

Анипко О. Б.,
Шаблий Г. Ф.,
Ковтонюк И. Б.

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ СКОРОСТИ СУДНА С УЧЕТОМ ВЛИЯНИЯ ВНЕШНИХ ФАКТОРОВ И РАЗМЕРЕНИЙ КОРПУСА ДЛЯ СИСТЕМЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ ОТ ПОТЕНЦИАЛЬНО ОПАСНЫХ СУДОВ

Для обеспечения работоспособности системы обеспечения безопасности от потенциально опасных судов необходимо уметь прогнозировать скорость судна с учетом влияния внешних факторов и размерений корпуса. Получено соотношение, связывающее модельные параметры корпуса, скорость и размерения полномасштабного судна. Приведенное соотношение может быть использовано для определения основных размерений судна, а также для оценки скорости судна на ранних, предэскизных стадиях проработки проектов перспективных судов.

Ключевые слова: пограничный слой, скорость судна, размерения судна, безопасность от потенциально опасных судов.

1. Введение

Черноморский бассейн является специфической морской акваторией с уникальным составом и свойствами воды. При этом береговая черта бассейна принадлежит ряду государств, что обуславливает тот факт, что Черное море является достаточно интенсивным полем морских перевозок, особенно с учетом таких навигационно-географических особенностей, как впадение крупных рек Европы: Дунай, Днепр и Дон. Это, в свою очередь, обуславливает еще большее расширение транспортных путей с учетом рациональной комбинации сухопутных и морских транспортных средств. Все это приводит, с одной стороны, к повышению рисков возникновения экологически опасных ситуаций и катастроф, а с другой стороны, выдвигает требование непрерывного и всестороннего повышения безопасности мореплавания вообще, и особенно при транспортировке потенциально опасных грузов в частности.

В морской транспортировке грузов к потенциально опасным субстанциям следует отнести:

- нефть и нефтепродукты;
- химикалии, сырье и продукция химической промышленности;
- сжиженные газы;
- взрыво- и пожароопасные грузы.

Здесь уместно подчеркнуть, что наиболее опасными судами являются танкеры-газовозы, поскольку, несмотря на технологию и конструктивные решения при перевозке сжиженного газа, полностью избежать теплового воздействия на него не удастся, что приводит к тому, что за сутки испаряется от 0,2 до 0,25 % массы груза.

Важной особенностью современной морской транспортной технологии является то, что, несмотря на четкую организацию перевозок, до 50 % эксплуатационного

времени эти суда могут проводить в портах. Таким образом, рассматривая задачу обеспечения экологической безопасности потенциально опасных судов такого рода, целесообразно разделить ее по условиям навигационной обстановки на две задачи: на стояние (в порту) и, в море — на линии.

В Черноморском бассейне функционирует система мониторинга судоходства. Эта система позволяет осуществлять идентификацию и позиционирование судов. Учитывая возможности системы мониторинга, практически важным представляется использование информации о навигационной обстановке и погодных условий для выработки вариантов возможных сценариев в условиях шторма, особенно при входе в порты и в портах.

Однако, несмотря на такие возможности и систему связи, на современном этапе они практически не используются для предотвращения аварий и обеспечения экологической безопасности, в том числе — потенциально опасных судов.

Система мониторинга судоходства позволяет идентифицировать суда по их названиям и государственной принадлежности. Однако, с учетом того, что технические и маневренные характеристики судов соответствуют специфическим условиям испытаний, которые практически никогда не встречаются на практике, задача учета факторов морского волнения и ветра на мореходные качества судна является актуальной для информационного обеспечения диспетчера при выработке рекомендаций капитану судна.

2. Анализ литературных данных и постановка проблемы

Для использования возможностей системы при решении задач обеспечения экологической безопасности

от потенциально опасных судов необходимо разработать систему информационного обеспечения работы дежурного по системе мониторинга, который, поддерживая связь с судном, находящимся в критических условиях или могущего попасть в таковые, сообщит капитану судна возможные варианты ее предотвращения и предоставит необходимую информацию об изменении навигационной обстановки.

