1. Титарчук А.А. Использование мгновенного коэффициента неравномерности хода для интегрирования уравнения движения машинного агрегата, "Известия вузов. Машиностроение", №1, 1972.

2. Титарчук А.А. и др. Устройство для нанесения этикеток на тару. Авт. свид. №348441. Бюллетень изобретений, 1972, №25.