Для создания такой системы необходимо:

- разработать имитационную модель параметров ветра и морского волнения для соответствующей зоны системы мониторинга;
- разработать модель влияния гидрометеорологических параметров на показатели пропульсивной установки судов;
- разработать методику оценки пропульсивных показателей судна по аналогичным данным подобного судна;

— на основе совокупности моделей и методики определить предельные критические гидрометеорологические параметры и показатели пропульсивной установки для выработки рекомендаций по предотвращению морских происшествий и катастроф.

Так, обобщение данных по участкам рейсовых линий, лежащих в районах с практически одинаковыми погодными условиями позволяет считать гидрометеорологическую обстановку в них не коррелированной, что означает сочетание параметров ветра и волнения случайным событием, а следовательно, моделировать их независимо.

В тоже время, обобщенная зависимость по имеющимся рекомендациям [1], связывающая высоту волн h_{\max} и скорость ветра V_B имеет вид:

$$h_{\max} = 0,1V_B^{1,452}, \quad (1)$$

где V_B — скорость ветра, м/с.

На движение судна существенное влияние оказывает ветровое сопротивление, которое зависит от площади парусности судна, скорости ветра (V_B) и курсового угла относительно направления ветра $\alpha_{\text{кв}}$.

Величина скорости ветра изменяется в широких пределах, однако наиболее вероятные значения для Черноморского бассейна составляют 5...7 м/с [2].

Следующим фактором является морское волнение, которое характеризуют высотой волн h_B .

Спротивление движению судна на волнении, как известно [3], увеличивается, по сравнению с плаванием в тихой воде, поскольку часть энергии идет на разрушение волн.

Увеличение сопротивления движению судна сопровождается падением пропульсивного коэффициента и уменьшением скорости [3–6].

Достижимые скорости для судна водоизмещением 50 000 тонн показано на рис. 1 для соответствующей высоты волн и скорости судна $V_0 = 18$ узлов.

Кроме этого, существенными факторами, ограничивающими скорость, являются слеминг, оголение кормовой оконечности и разгон винтов, качка, и другие.

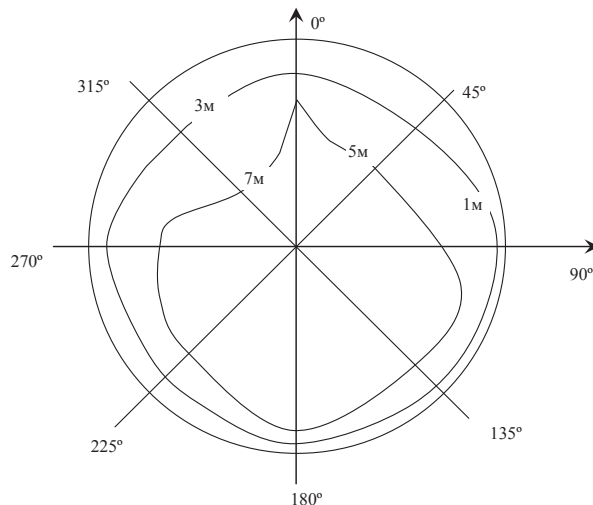


Рис. 1. Достижимые скорости для судна водоизмещением 50 000 тонн при скорости судна $V_0 = 18$ узлов

3. Объект, цель и задачи исследования

Объект исследования — процесс выработки вариантов движения судна для предотвращения возможных аварий и катастроф потенциально опасных судов с учетом факторов навигационной обстановки.

Учитывая то, что даже в пределах одной серии суда несколько отличаются по своим размерениям, то представляет практический интерес задача пересчета скорости судна для конкретных его размеров. *Целью данной работы* является прогнозирование скорости судна с учетом влияния внешних факторов и размерений корпуса для системы обеспечения безопасности от потенциально опасных судов. Такая задача может быть решена на основе подхода, разработанного в [7].

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

1. Оценить влияние размерений судна на его ходовые качества.
2. Получить соотношение, связывающее скорость судна с его размерениями.
3. Выработать практические рекомендации по учету влияния морского волнения и ветра на мореходные качества судна.

4. Материалы и методы исследования влияния размеров судна на его ходовые качества

При решении задач исследования использовались метод теории подобия применительно к гидродинамике судов, экспериментальные данные в виде статистических данных о частоте и размерах волн Черноморского бассейна, а также методы научного обобщения и анализа.

Процесс обтекания тела жидкостью сопровождается формированием динамического и теплового пограничного слоев [8–10].

При этом расчетные соотношения, полученные в результате решения уравнения движения, интегрального соотношения Кармана [1] аппроксимации А. Космодемьянского для ламинарного пограничного слоя имеют вид:

$$\delta = 4,80 \sqrt{\frac{v}{V}}, \quad (1)$$

$$\bar{z}/y = 0,328 \sqrt{\frac{\mu \rho V^3}{x}}, \quad (2)$$

$$\xi_{f_0} = \frac{1,31}{\sqrt{\text{Re}}}, \quad (3)$$

и учитывают гидродинамические процессы. Однако, как известно, процессы протекают совместно, и при обтекании, в общем случае, имеют место механические процессы: тепло- и массоперенос.

При движении судна массоперенос происходит лишь в воде, и с учетом сравнительно малой движущей силы вклад его мал, по сравнению с гидромеханическими процессами.

При этом тепловой процесс, обусловленный разностью температур корпуса судна и воды, может оказывать влияние на формирование динамического пограничного слоя у поверхности судна.

Для оценки влияния этого процесса воспользуемся приведенными соотношениями (1)–(3) и преобразуем их таким образом, чтобы они содержали число Прандтля.

5. Результаты исследования влияния размеров судна на его ходовые качества

Критерий Прандтля характеризует связь скоростного и температурного поля в жидкости и определяет физические свойства жидкости $\text{Pr} = \nu/a$, где $a = \lambda/c\rho$ — коэффициент температуропроводности, отражающий способность субстанции распространять температуру.

Для капельных жидкостей (вода и различные органические и неорганические жидкости) $1 < \text{Pr} < 200$, кроме того $\nu = f(T)$ и λ , c и ρ — также зависят от T , таким образом $\text{Pr} = f(T)$.

Для пресной воды $1 < \text{Pr} < 13,5$.

Для морской воды Pr зависит не только от T , но и от солёности $\text{Pr} = f(T; C_{\text{сол}})$, где $C_{\text{сол}}$ — содержание соли в морской воде. Диапазон изменения числа Pr для морской воды лежит в пределах от 1 до 9,8. С учетом определения числа Pr выражения (1), (2) и (3) перепишем в виде:

$$\begin{aligned} \xi_{f_0} &= \frac{1,31}{\sqrt{\text{Re}}} = 1,31 \cdot \text{Re}^{-0,5} = 1,31 \cdot \left(\frac{w \cdot d}{\text{Pr} \cdot a} \right)^{-0,5} = \\ &= 1,31 \left(\frac{\text{Pr} \cdot a}{w \cdot d} \right)^{1/2}, \end{aligned} \quad (4)$$

$$\bar{z} = 0,328 \left(\frac{\text{Pr} \cdot \lambda \cdot \rho \cdot V^3}{c \cdot x} \right)^{1/2}, \quad (5)$$

$$\xi_{f_0} = 1,31 \sqrt{\frac{\text{Pr} \cdot a}{w \cdot d}}, \quad (4')$$

$$\delta = 4,8 \cdot \left(\frac{v \cdot E}{v} \right)^{1/2} = \left(\frac{\text{Pr} \cdot a \cdot E}{v} \right)^{1/2}. \quad (6)$$

Анализ выражений (4), (5) и (6) позволяет заключить, что коэффициент сопротивления трения при ламинарном пограничном слое $\sim \text{Pr}^{1/2}$. Касательное напряжение на поверхности судна $\tau \sim \text{Pr}^{1/2}$. Толщина ламинарного погранслоя $\delta \sim \text{Pr}^{1/2}$.

Используя полученное выражение для ξ_{f_0} , выраженное через число Pr , и выражение (3) и приравняв их, не трудно показать, что в результате получим выражение:

$$w \cdot d = a \text{Re} \cdot \text{Pr}. \quad (7)$$

Это выражение представляется тривиальным, однако, оно прямо связывает скорость судна и характерный линейный размер (d), в качестве которого целесообразно принять:

$$d = \frac{S_{\text{мид}}}{L},$$

где $S_{\text{мид}}$ — площадь поперечного сечения судна на миделе, L — длина судна.

Это выражение представляется полезным также для преобразования выражения для толщины пограничного слоя (1). Для чего перепишем выражение (7) в виде:

$$w = \frac{a}{d} \text{Re} \text{Pr}. \quad (8)$$

И подставим его в выражение для толщины погранслоя, выраженного через критерий Pr (6), тогда:

$$\delta = 4,8 \left(\frac{\text{Pr} \cdot a \cdot x}{a \cdot \text{Re} \cdot \text{Pr}} \right)^{1/2} = 4,8 \left(\frac{x \cdot d}{\text{Re}} \right)^{1/2},$$

или окончательно:

$$\delta = 4,8 \left(\frac{x \cdot d}{\text{Re}} \right)^{1/2}. \quad (9)$$

6. Обсуждение результатов исследования влияния размеров судна на его ходовые качества

На рис. 2 приведен вид поверхности, которую определяет выражение (9), а на рис. 3 функция $\delta(x)$ при $\text{Re} = \text{const}$.

Критически оценивая полученные результаты, а именно функции $w \cdot d(a; \text{Re}; \text{Pr})$ и $\delta = f(x; d; \text{Re})$ следует отметить, что выражение (7) справедливо для модельных допущений, принятых при получении выражений (1), (2) и (3), поэтому структура критериального уравнения для комплекса $(w \cdot d)$ представляется в следующем виде:

$$w \cdot d = a \cdot c \cdot \text{Re}^m \cdot \text{Pr}^n, \quad (10)$$

где c , m и n — коэффициенты и показатели степени, которые подлежат определению в результате обработки результатов экспериментальных данных.

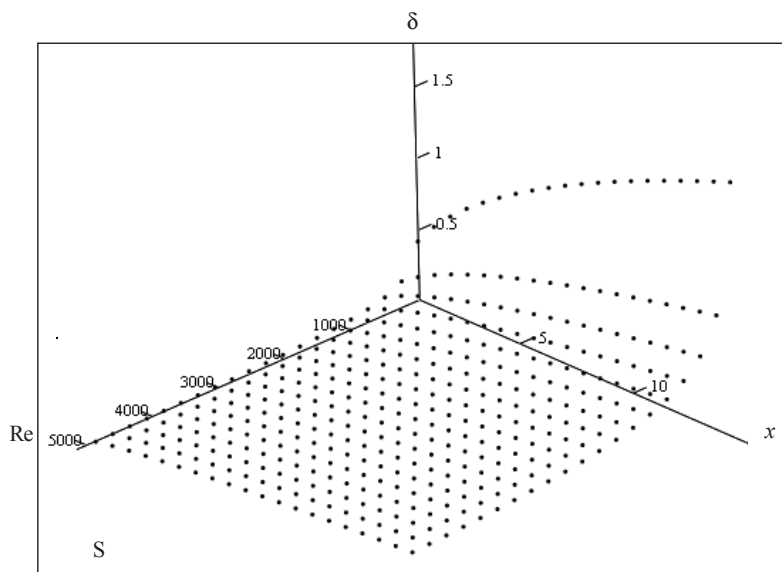


Рис. 2. Поверхность, определяемая функцией (9)

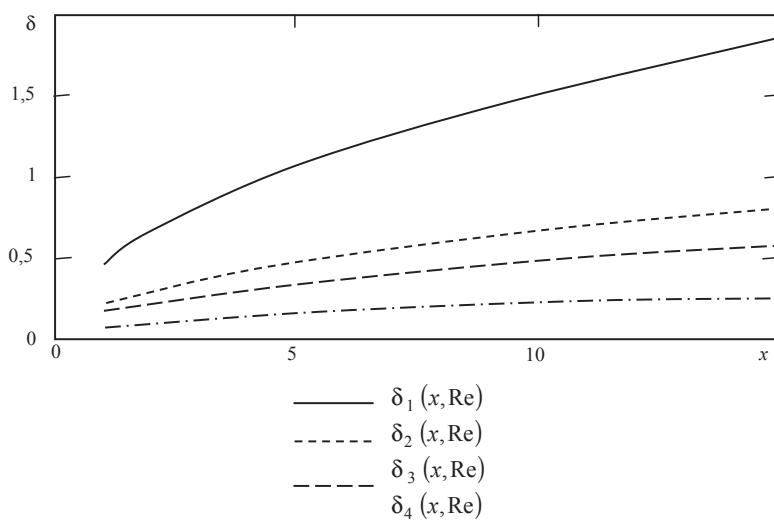


Рис. 3. Функция (9) для условия $Re = \text{const}$

В настоящем исследовании разработаны теоретические основы и получены теоретические соотношения, позволяющие формировать регулярный подход к экспресс-оценке мореходных качеств судна с учетом его размеров и навигационной обстановки. Критически оценивая полученные результаты, следует подчеркнуть, что для системы мониторинга судоходства применение разработанного подхода к оценке мореходных качеств судна связано с созданием банка данных об истинных размерах судов даже в пределах одной серии. После формирования такого банка дальнейшее развитие возможностей системы мониторинга в рассматриваемом аспекте, по-видимому, должно быть связано с автоматизацией процесса как выработки возможных вариантов движения судна, так и определения показателей его мореходных качеств.

7. Выводы

В результате проведенных исследований:

1. Проанализированы основные факторы, влияющие на мореходные качества судна, наиболее существенны-

ми из которых являются волнение моря, скорость и направление ветра, которые, в свою очередь, являются случайными величинами.

2. Получено соотношение, связывающее основные размерения судна с его скоростью. Структура выражения (10) связывает модельные параметры корпуса и скорость, и размерения полномасштабного судна. Коэффициент c и показатели степени m и n могут быть определены как по экспериментальным данным, так и на основе статистической обработки имеющихся данных о пропульсивных свойствах серий судов (корпусов). Полученное таким образом выражение в виде (10) может быть полезным для определения основных размерений судна при заданной скорости, или при фиксированной вместимости, которая косвенно входит в выражение для d , может быть оценена скорость судна на ранних, предэскизных стадиях проработки проекта перспективного судна.

3. Разработан подход к учету влияния моря на мореходные качества судна.

4. Совокупность полученных научных результатов является теоретической основой для расширения функций системы мониторинга судоходства применительно к судам, перевозящим потенциально опасные грузы для предотвращения попадания их в сложную навигационную обстановку, что, в свою очередь, снижает вероятность морских происшествий и катастроф, а также возможный ущерб окружающей среде.

Таким образом, в результате решения перечисленного комплекса задач диспетчер системы мониторинга будет иметь дополнительную информацию о навигационной обстановке, скорости судна с учетом ветра и волнения, что послужит основанием для принятия решения капитаном судна.

Литература

1. Ветер и волны в океанах и морях. Справочные данные [Текст]. — М.: Транспорт, 1974. — 359 с.
2. Чернавин, В. Н. Военно-морской словарь [Текст] / В. Н. Чернавин. — М.: Воениздат, 1989. — 511 с.
3. Ван Ламмерен, В. П. А. Сопrotивление, пропульсивные качества и управляемость судов [Текст] / В. П. А. ван Ламмерен, Л. Троост, Дж. Дж. Конинг. — Л.: Судпромгиз, 1957. — 398 с.
4. Шостак, В. П. Имитационное моделирование судовых энергетических установок [Текст] / В. П. Шостак, В. И. Гершаник. — Л.: Судостроение, 1988. — 256 с.
5. Naess, E. Surface roughness and its influence of ship performance [Text] / E. Naess // Jahrb. Schiffbautechn. — Berlin, 1984. — Ges. 77. — P. 125–134.
6. Yokota, K. Aging Effect of Propulsion Efficiency of Ship [Text] / K. Yokota, S. Okubo, K. Deguchi, M. Matsuda // Techn. Rev. — 1980. — Vol. 28, № 83. — P. 83–88.
7. Анишко, О. Б. Об одном методе прогнозирования скорости судна на ранних этапах его проектирования [Текст] / О. Б. Анишко, Г. Ф. Шаблий // Сборник трудов Академии ВМС им. П. С. Нахимова. — 2010. — № 4(4). — С. 27–31.

8. Шихтинг, Г. Теория пограничного слоя [Текст] / Г. Шихтинг. — М.: Наука, 1969. — 742 с.
9. Биргоф, Г. Гидродинамика [Текст] / Г. Биргоф. — М.: ИИЛ, 1963. — 487 с.
10. Ньюмен, Дж. Морская гидродинамика [Текст] / Дж. Ньюмен. — Л.: Судостроение, 1985. — 368 с.

ПРОГНОЗУВАННЯ ШВИДКОСТІ СУДНА З УРАХУВАННЯМ ВПЛИВУ ЗОВНІШНІХ ФАКТОРІВ І РОЗМІРЕНЬ КОРПУСУ ДЛЯ СИСТЕМИ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ БЕЗПЕКИ ВІД ПОТЕНЦІЙНО НЕБЕЗПЕЧНИХ СУДІВ

Для забезпечення працездатності системи забезпечення безпеки від потенційно небезпечних судів необхідно вміти прогнозувати швидкість судна з урахуванням впливу зовнішніх факторів і розмірень корпусу. Отримано співвідношення, що зв'язує модельні параметри корпусу, швидкість і розмірення повномасштабного судна. Наведене співвідношення може бути використано для визначення основних розмірень судна, а також для оцінки швидкості судна на ранніх, передескізних стадіях опрацювання проектів перспективних судів.

Ключові слова: прибережний шар, швидкість судна, розмірення судна, безпека від потенційно небезпечних судів.

Аніпко Олег Борисович, доктор технічних наук, професор, кафедра інженерно-авіаційного забезпечення, Харківський університет Воздушних Сил ім. Івана Кожедуба, Україна.

Шаблій Глеб Федорович, госпредприятие «Госгидрография», Киев, Украина.

Ковтонок Игорь Борисович, доктор технических наук, доцент, кафедра аэродинамики и динамики полета летательных аппаратов, Харьковский университет Воздушных Сил им. Ивана Кожедуба, Украина, e-mail: igor_kovtonyuk@ukr.net.

Аніпко Олег Борисович, доктор технічних наук, професор, кафедра інженерно-авіаційного забезпечення, Харківський університет Повітряних Сил ім. Івана Кожедуба, Україна.

Шаблій Глеб Федорович, держпідприємство «Держгідрографія», Київ, Україна.

Ковтонок Ігор Борисович, доктор технічних наук, доцент, кафедра аеродинаміки і динаміки польоту літальних апаратів, Харківський університет Повітряних Сил ім. Івана Кожедуба, Україна.

Anipko Oleg, Kharkiv Air Force University named after Ivan Kozhedub, Ukraine.

Shabliy Gleb, State Enterprise «Gosgidrografiya», Kyiv, Ukraine.

Kovtonyuk Igor, Kharkiv Air Force University named after Ivan Kozhedub, Ukraine, e-mail: igor_kovtonyuk@ukr.net

УДК 664.126.43:681.51

DOI: 10.15587/2312-8372.2015.52008

Прокопенко Ю. В.,
Ладанюк А. П.,
Сокол Р. М.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ФРЕЙМОВЫХ СТРУКТУР В СИСТЕМАХ КООРДИНАЦИИ И УПРАВЛЕНИЯ КОМПЛЕКСОМ ВАКУУМ-АППАРАТОВ ПЕРИОДИЧЕСКОГО ДЕЙСТВИЯ

Рассмотрены общие требования к сложным системам управления технологическими комплексами. Выполнен обзор основных схем существующих технологических комплексов вакуум-аппаратов периодического действия. Определена структура фреймов интеллектуальной системы координации и управления комплексом вакуум-аппаратов периодического действия. Определена организация взаимодействия фреймовых структур в иерархической системе.

Ключевые слова: сложная система, технологический комплекс, вакуум-аппарат, иерархическая система координации, фреймовая модель управления.

1. Введение

В современных условиях производства сахара ставятся задачи дальнейшего повышения эффективности производства и снижения энергозатрат. Одним из основных технологических комплексов производства сахара является, отделение кристаллизации, которое входит в состав продуктового отделения.

Существующие системы управления массовой кристаллизации сахара не соответствуют требованиям, предъявляемым к управлению современными технологическими комплексами. Для этого в последнее время разрабатываются системы интеллектуального управления, которые используют принципиально новые методики и принципы, основанные на методах искусственного

интеллекта. Одним из перспективных направлений разработки новых систем управления является использование методов ситуационного управления [1, 2].

Основной критерий работы технологического комплекса вакуум-аппаратов периодического действия для массовой кристаллизации сахара — производительность.

Сложность поставленной задачи управления технологическим комплексом вакуум-аппаратов периодического действия заключается в том, что каждый вакуум-аппарат и весь комплекс в целом — являются сложной системой.

Разработка интеллектуальных систем координации и управления технологическим комплексом вакуум-аппаратов периодического действия позволит более эффективно организовать производственный процесс массовой кристаллизации сахара, обеспечит возмож-